

Didáctica de las Ciencias Experimentales

Una aproximación al área y a sus principales líneas de investigación

David Aguilera Morales

F. Javier Carrillo Rosúa

José Miguel Vilchez González (eds.)



CC - CD - CDC

eug

Didáctica de las Ciencias Experimentales
Una aproximación al área y a sus principales
líneas de investigación

David Aguilera
F. Javier Carrillo Rosúa
José Miguel Vílchez González
(eds.)

Didáctica de las Ciencias Experimentales

Una aproximación al área y a sus principales líneas de investigación

Granada
2026

© LOS AUTORES

© UNIVERSIDAD DE GRANADA

DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES.

UNA APROXIMACIÓN AL ÁREA Y A SUS PRINCIPALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

ISBN(e): 978-84-339-7715-4

Edita: Editorial Universidad de Granada

Campus Universitario de Cartuja. Granada

Télf.: 958 24 39 30 - 958 24 62 20

www.editorial.ugr.es

Maquetación: TADIGRA, S.L. Granada

Diseño de cubierta: TADIGRA, S. L.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Índice

Prólogo.....	9
Dedicatorias	13

PARTE I.

INTRODUCCIÓN AL ÁREA DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Capítulo 1. Logros y futuro de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en España <i>Roque Jiménez-Pérez, Antonio de Pro y Bartolomé Vázquez-Bernal</i>	19
Capítulo 2. Didáctica de la física en España a través de la revista Enseñanza de las Ciencias (1983-2025) <i>Rafael López-Gay Lucio-Villegas, Lorenzo Hernández Villalobos, Jara García Ruiz, Luis Delgado Mayoral y Manuela González Herrera</i>	36
Capítulo 3. Didáctica de la Química <i>Alicia Benarroch Benarroch y M.^a Mercedes Martínez Aznar.....</i>	54
Capítulo 4. Didáctica de la Biología <i>Susana García-Barros y José Ramón Díez.....</i>	74
Capítulo 5. Didáctica de la Geología <i>Ángel Luis Cortés Gracia y Conxita Márquez Bargall.....</i>	91
Capítulo 6. Didáctica de la Tecnología y su relación con la Educación Científica <i>Alfonso Pontes Pedrajas.....</i>	106
Capítulo 7. Naturaleza de la ciencia y alfabetización científica: estado de la cuestión, desafíos y orientaciones <i>Antonio García-Carmona.....</i>	123
Capítulo 8. Retos actuales en la educación científica <i>Marta R. Ariza, Antonio Quesada, María Martín-Peciña, Francisco Javier Muela, Diego Airado, Fátima Aguilera y Ana María Abril</i>	137

PARTE 2.

EL PROFESORADO Y EL ALUMNADO DE CIENCIAS

Capítulo 9. Los saberes profesionales para enseñar ciencias en las escuelas de hoy <i>Ana Rivero García, Soledad García Gómez, Emilio Solís Ramírez y Soraya Hamed Al-lal</i>	153
Capítulo 10. Repensar la evaluación <i>Neus Sanmartí y Digna Couso</i>	172
Capítulo 11. La intervención sobre las emociones en el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias <i>Florentina Cañada Cañada y Vicente Mellado Jiménez</i>	187
Capítulo 12. Actitudes e investigación en didáctica de la ciencia: las actitudes relacionadas con la ciencia <i>Ángel Vázquez-Alonso y María-Antonia Manassero-Mas</i>	199
Capítulo 13. Argumentación y pensamiento crítico <i>Blanca Puig, Beatriz Crujeiras-Pérez, Paloma Blanco Anaya y Lucía Casas-Quiroga</i>	217

PARTE 3.

 ÁMBITOS, ENFOQUES, ESTRATEGIAS, ESPACIOS Y RECURSOS
 PARA APRENDER CIENCIAS

Capítulo 14. Educación científica no formal e informal: el potencial de los museos de ciencia <i>José Eduardo Vilchez, Marta Ceballos, María de los Ángeles de las Heras y Juan Luís Arsuaga</i>	227
Capítulo 15. Las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente y la educación científica. Un proceso de profundas transformaciones tecnocientíficas y educativas <i>Amparo Vilches y Daniel Gil Pérez</i>	240
Capítulo 16. Lo primero, es antes, ¿y después? Educación STEM, un desarrollo anómalo y una historia al revés <i>David Aguilera, Jairo Ortiz-Revilla, Radu Bogdan Toma y José Miguel Vilchez-González</i>	255
Capítulo 17. Las cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias <i>Ángel Blanco López</i>	270

Capítulo 18. ¿Primero explico y luego aplico? No, la indagación es la enseñanza "del revés"	
<i>M. Rut Jiménez-Liso, María Martínez-Chico, Lorenzo Hernández-Villalobos, Jara García-Ruiz, Luis Delgado-Mayoral y Manuela González-Herrera</i>	283
Capítulo 19. Aprendizaje basado en proyectos	
<i>Joaquín Ayerbe López y Francisco Javier Perales-Palacios.....</i>	295
Capítulo 20. Modelización y analogías en la enseñanza de las ciencias	
<i>José María Oliva, María del Mar Aragón-Méndez y Marta Gómiz-Aragón ..</i>	314
Capítulo 21. Juego y ciencia, del antagonismo a la sinergia. Aprendizaje basado en juegos en Didáctica de las Ciencias Experimentales	
<i>Alicia Fernández-Oliveras y Mercedes Vázquez-Vilchez</i>	329
Capítulo 22. Enseñar y aprender ciencias al aire libre: fundamentos y experiencias didácticas	
<i>Josu Sanz, Teresa Zamalloa, Maialen Sistiaga, Lidia Caño, Aritz Uskola....</i>	341
Capítulo 23. Huertos escolares como contextos al aire libre para la educación científica y ambiental	
<i>Marcia Eugenio-Gozalbo, Daniel Zuazagoitia y Andrea Estrella-Torres.....</i>	358
Capítulo 24. Tecnologías emergentes en la educación científica escolar	
<i>Araceli García-Yeguas, Susana Rams, Francisco Silva-Díaz, Javier Carrillo-Rosúa, Nicole Saldaña-Toledo</i>	372

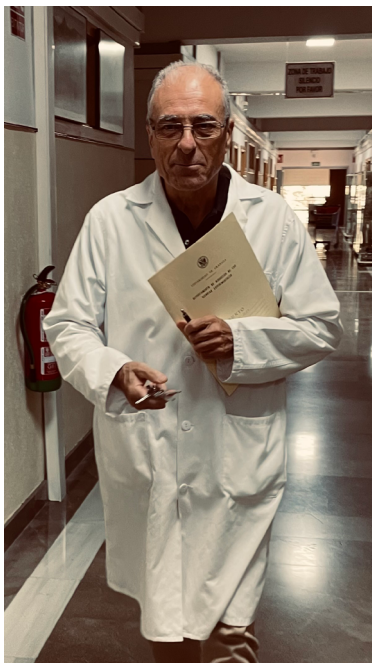
PARTE 4.

APORTES DESDE LA TRANSVERSALIDAD

Capítulo 25. Educación Ambiental y para la Sostenibilidad como eje transversal en la Didáctica de las Ciencias Experimentales en España	
<i>Carlota López-Fernández, Esther Paños y José Reyes Ruiz-Gallardo.....</i>	386
Capítulo 26. La Educación para la Salud como línea de investigación e innovación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales	
<i>Marta Castellar Cárdenas, Sergio David Barón López, M. del Pilar Jiménez Tejada, Luis Ruiz Rodríguez y María del Carmen Romero.....</i>	401
Capítulo 27. Divulgación Científica	
<i>Francisco González García, María del Mar López Fernández y Carmen Garrido Navas</i>	415

Capítulo 28. Métodos biométricos para impulsar la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales <i>Ángel Ezquerro, Rafael Campillos, Cristina Casado-Lumbreras y Sonia Pamplona</i>	431
Referencias bibliográficas	449

Prólogo



Las páginas que componen este manual son fruto de, por un lado, el compromiso de nuestra área con la excelencia académica y, por otro, el deseo compartido¹ de rendir un merecido homenaje al profesor Francisco Javier Perales Palacios, con motivo de su jubilación en agosto de 2026.

El profesor Perales, a lo largo de su trayectoria académica² (1984-2026), ha dirigido 21 tesis doctorales y ha participado en 75 tribunales de tesis. Si a ello le sumamos su participación en tribunales para plazas de Profesor Permanente Laboral (y antiguos Contratados Doctores), Titular de Universidad y Catedrático de Universidad, podríamos afirmar que ha colaborado en la formación y el perfeccionamiento de multitud de investigadores e investigadoras del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Igualmente, y sin ánimo de ser exhaustivos, ha publicado más de un centenar de artículos científicos y ha dirigido el grupo de investigación “Didáctica de las Ciencias Experimentales y para la Sostenibilidad (HUM613)”

1. Por todos los miembros del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada y la comunidad que constituye la Asociación Española de Profesores e Investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales (ÁPICE). Muestra de ello son los 90 coautores que firmamos este trabajo colectivo.

2. Fuentes: (1) <https://produccioncientifica.ugr.es/investigadores/354260/detalle>; y (2) <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=22896>

desde 1992. Además, editó, junto a Pedro Cañal, el primer manual en español del área, *“Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias”*, que se publicó en el año 2000.

Ciertamente, el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales cuenta con multitud de manuales, en español y en inglés, dirigidos a la formación docente. Por el contrario, mientras la comunidad anglosajona dispone de multitud de *handbooks* sobre investigación en el área³, en la comunidad hispanohablante apenas disponemos de unos cuantos. Hasta donde nuestro conocimiento alcanza, conocemos cuatro:

- El anteriormente mencionado, coeditado por los profesores Perales y Cañal.
- El coeditado en 2001 por el profesor Jenaro Guisasola y la profesora Lourdes Pérez: “Investigaciones en Didáctica de las Ciencias Experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada”.
- El coordinado en 2008 por el profesor Cristian Merino, la profesora Adrianna Gómez y el profesor Agustín Adúriz-Bravo: “Áreas y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales”.
- El compilado en 2025 por la profesora Teresa Quintero, el profesor Francisco Bavera y la profesora Marcela Daniele, que se centra en el estado del arte del área en Argentina: “La investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales y Experimentales: Debates y Perspectivas”.

El escenario que se ha esbozado justifica la idoneidad y oportunidad académica del presente manual: *“Didáctica de las Ciencias Experimentales. Una aproximación al área y a sus principales líneas de investigación”*. El propósito de esta obra colectiva es ofrecer un marco de referencia actualizado, asequible y, especialmente, dirigido tanto a investigadores e investigadoras que se aproximan por primera vez al área como a docentes en formación o en activo que buscan actualizar sus conocimientos en Didáctica de las Ciencias Experimentales.

El contenido ha sido estructurado cuidadosamente para reflejar la historia y pluralidad de esta área de investigación e innovación educativa. Así, se han establecido cuatro partes:

Parte 1: Introducción al área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Se compone de ocho capítulos con el objetivo de ubicar al lector en esta área de investigación educativa. Así, primero se aborda la constitución, la consolidación y el futuro del área en España. A este capítulo le siguen seis que se focalizan en las didácticas disciplinares (Física, Química, Biología, Geología y Tecnología)

3. Entre muchos, destaca el Handbook of Research on Science Education, que cuenta con tres volúmenes publicados, respectivamente, en 2007, 2014 y 2023. Todos ellos editados, entre otros, por Norman G. Lederman y Sandra K. Abell.

y la naturaleza de la ciencia. Y se cierra compilando los principales retos que enfrenta la educación científica y su investigación.

Parte 2: El profesorado y el alumnado de ciencias. Compila cinco capítulos. Los dos primeros ponen el foco sobre el profesorado, atendiendo a su competencia profesional y la evaluación; y los tres últimos profundizan en las investigaciones sobre las emociones, las actitudes y las habilidades (argumentación y pensamiento crítico) del alumnado por su especial relevancia para el aprendizaje de las ciencias.

Parte 3: Ámbitos, enfoques, estrategias, espacios y recursos para aprender ciencias. Se trata de la parte más extensa del manual, estructurada en 11 capítulos. Primero se aborda la educación científica en los ámbitos formal, no formal e informal, profundizando en la figura de los museos como espacio promotor de alfabetización científica. Le siguen tres capítulos que vienen a mostrar la evolución de tres de los enfoques educativos más importantes en la actualidad: la educación CTS(A), la educación STEM y las cuestiones sociocientíficas. Igualmente, se dedica un capítulo a cada una de las metodologías didácticas más emblemáticas del área: aprendizaje por indagación, aprendizaje por proyectos y modelización. También se atiende a metodologías emergentes como el aprendizaje basado en juegos, atendiendo al papel del juego para el aprendizaje de las ciencias. La enseñanza al aire libre se aborda en dos capítulos: uno dedicado especialmente a las salidas de campo, y otro a los huertos escolares. La atención al uso de tecnologías emergentes en la educación científica cierra esta parte del manual.

Parte 4: Aportes desde la transversalidad. Esta última parte, que se compone de cuatro capítulos, viene a demostrar la interdisciplinariedad y pluralidad del área. Así, se dedican dos capítulos a ejes transversales como la Educación Ambiental y para la Sostenibilidad y la Educación para la Salud; un capítulo a delinear las implicaciones de la divulgación científica en la enseñanza de las ciencias; y un capítulo, como cierre, que pretende mostrar métodos y técnicas de vanguardia que renuevan la investigación en el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Este libro es un proyecto colectivo forjado por la amistad y la gratitud. Quienes editamos este volumen compartimos un vínculo vital y profesional inquebrantable con Javier. Para dos de nosotros, David Aguilera y José Miguel Vílchez, no solo ha sido un referente académico durante nuestra etapa predoctoral y posdoctoral, sino un guía y un amigo siempre atento y disponible. Para Javier Carrillo, actual director del Departamento, representa el apoyo constante de un buen amigo y un colega ejemplar. Por tanto, este libro, más que un manual, es un tributo. Todas las personas que hemos participado en estos capítulos somos especialistas en Didáctica de las Ciencias y, por encima de todo, amigos y amigas de Javier. Esta red de colaboración científica es, en realidad, el reflejo del espíritu de unidad y mentoría que Javier Perales ha cultivado a lo largo de su carrera.

Esperamos que esta obra no solo sirva como una herramienta valiosa para el avance de la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, sino que Javier reciba este texto como una muestra del inmenso cariño y respeto que le profesamos. Este libro es tu legado, Javier, y nuestra forma de decirte gracias y hasta siempre.

Los editores
David Aguilera Morales
Francisco Javier Carrillo Rosúa
José Miguel Vílchez González

Dedicatorias

MIEMBROS DEL DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES
DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

Querido Javier, mil gracias por tanto. Me acompañas desde 2016 y el 11 de abril de 2019 me dijiste que para ti soy como un hijo (académico). Siento que, efectivamente, para mí eres como un padre (académico). “La escuela” que me has dado es lo más valioso que me dejas: exigencia, compromiso, honestidad, generosidad y amor por la naturaleza. Disfruta de esta nueva etapa; recorre miles de kilómetros con tu bici nueva; y hazlo tranquilo, que cuidaré de tu huerto. Con cariño y admiración (*David Aguilera Morales*).

Querido Javier, como colofón de tu muy provechosa y dilatada carrera docente e investigadora, unida a la eficaz dirección del Departamento, de todo lo cual dejas una gran huella, te deseo que, al igual que yo, disfrutes de una merecida y dilatada jubilación. ¡BIENVENIDO AL CLUB! Un fuerte abrazo (*Pedro Álvarez Suárez*).

Gracias por dirigir mi tesis doctoral y, sobre todo, por caminar a mi lado durante tantos años. Me has enseñado mucho más que investigación: rigor intelectual, discreción y sentido del humor. Tu jubilación cierra una etapa, pero tu huella permanece en mi trabajo y en mi memoria (*Alicia Benarroch Benarroch*).

Muchos y excelentes son los méritos de Javier en el ámbito docente-investigador-gestor, es un “todoterreno académico” de lujo, excepcional. Pero sobresalen aún más sus valores personales: generosidad, compromiso con el bien común, integridad, honestidad, cercanía... que, además, siembra y promueve, con caleidoscópico humor, en quienes tenemos la fortuna de conocerlo. Gracias, Javier, por todo (*Javier Carrillo Rosúa*).

Querido Javier. Muchas gracias por tu ayuda y apoyo recibidos durante este tiempo. Desde que entré al departamento, he tenido siempre tu cercanía y disposición para cualquier cosa que haya necesitado. Te echaré de menos (*Ricardo Casas del Castillo*).

Javier, gracias por todos estos años de trabajo como referente del área y por dejarnos este gran legado que debemos cuidar. Eres el compañero con una generosidad infinita que ha servido como fuente de inspiración para todo el departamento. Sin duda, ahora empieza ese merecido descanso que sabemos que disfrutarás (*Marta Castellar Cárdenas*).

Felicidades por la nueva etapa que vas a comenzar y un profundo agradecimiento y respeto personal por haberte tenido como compañero tantos años. Todos nos podemos sentir orgullosos por tu contribución al campo de la Didáctica, y a nuestro Departamento en particular, y por eso te llevas nuestro cariño y recuerdo. Piensa que otra nueva etapa se te abre y que lo bueno, querido Javier, seguro que está por llegar (*Agustín Cervantes Madrid*).

Muchas gracias, Javier, por tu confianza y excelente trato humano. Como técnico de este departamento, también agradezco tu buena disposición y respeto hacia mi trabajo. Ha sido un privilegio colaborar con una persona de tu talla tanto personal como profesional (*Ricardo Chacón González*).

Inevitablemente, hay que pasar de página en la vida. Me acuerdo el día de mi jubilación, que tú organizaste. Muy simpático, tal acto. Todos estábamos riéndonos. Uno decía una chorrada y otro, más. Esto sí que no era un acto solemne. Como tú has organizado el mío, te debemos una celebración para el tuyo (*Manuel Fernández González*).

De todas tus virtudes, Javier, la que más admiración me produce es tu versatilidad. Doy fe de que puedes practicar yoga con la misma solvencia que conduces un grupo de investigación del Área en la que eres referente. Sé que ocupaciones no te van a faltar, pero espero que también puedas venir a visitarnos al Departamento y llevarnos al huerto, literalmente (*Alicia Fernández Oliveras*).

Estimado, Javier. Desde que llegué al Departamento en el año 2018 he recibido mucho cariño por tu parte. Siempre dispuesto a ayudar, a escuchar. Para mí eres un maestro, una persona de quien aprender continuamente y siempre dispuesto a enseñar, un referente. Mis mejores deseos. Un fuerte abrazo (*Araceli García Yeguas*).

Estimado Javier, gracias por la coherencia en tu quehacer universitario, por tus esfuerzos para que la protección de la naturaleza tenga presencia en la formación del profesorado y por haber contribuido a que el "medio ambiente departamental" siempre fuera amable. Espero sepamos mantenerlo en tu ausencia. Que tu nuevo estado vital te sea realmente jubiloso (*Francisco González García*).

Gracias por tu ejemplo diario: enseñar con pasión, escuchar con respeto y trabajar con generosidad. Ha sido un placer compartir esos años de trabajo contigo en el Departamento. Y a pesar de la distancia, desde Melilla siempre he sentido tu apoyo incondicional, tu compañerismo y especialmente tu disposición a ayudarme siempre que lo he necesitado. Un abrazo enorme (*Verónica Guilarte Moreno*).

Desde que aterricé por primera vez en el Departamento, allá por 1998 para los cursos de doctorado, he recibido de ti tanto a nivel profesional como personal un trato exquisito. Algo que te agradezco, así como los espacios educativos y los conocimientos que dejas (*Pilar Jiménez Tejada*).

Javier, confío en que la vida te sonría en esta nueva etapa que inicias. Disfruta de los tuyos y de todas las cosas que, por falta de tiempo, no has podido realizar. Me quedo con el buen sabor de boca de haberte tenido como compañero y de seguir teniéndote, espero, como amigo (*Salomé Marinetto Aguilar*).

36 años juntos... quién lo diría, ¿verdad Javier? Años de risas, de lágrimas, de confidencias, compartiendo momentos de trabajo, de ocio, de Universidad, siempre con cariño y respeto. Un referente en lo profesional, una trayectoria brillante, para un futuro seguro que más tranquilo pero lleno de nuevos momentos entrañables. Un abrazo (*José Antonio Naranjo Rodríguez*).

He tenido la suerte de compartir mi tiempo en el departamento con este gran investigador y docente, pero sobre todo compañero. Me parece loable el esfuerzo que siempre ha hecho por mantener una buena relación entre los miembros del departamento y echaremos de menos su buen hacer (*Sila Pla Pueyo*).

Javier, mago de brújulas pedagógicas, alquimista de vocaciones y experto en resolver problemas... incluso cuando aún no existen. Celebramos tu jubilación con mucha física aplicada a la vida, con energía renovable y sonrisas en órbita. Gracias por enseñarnos a pensar, a experimentar con ideas y a no perder la curiosidad. Tu huella sigue en expansión (*M. Ángeles Sánchez Guadix*).

Nuestro camino compartido no ha sido muy largo, pero ha sido suficiente para admirar tu profesionalidad, tu compañerismo, tu cercanía y tu calidad humana. Dejas una huella difícil de borrar. Espero que esta nueva etapa que inicias te regale tiempo, nuevos proyectos e ilusiones. Con todo mi cariño (*Alejandra Ramírez Segado*).

Gracias por impulsar en la UGR el huerto escolar para educadores. Algunos lo llamamos ya "el Huerto de Perales", un lugar donde aprender a cultivar relaciones vivas entre Ciencia, Tecnología y Sociedad... con la ayuda de tu azada crítica sobre Educación Ambiental (*Susana Rams Sánchez*).

Tu trayectoria en la Universidad de Granada habla por sí sola. Gracias por tantos años de docencia, investigación y compromiso, y por la huella que dejas en nuestro Departamento y en quienes hemos tenido la suerte de compartir este camino contigo. Con cariño y los mejores deseos para esta nueva etapa (*María Rodríguez Serrano*).

Para quien ha sido guía serena en la docencia, resolviendo dudas y cuidando personas. Gracias por las sonrisas, conversaciones que hacen más ligero el camino, y por enseñarnos que la didáctica de las ciencias también se cultiva (*M. Carmen Romero López*).

Querido Javier, te deseo todo lo mejor en tu nueva etapa. Gracias por todo el legado que nos dejas, tu cercanía y empatía, y por inspirarnos a enseñar las ciencias con rigor, pasión y humanidad. Un gran abrazo (*José Manuel Sánchez Robles*).

Y se abre una nueva etapa en el camino que nunca cesa... Mis mejores deseos, Javier. Gracias por tu acompañamiento, profesionalidad y cercanía; por abrirme tu despacho y compartir tantos momentos. Agradecida de aprender contigo y segura de que seguiré haciéndolo. Ahora toca disfrutar la Vida de otra manera. Salud (*Lucía Torres Muros*).

Gracias por tu acogida desde que llegué al departamento hace más de una década, y por tu apoyo en mi paso desde las Ciencias a la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Gracias también por tu trayectoria, que nos ha marcado, y por tu calidad humana y cercanía. Para mí, este *handbook* es un homenaje a todo eso (*Mercedes Vázquez Vilchez*).

Querido Javier, padre académico. No sé si escribir desde la alegría o desde la tristeza que a la vez siento. Desde la alegría, como siempre, te deseo toda la felicidad posible ahora que eres más dueño de tu tiempo; y la tristeza en este caso es efímera, pues sé que siempre estás ahí, como siempre has estado (*José Miguel Vilchez González*).

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PROFESORES E INVESTIGADORES EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES (ÁPICE)

La Asociación Española de Profesores e Investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales (ÁPICE) comenzó su andadura en la asamblea constituyente en 1998, durante los XVIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, que se celebraron en A Coruña. Javier Perales fue elegido su primer presidente con el consenso de todos los miembros. Él supo leer la inutilidad del aislamiento entre los grupos que se estaban desarrollando en torno a cada universidad (con docentes también no universitarios) y propuso una alternativa que nos asociara y aglutinara.

Cuando hablamos de ÁPICE hablamos de Javier Perales porque dejó su impronta de compromiso con el trabajo compartido, en una práctica académica centrada en las personas y en los proyectos, en la que el interés común siempre prevalezca, ajena a protagonismos innecesarios. Entre otras acciones, peleó por la presencia de investigadores de Didácticas Específicas en las comisiones de sexenios, cuando eran difíciles de conseguir, para que se oyera nuestra especificidad, igual que actualmente emplea su tiempo en que la revista de la asociación alcance todos los índices de calidad posibles.

Así se gana el corazón de todos, con trabajo, con presencia, con cariño, con esa llamada para felicitar las fiestas, con estar atento a todos o con dedicar el tiempo que haga falta para ayudar a cualquiera de nosotros ante cualquier dificultad. Estoy segura de que los socios y socias de ÁPICE, en su totalidad, reconocen estas cualidades de Javier; y los más históricos siempre lo recordaremos como el “Señor de ÁPICE”, en sus dos acepciones: de posesión y de pertenencia a la asociación. ¡Gracias Javier!

M. Rut Jiménez Liso. Presidenta de ÁPICE

PARTE I.
INTRODUCCIÓN AL ÁREA DE DIDÁCTICA
DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Capítulo 1. Logros y futuro de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en España

Roque Jiménez-Pérez¹, Antonio de Pro² y Bartolomé Vázquez-Bernal¹

¹ Departamento de Didácticas Integradas. Universidad de Huelva; ² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia

Contacto: rjimenez@uhu.es; nono@um.es

ERASE UNA VEZ...

Es cierto que ya se habían realizado aportaciones por investigadores y especialistas en España, pero eran contribuciones aisladas, individualizadas y con una escasa proyección. En 1980 se celebraba un Congreso de Pedagogía en Granada, y allí coincidimos un grupo de profesores vinculados a la Didáctica de la Física y de la Química. Entre los corrillos que este tipo de eventos propicia, decidimos reunirnos en la Escuela de Profesorado de EGB (así se llamaban entonces los centros donde trabajábamos) de la mencionada Universidad y creemos que, con ello, comenzó la andadura de nuestra área de conocimiento. ¿Fue fruto de la casualidad? ¿Era la consecuencia del aislamiento que teníamos en nuestros centros? ¿Surgió por la necesidad de comunicar y discutir lo que hacíamos? ¿Hubo algún hecho que favoreciera nuestro encuentro? No lo sabemos, pero acabábamos de empezar una historia... una gran historia.

Desde los primeros Encuentros, nos dimos cuenta de que compartíamos problemas estructurales semejantes (para los científicos éramos pedagogos y para estos, científicos), que escuchar a otros nos ayudaba a avanzar en nuestros conocimientos, que el intercambio de ideas y de experiencias nos hacía progresar profesionalmente... Pero, sobre todo, nos hizo crear un colectivo unido por unos estrechos lazos afectivos, tan poco habitual en las universidades españolas.

Institucionalmente, la creación de las áreas de conocimiento y de los departamentos universitarios se realizó un poco más tarde. Este reconocimiento oficial nos ayudó a identificarnos como grupo de cara a los demás y permitió el enriquecimiento con el profesorado de este y otros niveles educativos. Lo que hoy contemplamos como comunidad científica ha sido un trabajo ingente y producto del esfuerzo, de la ilusión y de las aportaciones de muchos, a los que queremos rendir un sencillo homenaje con este trabajo.

Por último, quisiéramos señalar que el crecimiento exponencial logrado en las últimas décadas, con algunas circunstancias a favor y otras muchas adversas, ha permitido también una posición relativamente destacada de nuestra investigación en la comunidad internacional, como ya señalaron Lee *et al.* (2009) y han señalado Ban y Mahmud (2023).

ALGUNAS CONSIDERACIONES DE PARTIDA

La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias ha sido y sigue siendo una cuestión controvertida. Pero esta circunstancia no solo se ha reconocido en España, sino que es común a casi todos los países de la OCDE (Kjaernsli y Lie, 2011); de hecho, Gil y Vilches (2006) reflexionaron sobre esto para poner las cosas en su sitio. No obstante, podemos decir, sin temor a equivocarnos, que esa dificultad del aprendizaje de las ciencias es una causa del alto índice de abandono escolar temprano en la Educación Secundaria y el Bachillerato. Así, en 2010, el 30% de los alumnos no terminaron la ESO a nivel estatal y el 28,4% tenía problemas con el aprendizaje de las ciencias.

Este hecho sucedía ya en los años 70 cuando el acceso a los estudios obligatorios se extendió a un sector más amplio de la población. Posiblemente por ello es cuando grupos de profesores, tanto de Primaria como de Secundaria, se unen fomentando una llamada “escuela nueva” con el objetivo de mejorar la educación a través de la innovación. Por otra parte, la proyección y, en muchos casos, la relación de estos grupos de renovación con el profesorado de las antiguas Escuelas de Formación del Profesorado de EGB condujo a una mayor profundización en el tratamiento de los problemas educativos que solo podían tener solución con la cooperación y con la investigación.

No ha sido fácil el camino andado y se ha tenido que luchar con el pensamiento generalizado fuera del ámbito de la didáctica: “el que sabe, sabe enseñar”, “lo que necesita un maestro es pedagogía, psicología y algo de sociología porque ya tiene los conocimientos que debe transmitir”, “lo que tienen que hacer los maestros y los profesores es dar bien sus clases” ... Otras ideas se generaron desde dentro, a causa de nuestra propia evolución: “lo que se enseña, se impide descubrirlo”, “si el niño no está motivado es porque no se esfuerza”, “lo que tiene que hacer el estudiante es estudiar más” ... (Pro y Rodríguez Moreno, 2011).

La necesidad de impulsar una buena educación en ciencias también ha sido una cuestión prioritaria a pesar de los frenos del propio sistema (presencia de las ciencias en el currículo, aumento de alumnos por grupo, supresión de los laboratorios escolares o contratación de profesorado a bajo precio, entre otras) y se ha ligado a circunstancias de interés político y económico. Es lo que Perales (2012) tacha de “paso por un calvario”, que justifica con cuatro razones relacionadas con la reducción de la presencia de nuestra área en la formación de Maestros de Primaria y sus consecuencias, la falta de renovación del denostado CAP y el no favorecerse la permeabilidad entre Escuela y Universidad. Esto ha llevado a etapas de avances lentos, y otras de cambios y adaptaciones más rápidas por las exigencias asociadas a la “trilogía” de la ideología, la epistemología y los cambios de paradigmas en las metodologías.

El crecimiento de la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales tiene como protagonistas a todos los profesores e investigadores que han difundido

sus aportaciones en los actuales Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales (ya llevamos 31), en los Congresos de Investigación e Innovación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (llevamos 12) y en la infinidad de cursos, jornadas y reuniones que se han desarrollado en España, aparte del gran número de tesis realizadas y defendidas desde entonces.

A estas contribuciones hay que añadir las realizadas en artículos, en libros, en páginas de internet, en publicaciones o en programas educativos, que han tratado de mejorar la docencia y el aprendizaje en este ámbito del conocimiento. Todo ello se ha puesto de manifiesto en la producción desarrollada en nuestro ámbito en revistas reconocidas internacionalmente (Jiménez-Pérez, 2012). Pero, además, el hecho de reconocer a las revistas *Enseñanza de las Ciencias*, *Eureka* o *ÁPICE* como publicaciones de alto impacto, y otras que recogen muchas contribuciones en nuestro ámbito —*Investigación en la Escuela o Interuniversitaria de Formación del profesorado*— son indicadores de nuestro papel no sólo en la comunidad castellanoparlante sino también en la comunidad internacional.

ETAPAS EN LA EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Llegados a este punto, pensamos que sería conveniente un tratamiento por partes para justificar este avance en términos de evolución. En este sentido, creemos que debemos de abordar tres interrogantes básicos: ¿de dónde partimos?, ¿qué hemos hecho? y ¿qué podemos seguir haciendo?

Se han realizado otros trabajos que han tratado de responder a cuestiones semejantes. Así, Pro (2009) y Benarroch (2010) se centraron en las comunicaciones presentadas a congresos de Didáctica de las Ciencias Experimentales y, en cierto modo, representativos del área; también se ocuparon de las contribuciones en congresos con una amplia representación de formadores de maestros (Pro y Rodríguez Moreno, 2011). Ha habido contribuciones sobre las tendencias metodológicas de las aportaciones (Gutiérrez, 2008; Otero y Sanjosé, 2006). Gil (1994) analizó 10 años de existencia de la revista *Enseñanza de las Ciencias*; en este mismo sentido, Jiménez Aleixandre (2008) lo hizo 25 años después del nacimiento analizándola como medio de diálogo en la comunidad científica y comparándola con las tres revistas de mayor impacto del área. También los hubo sobre publicaciones en otras revistas especializadas y con cuestiones monográficas (García, 2008; Oliva, 2010; Pro, 2010; etc.). En este trabajo pretendemos aportar información sobre la evolución de la investigación en el panorama español comparándolo con lo que ha ocurrido fuera de nuestras fronteras.

Aun sabiendo que no es un estudio completo, podemos caracterizarlo como una revisión panorámica con todas las limitaciones que tiene un trabajo de este tipo. Para ordenar cronológicamente nuestro relato, definimos unas etapas, sin ánimo de pretender que éstas sean estancas pero que dan idea del proceso

producido hasta llegar a la actualidad. Así nos servirán para hacer un recorrido a través de ellas:

- Una etapa *precientífica* hasta la década de los años 70, que coincide con las etapas “adisciplinar”, documentada también por Perales (2018), y posteriormente “tecnológica” desde la visión de la disciplina de Didáctica de las Ciencias Experimentales establecida por Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002).
- La etapa *protocientífica* de los años 80 que converge con la denominada “emergente” por Porlán (1993).
- La etapa de *desarrollo científico* a partir de la década de los 90, marcada por la “consolidación” de la disciplina establecida por distintos autores. Finalmente, una etapa de *normalidad investigadora* en la última década, como también la llaman Pro y Rodríguez Moreno (2011), para continuar con la que denominaríamos de *expansión* para el futuro.

COMO CUALQUIER COMIENZO

El único referente que tenemos hasta la primera mitad del siglo XX es la revista *Science Education*, que nace en 1916, en la que no existe un campo de problemas delimitados que pudieran alimentar la investigación. Coincide con lo que llamamos etapa *precientífica*; otros autores la denominan *adisciplinar y tecnológica* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002) o *predisciplinar* (Porlán, 1998).

Este último autor sitúa el origen de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en la década de los 50 con una visión fragmentada y, por tanto, atórica, sin un cuerpo propio de conocimiento, en la que las exiguas publicaciones trataban de recomendaciones o sugerencias que hacían los autores para la utilización de algunas herramientas o recursos en el aula. En esta época se comienza a gestar el desencadenante —la falta de científicos— unido a la necesidad de mejorar la formación desde los niveles básicos del sistema educativo. Este hecho se relaciona con el adelanto tecnológico de la Unión Soviética a los Estados Unidos y se considera que el lanzamiento del primer satélite (Sputnik) en 1957 es un punto de inflexión que marca la principal preocupación de esta época.

Es a partir de la década de los 60 cuando comienza a crecer la inquietud y la necesidad de cambios en el currículo con un gran despliegue de propuestas que cuestionaban el sistema empleado para enseñar las ciencias. En este espacio de tiempo existió una fuerte influencia de la psicología del aprendizaje, pretendiendo incidir en el cómo se aprenden las ciencias, tomando como referentes a autores como Rober Karplus, Jerome Bruner, Robert Gagné o Frederic Skinner.

También se despliega un amplio abanico de innovaciones que provienen de los países angloparlantes y que promueven la transformación de una enseñanza tradicional de conocimientos elaborados a una más “progresista” de corte experimental

científico-positivista. Hay que recordar propuestas de enseñanza de las ciencias como las de *Physical Science Study Comité* (PSSC) o la de *Chemical Bond Approach Project* (CBA), por ejemplo, o los ambiciosos programas de la *Nuffield Foundation*, basados en la indagación (*inquiri*). Estos proyectos suponen un paso adelante no sólo en el cuerpo de los conocimientos de la didáctica, sino que se extiende a la investigación educativa. Aunque ésta fuera de corte experimentalista y cuantitativa, sin tener todavía muy en cuenta otros aspectos, supone un cambio radical a la enseñanza de las disciplinas científicas (Sanmartí, 2008).

Comienzan a surgir problemas derivados de los cambios, en los que se prestaba más atención a lo que el alumno “sabe o no sabe”, llegándose a “sorprendentes” hallazgos como que había conceptos básicos y reiteradamente enseñados que no llegaban a ser correctamente aprendidos por los alumnos. Obviamente, estos problemas no tienen una respuesta simple a través de la realización de experiencias o actividades de laboratorio, sino con un tratamiento de investigación educativa adecuado que dé respuesta a este problema.

Ningún país europeo tuvo tradición investigadora hasta después de los años 60, y esto se pone de manifiesto en lo que es más productivo e importante: la comunicación de resultados. Comienzan a surgir nuevas revistas como órganos de expresión, y con ello un aumento considerable de trabajos publicados. Así, en 1963, aparece *Journal of Research in Science Teaching*; en 1971, *Research in Science Education*; en 1972, *Studies in Science Education*; y en 1979, *European Journal of Science Education* (actualmente *Internacional Journal*, desde 1987).

Con un cierto retraso también aparecen en España algunas revistas, más de innovación que de investigación, como *Cuadernos de Pedagogía* en 1975. Aunque no es específica del área, resultó ser un medio de comunicación de las experiencias llevadas a cabo por grupos de innovación, que tenían como objetivo un cambio profundo en la enseñanza de las materias científicas. Esta publicación llegaba a los centros educativos y estaba al alcance del profesorado. Con ello, se dieron los primeros pasos hacia la consolidación de la Didáctica de las Ciencias Experimentales como disciplina.

UNA VISTA HACIA EL PASADO PARA MIRAR HACIA ADELANTE

Al principio de la década de los años 80 había una sensación de vacío en el campo de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, en España y en Latinoamérica. Las escasas revistas internacionales existentes eran desconocidas, de difícil acceso, económicamente caras y no había medios de comunicación en castellano.

En esta época surge la inquietud de un grupo de profesores y, sobre todo, de las Escuelas de Formación del Profesorado de EGB, por la didáctica. En 1980 se constituyen y dan forma al I Encuentro de Didáctica de la Física y la Química que se celebraron en Granada. Estos encuentros, a los que le sucedieron otras convoca-

torias, constituyeron un foco de formación, de intercambios y de puesta en común sobre los problemas de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

En el primer lustro de esta década de los 80 se produjeron acontecimientos de gran transcendencia tanto para la disciplina como para la investigación en la misma. Así, la promulgación de la LRU en 1983 posibilitó la transformación de lo que hasta ahora eran las Cátedras de Física y Química, o Biología y Geología, en departamentos y áreas específicas, entre ellas la de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Además, en este mismo año nace, de la mano de Daniel Gil —socio honorario de ÁPICE, la *Revista Enseñanza de las Ciencias*, durante muchos años el único medio de expresión e impulso de la investigación en castellano, indexada en el *Journal Citations Report* (JCR) en 2009. Sin duda, esta publicación ha jugado, en todo este tiempo, un papel fundamental en la comunicación de la investigación en España y en Latinoamérica.

En esta década también nacen otras revistas que empujan hacia la consolidación en la investigación, como *Investigación en la Escuela*, propiciada por el grupo IRES, o la *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* (antigua de Escuelas Normales). Pero, además, hay una proliferación de actividades formativas que permite que el conocimiento académico se empiece a trasladar a las aulas.

En cualquier caso, no se logró que las Facultades de Ciencias Experimentales reconocieran los problemas en la enseñanza y el aprendizaje de sus disciplinas como temas objeto de investigación. Posiblemente por ello, solo se realizaban tesis en materias de la ciencia erudita. No obstante, los esfuerzos de la investigación en nuestra área ayudaron a superar las barreras anteriores: en 1981 solamente había dos tesis leídas en el área, y cinco en 1985.

En esta etapa, Klopfer (1983) considera que la Didáctica de las Ciencias Experimentales constituye un dominio preparadigmático, en el que la investigación tiene un carácter puntual sin un cuerpo coherente de conocimiento. Sin embargo, son numerosos los estudios fundamentados en las ideas de Jean Piaget entre los años setenta y el primer lustro de los ochenta. Aunque sus aportaciones se cuestionaran por las muestras utilizadas o por la universalidad que asignaba a las etapas del desarrollo evolutivo, su influencia resultó determinante en nuestro sistema educativo.

Esta etapa es también cuando diferentes autores (Astolfi y Develay, 1989; Gutiérrez, 1987) consideraban un cambio de tendencia científicista y tecnológica en la enseñanza de las ciencias con respecto a las dos décadas anteriores, donde los problemas sociales y ambientales ponen coto al positivismo ilimitado. En este sentido, autores como Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Stephen Toulmin, Paul Feyerabend y David Ausubel tienen un papel predominante con un cambio en la corriente epistemológica. Desde la psicología cognitiva se promueven cambios a los modelos simplificadores que consideran el aprendizaje como causa directa de la enseñanza y, desde la propia didáctica, centrado en la comunicación en el aula de ciencias. Poco a poco se van generando marcos teóricos que se van compartiendo,

como en cualquier origen de una disciplina. Se comienza a crear una comunidad de investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales que poco a poco se van separando de los modelos psicológicos y creando la necesidad de solucionar sus propios problemas.

Podemos constatar, a través de la literatura, que para lo que conocemos como “concepciones alternativas”, “concepciones espontáneas” o “errores conceptuales”, Pierre Astolfi y Laurence Viennot, entre otros, marcan una línea muy fuerte que posiciona la investigación hasta finales de la década de los ochenta. También destacan otras obras, como las de Novak y Gowin (1984), la de Driver *et al.* (1989) o la de Giordan y De Vecchi (1987). En nuestro ámbito, gran parte de los esfuerzos se centran en la identificación de las ideas previas del alumnado en los niveles de secundaria y primaria. La proliferación de estos estudios tiene un amplio eco en la comunidad de investigadores y prácticamente no se deja ninguna concepción sin explorar.

Con anterioridad, en la Revista *Journal of Research in Science Teaching*, autores como Watson (1983) reconocían en esta época la preocupación social hacia la Didáctica de las Ciencias Experimentales como una posible disciplina, aunque la falta de investigación en este campo -y por tanto de resultados- también conlleva que no haya un cuerpo que la identifique como tal, o que tenga una identidad. Por otra parte, Westmeyer (1983) cuestiona que pueda ser una disciplina, comparándola con otras ciencias más establecidas, y alude hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos: establecer teorías propias, aplicar teorías de otras disciplinas o estabilizar los conocimientos. En este mismo sentido, y en la búsqueda de un campo propio, Abraham *et al.* (1982) realizan un amplio trabajo por encuestas para conocer el pensamiento de los miembros de la Association for Research in Science Teaching, que se decantan por la necesidad de establecer tres líneas prioritarias de investigación: 1) estrategias de enseñanza, 2) aprendizaje de los estudiantes y 3) actitudes de estudiantes y profesores.

Así, se comienza a recoger la cosecha a final de esta década y empieza la de los 90 con revisiones como la de Lederman (1992), en la que trataba de justificar qué se había aprendido de las preconcepciones y de los nuevos enfoques para investigaciones futuras. También habría que mencionar las conclusiones aportadas por Gil (1994), en las que decía que estas concepciones cuestionan rotundamente la eficacia de la enseñanza de las ciencias por transmisión de conocimientos, que son fundamentales los planteamientos constructivistas y que hay que considerar las aportaciones de la historia y filosofía de las ciencias.

En el artículo “Visiones deformadas de la ciencia transmitida por la enseñanza”, publicado por Fernández *et al.* (2002), se hace un recorrido por diversas investigaciones y se presentan los diversos obstáculos que tienen los profesores para la renovación de la enseñanza de las ciencias. La atención a las preconcepciones del profesorado fue escasa hasta la segunda mitad de los años 80. Así, Hewson y Hewson (1987 y 1989) publicaron dos interesantes trabajos: en el primero se decía que, si

los alumnos tenían preconcepciones, cabría suponer que también las tendrían los profesores; en el segundo presentaban una forma curiosa de conocer y analizar las concepciones, utilizando sistemas similares a los contruidos para los alumnos (los cuestionarios sobre viñetas, a los profesores).

Esta época fue muy prolija en los cursos de formación, sobre todo en la segunda mitad de la década de los 80 y principio de los 90, aunque no se tomaban en cuenta las concepciones de los profesores en el diseño de la formación inicial pretendida. En este sentido, Bell y Pearson (1992) expresaron la importancia de cambiar la epistemología del profesorado para la renovación de la enseñanza de las ciencias. Así, la investigación en torno a las concepciones de los docentes acerca de la ciencia y su enseñanza fue, a final del siglo XX, una potente línea de investigación y que destila un amplio número de publicaciones, tesis doctorales y volúmenes temáticos (Porlán 1998).

Por lo tanto, se percibe un cambio notable desde principio de los 80, según los presupuestos de Watson (1983), Klopfer (1983) y Westmeyer (1983). De hecho, Hodson (1992) diagnosticó que era posible la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, donde se puedan integrar los aspectos relativos a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, respaldado por Aliberas *et al.* (1989), apuntando hacia una nueva comunidad científica.

EL PRINCIPIO DE UN VERDADERO DESARROLLO

En la década de los años 90 comenzó el *desarrollo científico* marcado por la consolidación de la disciplina. Aunque se seguía hablando de un cuerpo teórico fragmentado en los diferentes ámbitos, existía una tendencia a la confluencia de la Didáctica de las Ciencias Experimentales con una necesidad de integración de las líneas de investigación (Porlán, 1993). Este mismo autor propone acciones a llevar a cabo para lograr la consolidación, entre ellas, algunas importantes desde nuestro punto de vista.

En el mismo sentido, Barberá (2002) hizo una reflexión sobre la complejidad de nuestra área. Destacaba que se nutría de todas las ciencias básicas y esto aumentaba la dificultad a la hora de abarcar un corpus homogéneo de conocimiento, ya que existen objetivos educativos muy dispares desde la educación infantil hasta la formación de profesores. Esta multiplicidad en la enseñanza acomete tareas complejas como la de convertir en ciencia escolar diferentes niveles la ciencia básica; su tratamiento es, de por sí, diferenciado y con elementos distintos en sus conceptualizaciones.

Se destaca en esta década la necesidad de consolidar un *auténtico marco teórico de referencia*. El gran número de trabajos publicados en múltiples revistas específicas del área ayudaron, sin duda, a la unificación de marcos teóricos que ya se compartían por la comunidad científica; de hecho, muchas de las revistas que recogían todo tipo de artículos -de reflexión, de innovación, de investigación y de experiencias- se

fueron especializando. Esto hizo que se favorecieran unas mayores exigencias para la publicación y una orientación más clara de las herramientas de la difusión (Sanmartí, 2008). No obstante, es cierto que paralelamente se produjo un rechazo de aportaciones que no seguían las *pautas universalmente aceptadas* y que, en algunas ocasiones, las exigencias mencionadas no sólo tuvieron un efecto positivo. Pero, sin duda, en esta última década del siglo XX el panorama mejora notablemente e incluso da un cierto giro en nuevas líneas prioritarias de investigación.

En nuestro entorno nace, en 1994, una importante revista, *Alambique*, con el compromiso de prestar apoyo al profesorado dando a conocer propuestas de experiencias innovadoras concretas; de hecho, junto a *Enseñanza de las Ciencias* e *Investigación en la Escuela* eran las revistas de mayor referencia en el área. Fuera de nuestro entorno comienzan su andadura otras revistas especializadas, como *Science & Education* en 1991, de apoyo teórico sobre el papel de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza.

Por otra parte, al final de la década, Mellado (1999) reseña los avances producidos en las investigaciones sobre el profesorado y las inconsistencias entre las concepciones y la práctica de aula, con una consolidación del constructivismo como marco teórico necesario para los futuros programas escolares e, incluso, de formación inicial. Gil *et al.* (2000) señalaron nuevas líneas de actualidad para la investigación. Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002) analizaron la Didáctica de las Ciencias Experimentales como disciplina autónoma consolidada, basándose en una serie de indicadores. Y Porlán (1993 y 1998) subrayó la disciplina como emergente y, al final de la década, consideraba positiva la evolución de la investigación con la consolidación de la línea del pensamiento de los alumnos y el desarrollo de otra de gran actualidad, la del conocimiento y práctica de los profesores.

Posiblemente el cambio, desde la consideración del alumno como la causa de las dificultades del aprendizaje hacia el profesor como impulsor del cambio conceptual, puede ser la causa de la drástica reforma que sobrevino con la nueva ley de educación, la LOGSE en 1990. Esa nueva visión de orientar la educación en ciencias hacia las necesidades de los ciudadanos frente a una enseñanza de las ciencias para formar futuros científicos, parte de una dicotomía inexistente, según Pro (2010), con el argumento de que los científicos deben ser, ante todo ciudadanos. Es cierto que no fue bien acogida por parte del profesorado, bajo la defensa de la “ciencia de siempre”, y esto pudo desembocar en un conocimiento profundo del pensamiento que sustentaba ese principio.

Pro (2009) hizo un pequeño análisis respecto a la fuente de problemas nuevos, en términos de investigación, que se abren con los cambios curriculares. Así, por ejemplo, la LOGSE puso el acento en varias cuestiones como: la alfabetización científica de la ciudadanía, las áreas transversales, los nuevos planteamientos y recursos metodológicos de la enseñanza, la reconceptualización de la evaluación o la formación inicial y permanente del profesorado. Con la LOE, en 2006, se suman otras problemáticas como: las competencias, la contextualización de las ciencias o el

abordaje por ende de la enseñanza no formal e informal, el valor de la argumentación y las destrezas comunicativas, la nueva formación inicial generalista de los maestros, etc. Todas estas temáticas se convierten en posibles problemas para ser objetos de investigación y, de hecho, es así por el aumento sustancial de la producción, como apuntaba Pro (op.cit), en esta etapa podemos hablar de un “área viva” donde la investigación y la innovación despliegan retos muy variados.

Pero hay otros indicadores que nos permiten detectar una evolución positiva de la investigación en esta etapa y es el de tesis doctorales. Anteriormente, apuntábamos que la segunda tesis leída con contenidos propios de Didáctica de las Ciencias Experimentales fue en 1981, los datos aportados por Jiménez y Prieto (1996) en una comunicación presentada en los XVII Encuentros contabilizan hasta 44 tesis leídas —con posibilidad de algunas más— y 24 en realización, sin duda un claro desarrollo del área aunque también constatamos que, por la falta de doctores, muchas estaban dirigidas desde las facultades de ciencias experimentales y, por consiguiente, con directores de materias disciplinares.

En un trabajo realizado por López Calafí *et al.* (1998) hay también un indicador que nos permite visualizar una maduración de la investigación en esta etapa. En este estudio bibliométrico, que trata de la evolución de la revista de *Enseñanza de las Ciencias* a partir de sus fuentes de información, se constata cómo entre los años 1983 y 1996 hay una inversión de las referencias de libros hacia artículos de revistas, dando idea de una maduración de la investigación y una progresión en los fundamentos del conocimiento.

Según lo anterior, podemos considerar en nuestro contexto educativo un área consolidada al final de la década de los 90 y coincidiendo con el inicio del nuevo siglo, que, en un relativo corto espacio de tiempo, el volumen de publicaciones había sido muy extenso, con un principio de reconocimiento internacional de nuestra comunidad científica. Ya en este momento existía también un considerable número de revistas, y se intensificaron los programas de doctorado en los departamentos, aumentando notablemente los doctores en el área. Pero cuando esta evolución se produce es necesario hacer una parada dinámica que nos permita reflexionar sobre lo que se ha hecho complaciente o críticamente, y hacia dónde podemos ir.

Utilizando la metáfora de la escalera ha sido como subir peldaño a peldaño con la necesidad de rellanos que nos hagan pensar cómo seguir subiendo. Esta función se le puede asignar a los cuatro *handbooks* internacionales específicos del área hasta ahora publicados (Abell y Lederman, 2007; Fraser *et al.*, 2012; Fraser y Tobin, 1998; Gabel, 1994; McRobbie, 2012). Los dos primeros publicados en esta década dan buena cuenta de la evolución producida; de ellos, el primero más dedicado a los alumnos y al aprendizaje, y el segundo a la enseñanza y los profesores. Hay que destacar la presencia en ellos de autores españoles con tres artículos, uno en el segundo *handbook* y dos en el último.

En nuestro contexto, hemos de recordar el trabajo de Perales y Cañal (2000) que, para algunos, constituyó nuestro primer *handbook* en lengua castellana. En esta

publicación se abordaron las temáticas más importantes de la investigación que, en aquel momento, nos preocupaba en el ámbito de nuestra área de conocimientos (La Didáctica de las Ciencias: caracterización y fundamentos; El currículum de las Ciencias Experimentales; La práctica en la enseñanza de las Ciencias; Ideas previas de los alumnos y construcción de conocimientos; La formación del profesorado; y Las áreas transversales).

Un último indicador que podemos dar está basado en una revisión en nuestro país, dentro del conjunto de la producción en la investigación en educación, que nos proporciona Anta (2008). Realizó un análisis bibliométrico utilizando 3118 documentos de investigación educativa de 182 revistas españolas, entre los años 1990 y 2002, con el fin de observar los contextos en los que se desenvuelve la investigación. Entre estas revistas se encuentran las más conocidas de nuestra área –*Enseñanza de las ciencias*, *Alambique*, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, *Investigación en la Escuela*– y otras revistas en las que también se publican artículos relacionados con la Didáctica de las Ciencias Experimentales, como la *Revista de Educación*, la *Revista de Investigación Educativa*, etc. Entre los datos obtenidos se pueden extraer algunos relativos a nuestra área como, por ejemplo, en cuanto al objeto de las materias que intervienen en la investigación: de 1040 documentos el 33% están relacionados con la enseñanza de las ciencias y el segundo mayor porcentaje es de la enseñanza de las ciencias sociales con el 27%. Por otra parte, sobre 1936 documentos que tratan los diferentes niveles de la enseñanza, sigue liderando las investigaciones el nivel de Secundaria, en el que confluyen diferentes parámetros como ser el nivel más problemático en cuanto al currículo, profesores y alumnos, entre otros. Hay un dato importante a resaltar en este estudio: ordenadas de mayor a menor volumen de documentos en estos años, las cinco primeras revistas, entre las que se encuentran *Enseñanza de las Ciencias* y la *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, acumulan semejante producción a las 18 siguientes y, a su vez, al resto hasta la 181.

Y ¿CUÁL ES EL BALANCE EN LA ACTUALIDAD?

Aparte de las consideraciones estructurales aludidas anteriormente, podemos agregar algunas más que también justifican la evolución del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales y, como consecuencia, la investigación. Podríamos hablar de un vertiginoso avance producido con la entrada del nuevo siglo teniendo en cuenta que en 1983 la comunidad de didáctica de las ciencias no existía como tal en España, según señala Jiménez Aleixandre (2008), entre otros investigadores. Al final de la década de los 90 Barberá (2002) califica al área de “muy dinámica”. En la primera década del siglo XXI, Pro y Rodríguez Moreno (2011) hablan de “desarrollo espectacular” de la investigación. Podemos asegurar que estamos en igualdad, o por encima, de otras áreas de educación.

En cuanto a la estructura académica, hasta hace 15 años no existían Titulares ni Catedráticos de Universidad; ahora los primeros son la figura normal y hay un número razonable de los segundos. En el año 2000 la mitad del profesorado no era doctor, escaseaban los programas de doctorado (sólo había cinco en todo el estado) y, cuando se ofrecían, con muy pocos alumnos; desde el curso 2005-06 se instauran los estudios de tercer ciclo y, a partir de 2006, los Másteres oficiales, lo que ha favorecido el aumento considerable del número de alumnos que cursan estudios de posgrados en nuestro ámbito del conocimiento. Recientemente, y aprovechando el buen ambiente existente en el área, la creación del Programa Interuniversitario de Didáctica de las Ciencias Experimentales ha supuesto un nuevo proyecto común a las 14 universidades que participamos en el mismo para facilitar la realización de tesis doctorales de calidad en nuestra área de conocimiento. Esperamos ampliarlo a otras que actualmente no participan en este proyecto.

Ya es usual la obtención de proyectos en convocatorias competitivas nacionales. Fue una petición reiterada que la evaluación de nuestro trabajo se realizara por expertos del área y, al menos, tenemos alguna representación en órganos de evaluación y acreditación nacional (CNAI, ANECA y ANEP). Ello ha contribuido a un aumento muy significativo de la producción, que se difunde en revistas nacionales e internacionales específicas del área —en torno a 100, según recopilación realizada— y en otras menos específicas, con un creciente número en las de alto impacto incluidas en JCR o SJR. Ha aumentado la participación en los Congresos Internacionales, de aproximadamente 500 a más de 700 comunicaciones respectivamente en los tres últimos Congresos de Enseñanza de las Ciencias, con la participación mayoritaria de hispanoparlantes, aumentando sensiblemente el número en los últimos cinco Encuentros (entre 90 y 150 comunicaciones).

En 2004 aparece una nueva revista de gran impacto (JCR y SJR) en nuestra área: *Eureka. Revista sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. La labor desarrollada por José M.^a Oliva en su creación, gestión, producción, indexación y difusión ha favorecido el acceso a numerosas aportaciones en la investigación e innovación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

En definitiva, no con pocas dificultades, se ha ido creando un conocimiento estable e integrado y con un reconocimiento en la comunidad internacional. Sin embargo, esta mayor producción ha encontrado un problema: los hallazgos no llegan a las aulas. Podríamos buscar muchas razones que no dependen de nosotros: el profesorado de otros niveles educativos no tiene acceso a las revistas; muchos docentes no tienen conocimientos lingüísticos para comprender el contenido de lo que se publica; los programas y cursos de formación institucionales han desaparecido; hay una despreocupación por la actualización de los docentes en ejercicio; el modelo de acceso a la profesión no selecciona a los mejores profesionales; el currículum oficial ignora las aportaciones de la investigación; y un largo etcétera. Pero también hay una parte de culpa de los que formamos el área: la prioridad en la búsqueda de una utilidad personal a lo que producimos. ¿Se difunden los

resultados de nuestros trabajos para que la comunidad científica nos reconozca profesionalmente, o para que nuestras ideas, logros y recomendaciones lleguen a las aulas?; ¿publicamos para la ANECA, o para resolver los problemas de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias?

Durante este tiempo han perdido relevancia las aportaciones realizadas para conocer las ideas del alumnado o al profesorado y se ha vuelto -si alguna vez se perdió- al diseño, aplicación y evaluación de propuestas de enseñanza o de formación inicial. Al hilo de ello, se ha instalado entre nosotros términos como el aprendizaje por indagación (Couso *et al.*, 2020; Garritz, 2010; Wells, 2001), argumentación (Driver *et al.*, 2000; Jiménez-Alexandre, 2010; Sardá y Sanmartí, 2000), modelización (Gilbert y Justi, 2016; Nicolaou y Constantinou, 2014; Oliva, 2019); gamificación (Cornellá *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2018; Parra-González y Segura-Robles, 2019; Werbach y Hunter, 2012), etc. El número de publicaciones que han derivado de estos planteamientos resultan innumerables.

También se han modificado los contenidos, saberes, competencias o subcompetencias objeto de enseñanza. Así, tenemos propuestas sobre los hábitos saludables, salud y alimentación; sobre el cambio climático y sus efectos en la vida cotidiana, sobre el desarrollo sostenible; sobre el consumo energético; sobre la contaminación; sobre el uso del agua; etc. Estos cambios amplían los marcos teóricos, pero también las exigencias formativas del profesorado en formación inicial y en ejercicio.

El hecho de que la ciencia que necesitan aprender los ciudadanos es cambiante nos debería obligar a la revisión continua de los programas de las asignaturas que impartimos, así como a una participación en la oferta de programas de actualización científica y didáctica para la comunidad educativa. La paradoja de los departamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales es que sólo intervenimos en la formación inicial y no volvemos a formar parte del modelo sistémico para formar al profesorado novel o en ejercicio (ni, por supuesto, en el acceso a la función profesional).

REFLEXIONES Y RETOS DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS PARA EL FUTURO

Hablar de futuro siempre tiene un cierto riesgo de subjetivismo, en el sentido de apostar por lo que a uno particularmente le gustaría. Posiblemente podamos estar a caballo entre la predicción más o menos objetiva y la recomendación interesada, que son elementos propios de las revisiones; o podamos entender que sería coherente con la actual situación de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, para reforzar el cuerpo de conocimiento.

Hoy día el determinante para que se cumpla la predicción o la importancia de una línea a seguir está avalada, o fundamentada, en las discusiones y debates que se llevan a cabo en las reuniones científicas y por las temáticas que se reflejan desde la abundante literatura científica. Desde luego se parte de una posición de la

Didáctica de las Ciencias Experimentales más integrada y consolidada, sin olvidar las aportaciones de los *handbooks* como referentes.

Hoy, hacia un futuro cercano, debemos dejar a un lado la investigación reduccionista de las concepciones, como ya apostillaba en su momento Gil (1996), y pensar en líneas más integradas y centradas en problemáticas interrelacionadas (Gil *et al.*, 2001; Porlán, 1998). Se debe profundizar aún más en la relaciones complejas entre la enseñanza y el aprendizaje y, partiendo de los fundamentos conocidos, ampliar hacia aspectos epistemológicos, sociológicos y psicológicos no considerados o muy poco tenidos en cuenta. En este sentido, podemos hablar de:

A) Si la solución a las concepciones alternativas del alumnado fue apostar por el modelo constructivista como fórmula para la enseñanza y el aprendizaje a la que tenían que adaptarse los profesores, hoy queda algo estrecha o corta. Será mucho más duradero profundizar en los fines y fundamentos de un modelo que esté de acuerdo con la confluencia en la escuela de epistemologías y culturas diferentes — científica, escolar, cotidiana, profesional, etc.— como ya apuntaba Porlán (1998). En este sentido, necesitamos conjugar las aportaciones realizadas en los diferentes ámbitos, esto es:

- a) Desarrollar una teoría del conocimiento escolar donde se integren los estudios de las concepciones y obstáculos de los alumnos, las implicaciones educativas en la sociedad, las hipótesis metodológicas coherentes de aprendizajes en contextos, o la búsqueda de nuevos fines en el aprendizaje de las ciencias al “son” de las nuevas demandas sociales.
- b) Apostar por una nueva teoría del conocimiento profesional desarrollando estrategias que favorezcan su construcción. Es preciso integrar los resultados procedentes de la investigación, los análisis de las fuentes disciplinares, los problemas prácticos y la revisión de los componentes de este conocimiento para integrar lo afectivo y lo emocional como parte esencial en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Pérez-Bueno *et al.*, 2024; Retana *et al.*, 2018).
- c) Es preciso atender a la brecha que existe, por ejemplo, entre el lenguaje científico erudito y el lenguaje cotidiano, como decían ya Galarovsky y Ardúriz-Bravo (2001), para crear lazos de comunicación más efectiva entre el profesor y el alumno. Tampoco debe ignorarse —y se hace— que el aprendizaje científico no es sólo conceptual, o que hay contenidos de enseñanza que no son “los de siempre”.

Estas tres grandes cuestiones tienen razonablemente unidas las relaciones enseñanza-aprendizaje. No podemos olvidar que la ciencia compartida con los alumnos depende del concepto de ciencia que tenga el profesor, a lo que podemos denominar el *problema continuo*, sin límite de caducidad, que va variando en función de las demandas sociales, culturales, políticas y económicas, donde nuestra función como investigador es ir diagnosticando y justificando una cada vez mejor relación.

A todo ello hay que añadir —que no es poco— las diferentes situaciones de esta relación desde la educación infantil hasta la universitaria, cada una con sus peculiaridades y sus diferentes finalidades. Dado lo anterior, pensamos que es necesario reflexionar sobre lo que se ha hecho, pudiendo denunciar, aplaudir o simplemente debatir los pasos atrás o los pasos firmes que nos hacen avanzar.

B) Hay que huir de las investigaciones *ad hoc* —posiblemente favorecidas por las facilidades para su publicación— a las que ya aludía Pro (1999), siendo preciso un proceso de investigaciones continuadas y engarzadas en el mismo ámbito. Buena cuenta de ello lo da el estudio bibliométrico realizado por Romera-Iruela (2011) destacando los grupos estables a través de publicaciones conjuntas en la misma línea de investigación.

C) No obstante, afrontar una investigación integrada donde se modele al profesor y, a la vez, se vea el efecto en los alumnos en un mismo escenario no es fácil, dado que cualquier sistema tiene múltiples variables. Es preciso diseccionar el ámbito de estudio teniendo en cuenta los grandes marcos: la enseñanza, el aprendizaje, el currículo, los recursos, la evaluación, etc. Por otra parte, debemos tener presentes las dos grandes preguntas que rondan continuamente en la literatura científica: ¿por qué hay una tendencia a huir de las ciencias, en la medida que avanzamos en su conocimiento?, o ¿por qué la investigación no tiene la repercusión que debería tener en el aula?

D) Según la Revista *Science Education*, los temas más leídos en la actualidad son artículos relacionados con la argumentación, el discurso científico, la motivación o la naturaleza del razonamiento científico. Existe un desplazamiento desde la detección de concepciones de los alumnos hacia lo que pueden aprender y cómo pueden hacerlo. Esta situación es una línea preferente que es preciso mantener y potenciar a través de secuencias programadas y arbitrando estrategias productivas con evaluación de resultados. Es, pues, un referente que está de acuerdo con que el aprendizaje de las ciencias va más allá del aprendizaje de los propios contenidos.

E) Aprender a hablar, leer o escribir sobre la ciencia es hoy un reto que está presente como necesidad de aprendizaje. Sin embargo, no lo está como tópico de la enseñanza siendo por ello motivo de investigación como parte de un desarrollo curricular adecuado. La argumentación, la forma en que los datos y las pruebas son usados en el razonamiento de los estudiantes (Jiménez Aleixandre y Díaz Bustamante, 2003; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012) y, por otra parte, la alfabetización y el lenguaje científico en el discurso (Espinete *et al.*, 2012), son temas destacados para la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (Fraser *et al.*, 2012) que deben seguir desarrollándose. Es preciso también seguir ofreciendo resultados del desarrollo curricular utilizando una ciencia contextualizada, que tenga una utilidad para el alumno (Blanco *et al.*, 2012) y, en cierta manera, ofrezca una respuesta a la primera pregunta que hemos formulado anteriormente.

F) Nuestro “gran caballo de batalla” es la formación del profesorado. La investigación e innovación que tiene más capacidad formativa y más posibilidades de

repercutir en la práctica no son las que se hacen “para” o “sobre” los profesores —llamada estática y que tuvo su momento en la década de los 90— sino las dinámicas realizadas “por” y “con” los profesores en equipos interdisciplinarios, en los que el profesor no es un consumidor de conocimientos externos sino un coproductor de los mismos sobre los problemas que realmente les preocupan en sus clases. Las experiencias basadas en la investigación-acción y en la metacognición van en esta línea (Bañas *et al.*, 2009; Vázquez-Bernal *et al.*, 2007, 2012). Ésta es una línea de las denominadas estables y prioritarias, que permite analizar y reflexionar sobre situaciones y problemas relevantes de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, en nuestras propias clases, favoreciendo el desarrollo profesional donde el profesor analiza los problemas que le preocupan y toma decisiones para mejorar la práctica de aula (Mellado, 2011). Hay que dejar de decir a los demás lo que deberían hacer y empezar a revisar lo que nosotros hacemos.

G) Teniendo asumido que la didáctica de las ciencias es una disciplina autónoma, no podemos caminar solos frente a problemas complejos. Es preciso adaptar teorías convincentes de otras disciplinas, sobre todo de la psicología en los procesos de enseñanza y aprendizaje, también de la sociología y la antropología como de la psicolingüística. Esto se justifica por razones puramente causales ya que en las investigaciones surgen variables que hacen plantearnos nuevos problemas, por ejemplo, la relación o influencia entre afectividad-cognición, cuestión ampliamente tratada en psicología de la educación y puntualmente en la educación en ciencias. Entendemos que la afectividad es un factor de gran incidencia en el aprendizaje de las ciencias y de crucial importancia en la enseñanza (Mellado *et al.*, 2014). No podemos olvidar que somos seres humanos y, como tales, actuamos por sentimientos que favorecen o dificultan el clima de aula y más aún cuando se trata de enseñar una materia difícil de entender como es la ciencia. Como expresa Garritz (2009) somos una sociedad de “eruditos racionales”, pero de “analfabetos emocionales”. Esta cuestión ha salido a la luz de forma no muy amplia, con algunas contribuciones en los *handbooks* (Bell, 1998; Jones y Carter, 2007; Koballa y Glynn, 2007; Simpson *et al.*, 1994; Wubbels y Brekelman, 1998) en las que se trata la dimensión afectiva y tiene relación intrínseca con la idea de que en la medida que se pasa del Conocimiento del Medio en Primaria a la Física y Química o Biología Geología en Secundaria, también se pasa de emociones positivas a las negativas. Zusho y Pintrich (2003) sugieren preguntas para la investigación en este campo; entre ellas: ¿qué motiva a los estudiantes en clase? ¿cómo conduce la motivación a la cognición y la cognición a la motivación? ¿cuál es el papel del contexto y la cultura en todo esto? Se piensa, por lo tanto, que los factores afectivos que intervienen en el aprendizaje ejercen un papel fundamental en el rendimiento académico y en la futura carrera profesional (Ezquerro *et al.*, 2024; Retana *et al.*, 2019).

H) Se reclama un mayor conocimiento y uso de replicaciones en las investigaciones, dado que las sociedades y las situaciones cambian y, por otro lado, también han mejorado las estrategias metodológicas además de los instrumentos de análisis.

No debemos tener miedo a utilizar metodologías usadas por otros en diferentes contextos, ya que es un elemento de contraste suficientemente útil para estar de acuerdo, matizar o advertir de errores/desacuerdos a tener en cuenta, y así poder consolidar el cuerpo metodológico.

I) Abogamos por una concentración y conocimiento más racional de lo que estamos haciendo. Debemos conocer más y mejor los trabajos de los grupos de profesores de nuestro entorno, conocer e intervenir en sus clases, y hacerles partícipes de nuestros hallazgos. Pero, paralelamente, debemos incorporar a nuestra formación a este profesorado que trabaja con nosotros en las aulas para identificar problemas, aportar realismo a lo que señalamos y mejorar la formación inicial de nuestros maestros y profesores. Con ello, podemos soslayar el problema de la utilidad de la investigación que tanto reclamamos.

J) Como decía Barberá (2002), no podemos esperar que la investigación mejore *ipso facto* la enseñanza o el aprendizaje, o mejor que sólo sirva para ello, pensamiento proveniente del empirismo practicado en Estados Unidos a lo largo del siglo XX. Esto no hay que entenderlo como una invalidez de lo investigado; todo lo contrario, es un valiosísimo instrumento que permite reexaminar la práctica y obrar en consecuencia. Tenemos el gran reto con los alumnos de formación inicial de Primaria y Secundaria, integrándolos en programas de investigación ante el convencimiento de poder enseñar otra ciencia para que sea trasladable en un futuro a sus alumnos.

Por último, querríamos decir que, a pesar de que las condiciones iniciales, el desarrollo actual de la investigación y la comunidad científica en Didáctica de las Ciencias Experimentales ha sido óptimo, y es una esperanza de futuro si otras razones extraacadémicas, en los tiempos que corren, no merman su dinámica. Es justo tener siempre presente que estamos ante un área que ha conseguido reivindicaciones de derecho en distintos foros académicos y, desde el propio trabajo desarrollado, merece un reconocimiento. Es así cuando se ofrecen datos en el panorama nacional como una de las áreas más productivas y de calidad en la investigación en el campo de la educación.

Capítulo 2. Didáctica de la física en España a través de la revista Enseñanza de las Ciencias (1983-2025)

Rafael López-Gay Lucio-Villegas¹, Lorenzo Hernández Villalobos², Jara García Ruiz¹, Luis Delgado Mayoral¹ y Manuela González Herrera¹

¹Grupo Sensociencia. Universidad de Almería; ²Grupo Sensociencia. I.E.S. Gádor – Francisco Javier Román, Almería
Contacto: rlucio@ual.es

INTRODUCCIÓN

La didáctica de la física es un cuerpo de conocimientos específico, dentro de la disciplina de la didáctica de las ciencias experimentales, que estudia la enseñanza y el aprendizaje de la física, formulando problemas y aportando conocimiento: dificultades de los estudiantes, propuestas de enseñanza desde su diseño a su implementación y evaluación, qué y cómo enseñar física, etc. Las investigaciones realizadas contribuyen a establecer un cuerpo de conocimientos fundamentado.

Hacer un análisis de la didáctica de la física constituye una oportunidad para identificar y reflexionar sobre los avances y carencias, y su evolución en el tiempo, identificando tendencias en auge y en declive. Para llevar a cabo ese análisis necesitamos basarnos en evidencias, en datos objetivos sobre la investigación en ese campo que podamos interpretar, procedentes de publicaciones, congresos, proyectos... En palabras de Neus Sanmartí (2008): “las revistas reflejan *la historia* del área, los problemas que se identifican como importantes, las posibles controversias al afrontarlos, los momentos de cambio...”. No obstante, esas evidencias serán obtenidas a través de la subjetividad de los participantes en este trabajo, ya sea seleccionando indicadores, codificando posibles repuestas o interpretando los resultados.

En nuestro caso, hemos decidido obtener los datos de la revista Enseñanza de las Ciencias desde su origen, 1983, hasta la actualidad. Hemos seleccionado esa revista porque constituye un referente de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales en España y, en general, en países hispanohablantes, y aunque con el tiempo han aparecido nuevas -y excelentes- revistas, en el caso de Enseñanza de las Ciencias proporciona un periodo suficiente (43 años) para distanciarnos de lo más inmediato y adquirir una visión y perspectiva más amplia (Gil, 1994). Somos conscientes de la limitación que supone centrarnos en una revista, lo que nos exige prudencia a la hora de generalizar resultados y conclusiones.

Así pues, el objetivo de nuestro trabajo es caracterizar la producción científica en didáctica de la física y su evolución, a través de la revista Enseñanza de las Ciencias. Nuestro interés no se ha limitado al contenido de esa producción sino también a las personas que la realizan. Hemos tratado de responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la importancia relativa de la didáctica de la física dentro de la didáctica de las ciencias experimentales?
- ¿Cuáles son las características de las personas que firman los trabajos de didáctica de la física? En particular, ¿cuál es su grado de colaboración?, ¿en qué nivel educativo trabajan?, ¿cuál es su género?, ¿en qué área geográfica trabajan?
- ¿Cuáles el contenido de física abordado por los trabajos de didáctica de la física?, ¿y el conocimiento didáctico?
- ¿En qué nivel educativo se centran esos trabajos?

Otros trabajos previos estudian también la revista *Enseñanza de las Ciencias*, ya sea de manera exclusiva o formando parte de un conjunto más amplio. Lo que diferencia nuestro estudio es el objeto específico, la didáctica de la física, y el periodo temporal de 43 años.

METODOLOGÍA

La investigación realizada ha sido no interactiva, a través del análisis documental, de naturaleza cualitativa dada la importancia de nuestra interpretación para estudiar la realidad, especialmente en el análisis del contenido de los documentos (McMillan y Schumacher, 2005). A pesar de ese carácter cualitativo, la presentación de resultados se hará mediante números que representan proporciones.

La selección de la población o elementos de análisis, es decir, los artículos de la revista *Enseñanza de las Ciencias* publicados desde 1983 hasta la actualidad relacionados con la didáctica de la física, se ha llevado a cabo utilizando un criterio amplio: que el contenido del artículo trate temas de física, aunque sea como contenido secundario. No se ha establecido filtro según la naturaleza del trabajo, considerando las diferentes secciones de la revista (*Investigaciones didácticas*, *Innovaciones didácticas* e *Historia y epistemología de las ciencias*, desde 1997) e ignorando otras notas breves (*Noticias*, *Información bibliográfica*, *Debates*, *Intercambios*...). Así, del total de 1405 artículos publicados en las mencionadas secciones, hemos seleccionado 302 específicos de didáctica de la física, cada uno de los cuales constituye una unidad de análisis.

Cada artículo ha sido analizado con dos tipos de indicadores: de producción o autoría, y de contenido. Los **indicadores de producción** son:

- Número de autores del trabajo, lo que ha permitido determinar el índice de colaboración en cada periodo de interés (año, sexenio o decenio) calculando el cociente entre el número total de firmantes y el número total de artículos seleccionados de ese periodo.
- Nivel educativo en el que desarrolla su actividad profesional cada firmante del trabajo, distinguiendo las siguientes categorías: educación infantil o primaria,

educación secundaria, universidad, otras instituciones de nivel superior y otros. En ocasiones ha sido imposible identificar la afiliación del autor, y en otros casos posiblemente hayamos cometido error pues la afiliación declarada en el artículo no coincide con la que desarrolla a tiempo completo, como es el caso del profesorado no universitario que, a veces, declara como lugar de trabajo la universidad a la que pertenece su grupo de investigación.

- Género de cada firmante del trabajo, que hemos identificado a través de su nombre, con los posibles errores que ello conlleva. Hasta el año 2003, en cada artículo sólo aparecía la inicial del nombre, lo que nos ha obligado a interpretarla bien por el conocimiento personal del firmante o mediante búsqueda en internet (google académico, directorios institucionales o la propia web de la revista); a pesar de todo, en algunos casos ha sido imposible identificar el género.
- Área geográfica en la que trabaja cada firmante del trabajo, que hemos identificado a través de la institución en la que cada autor desarrolla su actividad profesional según aparece en los datos del artículo. Una primera revisión nos ha llevado a distinguir cuatro grandes áreas: España, resto de Europa, Latinoamérica y Estados Unidos. Además, en el caso de firmantes españoles, hemos identificado la Comunidad Autónoma.

Hemos de advertir que, para datos acumulados en un periodo determinado, cada autor estará representado tantas veces como artículos de didáctica de la física haya firmado en ese periodo.

Los **indicadores de contenido** han sido:

- Contenidos de física y Contenidos didácticos. Para cada tipo de contenido ha sido necesario establecer un sistema de categorías, para lo que hemos combinado procesos deductivos e inductivos, adoptando una estrategia flexible y cambiante conforme recogíamos los datos, lo que es característico de la investigación cualitativa. En cada caso, el sistema de categorías se ha obtenido a partir del conocimiento experto, el uso de inteligencia artificial (IA) y la revisión reiterada de resultados por el equipo investigador.
- Nivel educativo en el que se centra el contenido de cada trabajo, más allá del nivel en el que se desarrolle la acción; así, por ejemplo, los trabajos sobre formación inicial de docentes de secundaria hemos considerado que se centran en el nivel de secundaria, aunque se desarrolle en la universidad. Para su identificación hemos analizado título y resumen de cada artículo, y en algunos casos el texto completo del documento.

Para estudiar la evolución temporal de cada uno de esos indicadores, hemos dividido la población en siete muestras, cada una correspondiente a un sexenio (aunque el último “sexenio” es de siete años, hemos de tener en cuenta que en

2019 no hemos identificado trabajos de didáctica de la física). Para simplificar la presentación de los resultados, hemos decidido estudiar también dos muestras adicionales formadas por artículos publicados en el primer decenio de la revista (1983-1992) y en el último decenio (2016-2025). Excepcionalmente, para comparar algún resultado con el de trabajos anteriores, hemos estudiado los resultados en el periodo correspondiente a esos trabajos.

El análisis de datos se ha hecho mediante estadística descriptiva e inferencial. Hemos determinado las proporciones en la población o en algunas muestras elegidas de cada variable estudiada, y hemos estudiado la existencia de diferencias significativas entre muestras independientes a través de pruebas no paramétricas, en concreto mediante la chi-cuadrado y la prueba de Fisher, teniendo en cuenta que se trata, en general, de variables categóricas, que los datos no se ajustan a la normalidad y que en algunos casos las proporciones obtenidas son muy bajas. Aunque hemos utilizado un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$), en ocasiones, cuando hay muchas categorías, hemos utilizado el 90 % ($p < 0,10$) para distinguir entre categorías.

De forma general, mediante tablas y/o gráficos, se presentarán los datos de la población completa o serie histórica, así como del primer y último decenio. En el análisis y discusión de esos resultados, se utilizarán resultados de otros periodos cuando sea oportuno.

RESULTADOS SOBRE INDICADORES DE PRODUCCIÓN. ANÁLISIS

Sobre la presencia de trabajos de didáctica de la física en la revista Enseñanza de las Ciencias

A lo largo de los 43 años de la revista, se han publicado en sus tres principales secciones un total de 1405 artículos de los cuales hemos identificado 302 específicos sobre didáctica de la física, lo que representa el 21,5% del total (línea morada, Figura 2.1).

En la Figura 2.1 se representan los resultados desagregados por sexenios, mostrando que la presencia relativa de trabajos de didáctica de la física aumenta progresivamente hasta el tercer sexenio (28%); en concreto, en el año 1997 se llega al máximo de la serie histórica alcanzando el 43%. Hasta

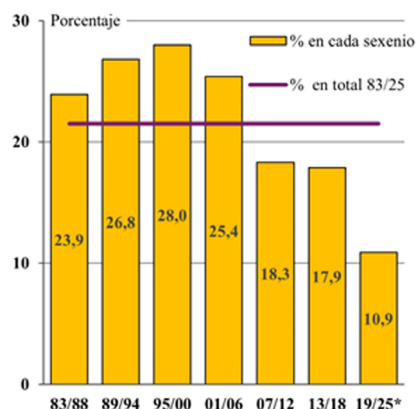


Figura 2.1. Presencia relativa de artículos de didáctica de la física en la revista Enseñanza de las Ciencias y su evolución por sexenios

ese año, la mitad de los artículos recibidos en la revista se refieren a la enseñanza de la física y la proporción de artículos de física finalmente publicados supera con mucho a otras disciplinas: química, biología, matemáticas (10% cada una) o geología (2%) (Moreira, 1994; Sanmartí y Azcárate, 1997).

A partir del cuarto sexenio, se produce un descenso progresivo de la presencia de la didáctica de la física en la revista hasta llegar al 11% en el último sexenio; en particular, en los años 2019 y 2024 se alcanzan los mínimos de la serie histórica: 0% y 3% respectivamente. Este descenso podría deberse a una decisión editorial de la revista para tender a igualar las proporciones de las distintas disciplinas (Sanmartí y Azcárate, 1997), aunque no es suficiente para explicar los mínimos alcanzados.

Sobre el número de autores por artículo

El índice de colaboración en los 302 trabajos estudiados es de 2,2 autores por artículo; el 25% tiene un solo autor, el 41% dos autores y el 25% tres autores. A lo largo de la serie histórica se ha producido un aumento en el número de autores por artículo; baste señalar que en el primer decenio el 42% de los artículos eran firmados por un solo autor y el 26% por tres o más autores, mientras en el último decenio esos porcentajes cambian al 8% y 59% respectivamente. Se produce así una tendencia a la autoría colectiva (Figura 2.2), pasando de un índice de colaboración de 1,9 en el primer decenio a 2,9 en el último.

Los datos encontrados por otros autores nos permiten comparar entre distintas disciplinas, en la misma revista y en los mismos periodos. Así, el índice de colaboración que hemos encontrado en didáctica de la física entre 2014/2018 (2,42) es ligeramente inferior al del conjunto de didáctica de las ciencias experimentales (2,75) (Aguilera *et al.*, 2021), mientras en el periodo 1983/2006 el índice que hemos encontrado en didáctica de la física (2,09) es superior al de educación matemática (1,84) (Maz *et al.*, 2009).

En cualquier caso, interpretamos este patrón de aumento del índice de colaboración como indicador de la progresiva madurez y consolidación de la didáctica de la física, aunque otros factores más perniciosos pueden estar afectando, como es la necesidad de aumentar publicaciones para el desarrollo profesional investigador.

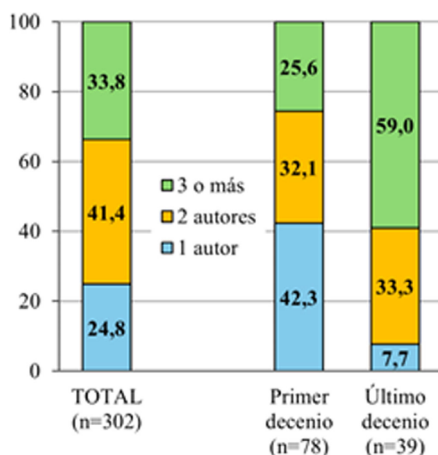


Figura 2.2. Porcentaje de artículos según número de autores en la serie histórica, en el primer decenio y en el último

Sobre el nivel educativo en el que desarrollan su trabajo los autores

En la Figura 2.3 se muestran los resultados más importantes sobre el nivel educativo en el que trabajan los autores. Si nos centramos en la serie histórica, tres de cada cuatro firmantes de trabajos de didáctica de la física desarrollan su labor en la universidad y el resto en secundaria, siendo residual (menos del 2%) el porcentaje de autores que trabajan en centros de infantil o primaria. Otro porcentaje residual corresponde a autores cuyo nivel educativo de trabajo no ha podido ser identificado.

Si comparamos entre el primer y el último decenio de la revista, observamos un fuerte desplazamiento de la autoría de secundaria hacia la universidad. La máxima proporción de autores de secundaria se alcanza en el primer sexenio: 44%, muy por encima del 22% encontrado por Moreira (1994) en el conjunto de trabajos publicados en la revista. En el segundo sexenio se produce una primera disminución brusca hasta el 27%, seguida de otra disminución brusca en el quinto (2007/2012) hasta el 8%. Este patrón de cambio se produce en sentido inverso en la proporción de autores universitarios, alcanzando un máximo del 90% en el quinto sexenio. La disminución de autores de secundaria también se produce en otras revistas más centradas en la enseñanza en ese nivel, como *Alambique*, así como en la asistencia a Congresos y Encuentros relacionados con la Enseñanza de las Ciencias (Aguilera *et al.*, 2021).

El pequeño aumento de profesorado de infantil y primaria desde el 1% en el primer decenio hasta el 6% en el último no es significativo, teniendo en cuenta las bajas frecuencias en los dos casos.

La tendencia hacia el predominio casi absoluto de autores universitarios podría interpretarse en términos de la consolidación del área de didáctica de las ciencias experimentales, traducido en un mayor número de plazas en la universidad, a tiempo parcial o completo, a las que posiblemente hayan accedido investigadores que inicialmente eran profesores de secundaria. Sin embargo, ello no explicaría la falta de producción del profesorado de secundaria que haya permanecido en ese nivel ni la del profesorado de infantil o primaria. Podríamos apuntar otras causas: las barreras institucionales entre el mundo universitario y el no universitario (Oliva, 2005), el retroceso en la promoción de la investigación didáctica entre el profesorado no universitario (por ejemplo, a mitad de los 90 se dejaron de convocar licencias para estancias de investigación entre ese profesorado), o la ampliación de

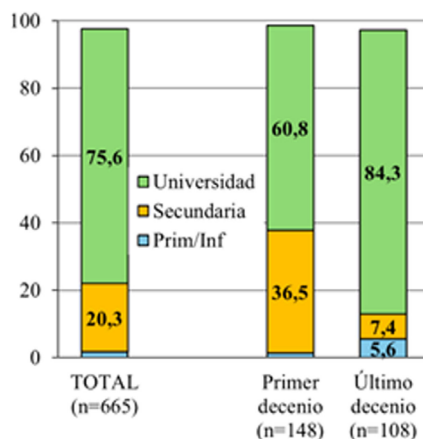


Figura 2.3. Porcentaje de autores que desarrollan su actividad profesional en cada nivel educativo en la serie histórica, en el primer decenio y en el último

las plantilla de profesorado universitario en el área que disminuye las necesidades de buscar colaboradores externos al mismo tiempo que aumenta las necesidad de publicaciones reiteradas para la promoción profesional de ese profesorado.

Sobre el género de los autores

Como puede apreciarse en la Figura 2.4, en la serie histórica el género masculino es predominante, con un porcentaje superior al 62%. Si nos fijamos sólo en el periodo de 1983 a 2006, el porcentaje de género masculino identificado es del 67%, superior al encontrado por Maz *et al.* (2008) en educación matemática en ese mismo periodo y en la misma revista.

La comparación del primer y último decenio de la revista pone de manifiesto una tendencia a la inversión del género predominante. Existen diferencias significativas en la proporción de autoras, género femenino, entre el primer decenio (31%) y en el último (57%). Con más detalle, la desproporción favorable al género masculino ha sido máxima (76%) durante el segundo sexenio (1989/1994) y favorable al género femenino (58%) en el último sexenio (2020/2025).

Podría pensarse que esta tendencia al predominio de mujeres en el último decenio es debida a un aumento de la presencia de mujeres egresadas en el Grado de Física; sin embargo, los datos no avalan esta interpretación pues el porcentaje de egresadas a nivel nacional oscila entre el 30% y el 40% entre 1999 y 2016, con una tendencia a la baja al final de ese periodo (Morcillo *et al.*, 2019). Es necesario obtener más datos sobre esa inversión en el género que, en su caso, nos permitan interpretarla.

Sobre el área geográfica de los autores

Los resultados se muestran en la Figura 2.5. En la serie histórica se aprecia el predominio de autores que trabajan en España (64%), seguido de Latinoamérica (28%), principalmente de Brasil, Argentina y Colombia, y resto de Europa (7%), la mayoría de Francia o Portugal. Los autores que trabajan en EE. UU. son solo siete (1%), que aparece en cuatro artículos publicados entre 1987 y 2002. Estos datos ponen de manifiesto que la producción en didáctica de la física en la revista

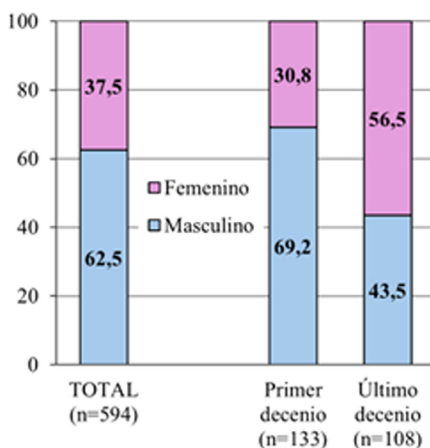


Figura 2.4. Porcentaje de autores de cada género en la serie histórica, en el primer decenio y en el último

políticas educativas autonómicas o con el declive o auge de grupos de investigación locales, como es el caso del departamento de Física Aplicada I de la UPV; pero, en general, se necesitan más datos para hacer conjeturas más sólidas.

RESULTADOS SOBRE INDICADORES DE CONTENIDO

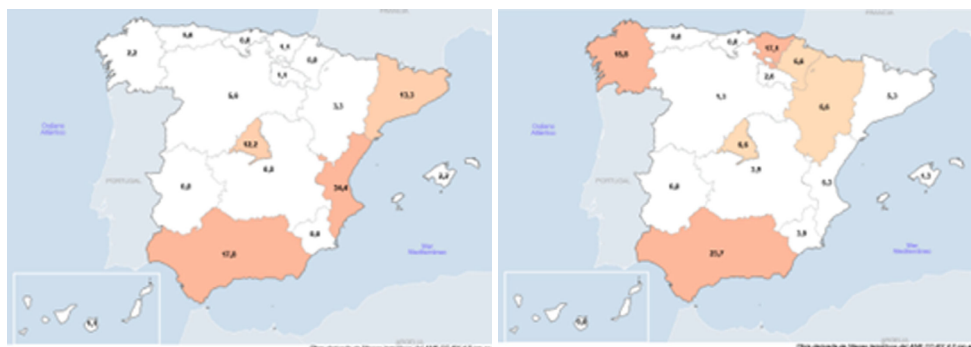


Figura 2.7. Porcentaje de autores cuyo lugar de trabajo se encuentra en cada Comunidad Autónoma, a la izquierda en el primer decenio y a la derecha en el último.

Sobre el contenido de física

Hemos elaborado un listado inicial de temas o contenidos de física acorde con los temas del currículo, y después hemos utilizado inteligencia artificial para que identifique cuál o cuáles de esos temas están presentes en cada artículo, a partir del título y resumen. El resultado ofrecido por la inteligencia artificial ha sido revisado por el equipo investigador, artículo por artículo, en muchos casos revisando el texto completo; en este proceso ha sido necesario ampliar hasta alcanzar un listado de 20 temas de física. Con este análisis, el 58% de los artículos han sido caracterizados por un solo tema y el 17% por dos de ellos, mientras el 21% no se ha caracterizado por ningún tema ya sea porque el contenido de física concreto ocupa un lugar muy secundario en el artículo o porque se abordan muchos temas de manera dispersa.

El listado de 20 temas de física se muestra en la Tabla 2.1, ordenados de mayor a menor porcentaje de artículos que se refieren a cada tema en la serie histórica. Se han resaltado en color los temas que mayor atención han recibido en esa serie: Dinámica, Energía, Cinemática y Electricidad, que en conjunto abarcan la mitad de los artículos estudiados.

Tabla 2.1. Listado de 20 temas de física y porcentaje de artículos referidos a cada uno.

TEMA DE FÍSICA	Total (n=302)	Primer decenio (n=78)	Último decenio (n=39)	p Fisher
Ninguno	21,2	23,1	7,7	0,044
Dinámica y estática	16,2	21,8	2,6	0,006
Energía	11,9	7,7	15,4	---
Cinemática	10,6	10,3	15,4	---
Electricidad, circuitos y electrónica	9,9	7,7	7,7	---
Calor y termodinámica	7,6	11,5	5,1	---
Astronomía	6,3	6,4	2,6	---
Propiedades de la materia	5,0	7,7	7,7	---
Magnetismo	5,0	2,6	15,4	---
Óptica y luz	4,3	6,4	5,1	---
Hidrostatica	4,3	6,4	10,3	---
Campos (sin referencia específica)	3,6	1,3	0,0	---
Naturaleza corpuscular de la materia	3,3	1,3	5,1	---
Relatividad	3,0	0,0	2,6	---
Vibraciones y ondas	2,6	2,6	5,1	---
Sonido	2,3	0,0	7,7	0,035
Física nuclear	2,3	1,3	5,1	---
Física cuántica	2,0	1,3	2,6	---
Sostenibilidad	2,0	0,0	2,6	---
Medida y constantes físicas	1,3	0,0	2,6	---
Física de partículas	0,3	0,0	0,0	---

La comparación entre el primer y último decenio de la revista pone de manifiesto que la proporción de artículos que no tratan específicamente ningún tema de física disminuye significativamente. Esta tendencia, a falta de más datos, podría ser un síntoma de un vínculo más estrecho entre investigación en didáctica de la física y problemas de enseñanza en el aula.

Esa comparación entre el primer y último decenio muestra también dos cambios significativos. Por un lado, un drástico descenso en la proporción de trabajos sobre Dinámica que pasa de ser el tema más estudiado a ser casi residual, un descenso que empieza a producirse de forma paulatina desde la mitad de la serie histórica; una posible interpretación es que a lo largo de los años se haya alcanzado una saturación de aportaciones relacionadas con este tema, pues su importancia en el currículo y las dificultades en su enseñanza se mantienen. Por otro lado, se produce un aumento de la proporción de trabajos sobre Sonido, aunque el análisis de los datos por sexenio muestra que no obedece a una tendencia: de los siete artículos

relacionados con el Sonido, cuatro pertenecen a la primera mitad de la serie histórica y tres a la segunda mitad.

Cada uno de esos veinte temas de física representa partes desiguales del contenido del currículo. Para corregir este desequilibrio y poder representar y valorar mejor los resultados, hemos procedido a agrupar temas con dos criterios: proximidad conceptual y repetición en los mismos artículos. Como resultado, hemos obtenido ocho categorías que nos han obligado a revisar de nuevo cada artículo para evitar duplicidades. Los resultados, ordenados de mayor a menor porcentaje de artículos que se refieren a cada categoría temática en la serie histórica, se muestran en la Tabla 2.2 y se representan en la Figura 2.8.

Tabla 2.2. Listado de 8 categorías temáticas de física y porcentaje de artículos referidos a cada una.

CATEGORÍA TEMÁTICA	Total (n=302)	Primer decenio (n=78)	Último decenio (n=39)	p Fisher
Cinemática, dinámica e hidrodinámica	25,8	32,1	28,2	---
Energía, calor, termodinámica y sostenibilidad	16,9	16,7	17,9	---
Electromagnetismo y circuitos	16,2	11,5	12,8	---
Materia	8,3	9,0	20,5	0,088
Física moderna	7,3	2,6	10,3	0,094
Ondas, luz y sonido	7,3	7,7	10,3	---
Astronomía	6,3	6,4	2,6	---
Medida y constantes	1,3	0,0	2,6	---

Las tres primeras categorías de la serie histórica, resaltadas en la Tabla 2.2, abarcan casi el 60% de los artículos y se mantienen de forma estable al comparar decenios y también, con más detalle, los sexenios; en la primera categoría, el descenso drástico en Dinámica se ve compensado por el aumento de Cinemática y, en menor medida, de Hidrostática.

La comparativa entre decenios muestra sólo cambios significativos ($p < 0,1$), con una tendencia al alza, en las categorías de materia y física moderna.

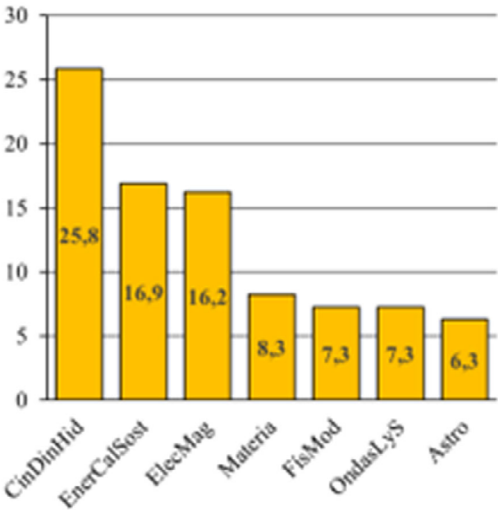


Figura 2.8. Porcentaje de artículos sobre cada categoría temática

Sobre el contenido didáctico

Para obtener el sistema de categorías hemos seguido una combinación de procesos deductivos e inductivos que resumimos en estos cuatro pasos:

1. Hemos adelantado un sistema de categorías previo de acuerdo con nuestro conocimiento del área de didáctica de las ciencias experimentales. Por otra parte, la inteligencia artificial nos ha proporcionado su propio sistema de categorías a partir del título y resumen de cada uno de los 302 artículos. Con esos dos resultados, hemos elaborado un sistema inicial de 20 categorías.
2. A continuación, hemos utilizado la inteligencia artificial para que identifique qué categorías de ese sistema inicial están presentes en cada artículo; el equipo investigador hemos revisado después el resultado artículo por artículo. Este segundo paso nos ha llevado a añadir tres nuevas categorías.
3. Hemos repetido el paso 2 con el nuevo sistema de 23 categorías. Como resultado, más del 98% de los artículos han podido ser categorizados: el 39% con una sola categoría, el 43% con dos categorías.
4. De acuerdo con nuestros objetivos (caracterizar la producción y evolución identificando líneas en declive y emergentes), hemos considerado irrelevantes aquellas categorías que no alcanzan el 6% ni en la serie histórica ni en las del primer y último decenio: indagación, argumentación, analogías, mapas conceptuales, TIC y media, inteligencia artificial, competencias y habilidades, actitudes, currículo y emociones. De esta forma, hemos concluido en un sistema final de 13 categorías (Tabla 2.3).

En la Tabla 2.3 se resaltan las categorías de conocimiento didáctico con mayor tratamiento en la serie histórica, y se representan en la Figura 2.9.

Tabla 2.3. Listado de 13 categorías de conocimiento didáctico y porcentaje de artículos referidos a cada una de ellas.

CATEGORÍA	Total (n=302)	Primer decenio (n=78)	Último decenio (n=39)	p Fisher
Concepciones alternativas y dificultades	30,5	35,9	30,8	---
Propuestas de enseñanza	27,8	14,1	41,0	0,002
Pensamiento y formación de docentes	16,6	5,1	20,5	0,020
Historia y epistemología	12,6	14,1	5,1	---
Libros de texto	11,3	9,0	10,3	---
Laboratorios y actividades experimentales	9,6	9,0	12,8	---
Modelos y modelización	9,3	7,7	20,5	0,07
Resolución de problemas	6,6	6,4	2,6	---

CATEGORÍA	Total (n=302)	Primer decenio (n=78)	Último decenio (n=39)	p Fisher
Lenguaje y comunicación	6,6	6,4	5,1	---
Clarificación conceptual	6,6	12,8	0,0	0,030
Desarrollo cognitivo	3,6	10,3	0,0	0,051
Evaluación de estudiantes	3,3	7,7	0,0	---
Investigación de diseño	1,3	0,0	7,7	0,035

La categoría con mayor porcentaje de artículos en la serie histórica es el estudio de concepciones alternativas. Esta línea de investigación fue la protagonista de la didáctica de las ciencias a nivel internacional en la década de los 80, con un crecimiento exponencial, ocupando la disciplina de física más de la mitad de su producción (Furió y Guisasola, 1999; Gil, 1994; Moreira, 1994). Viennot explica el éxito de esta línea no sólo por la importancia de la descripción del “estado inicial” de los alumnos, sino por una razón más pragmática: esas investigaciones dan lugar a resultados claros y convincentes, algo necesario para convencer de la efectividad de la investigación didáctica. Las aportaciones de esta línea resultaron muy valiosas, entre otras cuestionar con evidencias la enseñanza habitual y generar nuevos modelos de enseñanza/aprendizaje, y abrieron nuevas perspectivas, entre otras la superación del reduccionismo conceptual y el incremento de los trabajos de innovación dirigidos a la elaboración de secuencias de actividades para orientar la construcción de conocimientos (Gil, 1994). Si esas nuevas perspectivas, la línea sobre concepciones alternativas habría alcanzado un punto de estancamiento (López Calafí, Salvador y De la Guardia, 1998).

Precisamente la segunda categoría en importancia de conocimiento didáctico se refiere a propuestas de enseñanza, que junto a la de concepciones alternativas caracterizan casi al 60% de los trabajos. Los artículos de propuestas de enseñanza incorporan propuestas fundamentadas, muchas veces evaluadas, identificadas con enfoques genéricos como el constructivismo, y otras veces más precisos: cambio conceptual, investigación orientada o modelización. La presencia de estas propuestas innovadoras pone de manifiesto la diferencia entre las revistas nacionales e internacionales de didáctica de las ciencias experimentales (Aguilera *et al.*, 2021).

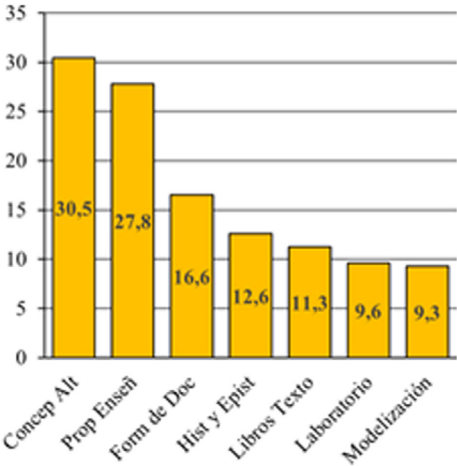


Figura 2.9. Porcentaje de artículos de la serie histórica que abordan cada conocimiento didáctico

La comparación entre el primer y último decenio de la revista nos permite reconocer tendencias en los trabajos analizados, identificando líneas de investigación emergentes y líneas en declive:

- El resultado más llamativo es el fuerte aumento de investigaciones que incorporan propuestas de enseñanza fundamentadas, un aumento continuado a lo largo de los sexenios. Si a ello añadimos el auge de la investigación basada en el diseño, entre ambas líneas caracterizan a casi la mitad de los trabajos del último decenio. Interpretamos estos resultados como una muestra de la orientación cada vez más vinculada a la enseñanza en el aula de la investigación en didáctica de la física. Esta orientación es reforzada por la desaparición en los últimos 20 años de trabajos centrados en el desarrollo cognitivo, de corte más psicológico, una línea que alcanzó su esplendor en los dos primeros sexenios, un resultado ya señalado en el estudio bibliométrico de López Calafí *et al.* (1998).
- Otro resultado llamativo es el aumento significativo de trabajos sobre formación de docentes, en especial en el cuarto sexenio y en el último, llegando a superar el 30%. Este cambio refleja una de las líneas avanzadas por Gil (1994) para incorporar los avances de la didáctica a la formación de docentes, pero también una mirada investigadora por parte de los profesores universitarios hacia la propia docencia y no sólo la docencia de otros.
- Se produce también un cambio significativo ($p < 0,10$) en los trabajos sobre modelos y modelización; un análisis más detallado muestra que ese cambio no es gradual, sino que se produce sólo en los dos últimos sexenios. Este auge es simultáneo con el declive de lo que hemos llamado clarificación conceptual, lo que interpretamos como un cambio de perspectiva desde el interés centrado en conceptos y leyes científicas hacia el interés centrado en los modelos, entendidos como mediadores entre la teoría y el mundo real de los fenómenos. Este cambio enfatiza la funcionalidad del aprendizaje (para explicar y predecir) y su progresión a partir de modelos iniciales (ceranos a las concepciones alternativas), a través de las prácticas propias de la ciencia (Oliva, 2019; Soto y Couso, 2023).

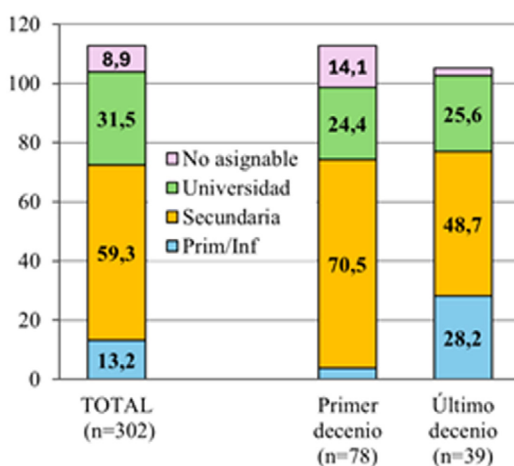


Figura 2.10. Porcentaje de artículos referidos a cada nivel educativo en la serie histórica, en el primer decenio y en el último.

Sobre el nivel educativo

Los resultados sobre el nivel educativo en el que se centran los trabajos seleccionados se muestran en la Figura 2.10. Como puede advertirse, la suma de porcentajes en cada serie es mayor que 100 ya que algunos trabajos (13% del total) pueden tratar más de un nivel. Esos resultados muestran la escasa presencia de trabajos relacionados con cursos de estudios científicos universitarios y, en mayor medida, con la escuela primaria o infantil, una carencia ya señalada en anteriores trabajos para el área completa de didáctica de las ciencias experimentales y en distintos periodos (Aguilera *et al.*, 2021; Sanmartí y Azcárate, 1997).

Con gran diferencia, el nivel educativo en el que se centran los trabajos es la secundaria. A pesar del descenso significativo entre el primer y último decenio, que se observa igualmente en todos los sexenios, lo cierto es que, salvo en el último sexenio, la proporción de trabajos centrados en la secundaria supera siempre el 50%. Podría pensarse que esta mayor atención se debe a la existencia de mayores problemas y dificultades; sin embargo, no creemos que los resultados obtenidos en otros niveles sean más alentadores. Más bien, pensamos, tiene que ver con el origen de los investigadores: con estudios universitarios de física pero que apenas cuestionan la enseñanza en la universidad y no estén muy convencidos de que en primaria o infantil puede enseñarse física; en estas condiciones, el nivel de secundaria es en el que se sienten más cómodos para investigar.

La proporción de trabajos centrados en la enseñanza de la física en la universidad se mantiene constante, oscilando entre el 20% (primer sexenio) y el 37% (quinto sexenio). Aunque puede resultar un porcentaje aceptable, no debemos olvidar que la enseñanza de la física ocupa un lugar preponderante en los Grados de ciencias e ingeniería, de manera que esos resultados sólo muestran la escasa atención que merece la línea de *Physics Education Research* en los departamentos de física de la universidad española, salvo excepciones muy valiosas.

Por su parte, la proporción de trabajos centrados en primaria e infantil es muy baja, una característica de la producción investigadora del área de didáctica de las ciencias experimentales en las principales revistas nacionales, un desequilibrio que, aunque existe en revistas internacionales, no resulta tan acusado (Aguilera *et al.*, 2021). Creemos que los resultados obtenidos son un reflejo de las escasas expectativas sobre el aprendizaje de la física en edades tempranas. Sin embargo, si comparamos el primer y último decenio de la revista, se aprecia un fuerte aumento significativo en los trabajos sobre infantil y primaria, especialmente en el último sexenio donde la proporción de infantil y primaria tiende a igualarse con la secundaria. Aunque el tamaño de la muestra del último sexenio es reducido ($n=23$), es un resultado que, de confirmarse, podría corregir el abandono histórico de esos primeros niveles educativos por parte de la didáctica de la física. En el caso particular de la educación infantil, el primer trabajo sobre didáctica de la física aparece en 2006, pero tiene como centro también la primaria y secundaria;

es preciso esperar a 2017 para encontrar un trabajo centrado exclusivamente en infantil.

Por último, cabe mencionar la disminución significativa de trabajos no asignables, que no se centran en un nivel específico, inferiores al 3% en el último decenio. Sin embargo, los datos obtenidos en los distintos sexenios muestran que no se trata de una tendencia pues la proporción de no asignables evoluciona en diente de sierra.

CONCLUSIONES

Hemos analizado las aportaciones de didáctica de la física, en total 302 artículos, publicados en la revista *Enseñanza de las Ciencias* desde su primer número, en 1983, hasta la actualidad. El análisis se ha centrado en indicadores de autoría y de contenido. Hemos recogido los datos correspondientes a todo el periodo para tener una visión general, así como desglosados en diferentes intervalos de tiempo para reconocer la evolución e identificar tendencias. Estas ha sido las principales conclusiones:

- La proporción de trabajos de didáctica de la física en la revista *Enseñanza de las Ciencias* en el total de números es del 22%. La proporción aumenta en los quince primeros años hasta el 44% y, a partir de ahí, desciende hasta el 11% del último sexenio. En este descenso ha podido influir la política editorial para corregir el gran desequilibrio de la disciplina de física respecto a las restantes, pero dados los valores alcanzados, no puede ser la única causa.
- El índice de colaboración en el total de trabajos analizados es de 2,2 autores por artículo. Ese índice ha crecido paulatinamente desde 1,8 en el primer sexenio hasta 3,0 en el último. Esta tendencia al trabajo colectivo puede interpretarse como un reflejo de la progresiva madurez de la especialidad, o como un reflejo de la obsesión por publicar.
- En el total de artículos analizados, tres de cada cuatro firmantes son profesores universitarios, y el resto de secundaria. En torno a 2007 se produce un descenso brusco del porcentaje de firmantes de secundaria a valores inferiores al 10%, mientras los firmantes de universidad ascienden a valores alrededor del 85%. El porcentaje de firmantes que trabajan en primaria o infantil asciende en el último sexenio hasta el 6%, aunque siempre ocupa un lugar residual. Esta tendencia al predominio de profesorado universitario refleja la consolidación del área en la universidad, pero también las barreras institucionales y un cambio en la identidad del profesorado de secundaria.
- En el conjunto de los 302 artículos, dos de cada tres firmantes son varones. Sin embargo, la evolución temporal de esa proporción muestra una tendencia de progreso en la proporción de firmantes mujeres, hasta alcanzar el 58% en

el último sexenio. Esa tendencia no coincide con la del porcentaje de mujeres egresadas en Físicas; en el momento actual, no disponemos de una explicación basada en evidencias.

- El 70% de los firmantes proceden de España y el resto de Latinoamérica, una proporción que se ha estabilizado a costa de la desaparición casi total de firmantes del resto de Europa y de EE. UU. Respecto a los firmantes españoles, la mayoría trabajan en Comunidad Valenciana, Andalucía y País Vasco, por ese orden. La evolución de esta distribución geográfica pone de manifiesto el fuerte descenso de la Comunidad Valenciana y ascenso de País Vasco y Galicia, además del mantenimiento de la aportación de Andalucía. Estos cambios pueden estar relacionados con políticas educativas o el auge de grupos de investigación locales, como es el caso del departamento de Física Aplicada I de la UPV, pero en general se necesitan más datos para hacer conjeturas más sólidas.
- El 60% del total de artículos analizados se refieren a una de estas tres grandes categorías temáticas de física: dinámica y cinemática, energía y calor, electromagnetismo y circuitos, en una proporción aproximada de 30% - 15% - 15% respectivamente, que se mantiene de forma estable a lo largo del tiempo. La dinámica experimenta un fuerte descenso, que es compensado por trabajos de cinemática o hidrostática. Aparecen como categorías emergentes en el último decenio: materia (propiedades, naturaleza) y, en menor medida, física moderna.
- Por otra parte, el 60% del total de artículos se refiere a una de estas dos categorías de contenido didáctico: concepciones alternativas y propuestas de enseñanza. En los últimos años, esta segunda categoría ha experimentado un fuerte ascenso, y junto a la investigación de diseño, es abordada por la mitad de los trabajos de didáctica de la física, constituyendo en una línea de investigación al alza. Otras categorías que han experimentado un fuerte ascenso son formación de docentes y modelización, en detrimento de trabajos más relacionados con la psicología cognitiva.
- Más de la mitad de los trabajos analizados se centran en el nivel de secundaria, sea cual sea el periodo elegido, aunque el porcentaje se va reduciendo desde el 70% inicial al 50% actual. Los trabajos centrados en los Grados de ciencias en la universidad aumentan suavemente del 20% al 37%, y los que se centran en primaria o infantil son minoría, aunque en el último sexenio se aprecia un notable ascenso.

Estas conclusiones nos han permitido caracterizar la producción científica en didáctica de la física y su evolución, siempre a través de la revista *Enseñanza de las Ciencias*. Esta caracterización debería ser ampliada incorporando otras revistas, congresos, proyectos... que permitan confirmar algunos resultados y formular hipótesis explicativas más sólidas.

Agradecimientos: PID2023-150682NA-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER y su ayuda predoctoral PRE2024-012. PID2024-160066NB-C21 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER. DGP_PIDI_2024_02689 financiado por la Junta de Andalucía. Beca predoctoral PPIT-UAL, Junta de Andalucía-FEDER 2021-2027, programa 54.A. Beca postdoctoral transformada de: PRE2021-097331.

Capítulo 3. Didáctica de la Química

Alicia Benarroch Benarroch¹ y M.^a Mercedes Martínez Aznar²

¹ Universidad de Granada. ² Universidad Complutense de Madrid

Contacto: aliciabb@ugr.es; mtzaznar@ucm.es

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se destacan, tras la caracterización de la Didáctica de la Química y su desarrollo histórico, aquellos hitos que, a nuestro juicio, han sido fundamentales para la evolución de la disciplina. En la Figura 3.1 se muestran los seleccionados siguiendo la estructura de los elementos del sistema didáctico.

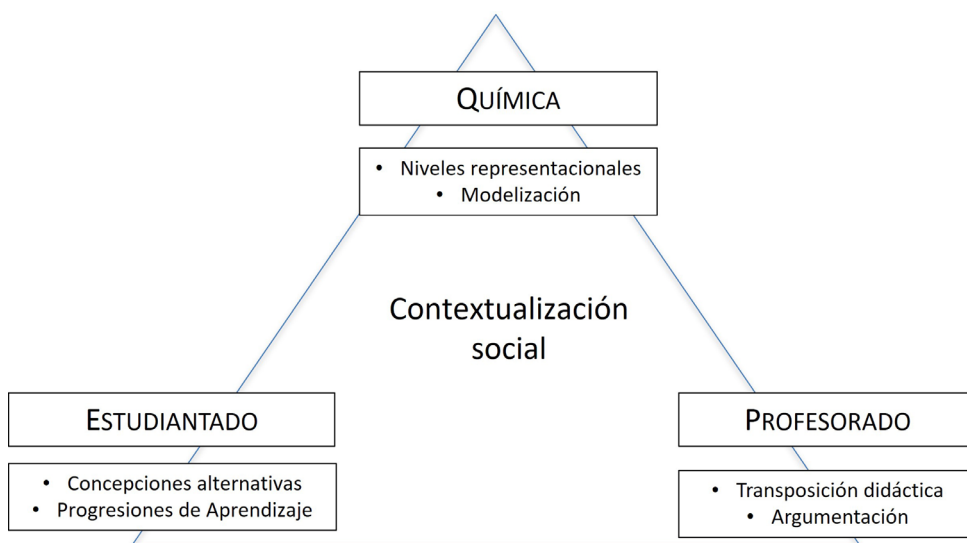


Figura 3.1. Principales hitos en el desarrollo reciente de la Didáctica de la Química

DE LA QUÍMICA A LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA

La Química, como ciencia central (Brown *et al.*, 2018), busca comprender la estructura, composición y transformación de la materia, así como sus interacciones con la energía. Su objeto de estudio abarca desde las partículas subatómicas hasta

los sistemas biológicos y tecnológicos más complejos. A través de la experimentación y la modelización, la Química explica cómo y por qué ocurren los cambios en la materia, proporcionando un marco para entender los procesos naturales y diseñar nuevas sustancias y materiales que transforman la vida cotidiana.

La Química comparte con la Física el estudio de la materia y la energía, pero lo hacen desde perspectivas y niveles de análisis distintos. En la Física, es común abstraerse del tipo específico de materia para concentrarse en las propiedades comunes de muchos materiales diferentes. Le interesa comprender las leyes fundamentales que explican cómo se comportan la materia y energía. La Química, en cambio, se enfoca en cómo la estructura, composición y transformación de las sustancias determinan el comportamiento de la materia y sus cambios energéticos.

Sus orígenes también son diferentes. La Física posee un origen teórico y matemático: desde la Antigüedad, los filósofos naturales intentaron comprender el orden del cosmos a través del razonamiento lógico y la formulación de leyes generales. Su desarrollo moderno, con Galileo, Newton o Maxwell, consolidó una ciencia basada en la modelización matemática de los fenómenos y en la búsqueda de principios universales. La Química, por el contrario, tiene un origen empírico y experimental. Su raíz se encuentra en la alquimia, una práctica que combinaba observación, manipulación de sustancias y una visión filosófico-espiritual de la materia. Con el tiempo, el pensamiento alquímico dio paso a una Química científica que mantuvo su vocación práctica y experimental, centrada en la transformación de materiales y en la obtención de nuevas sustancias. Además, tuvo que incorporar las prácticas artesanales de tintoreros, curtidores, perfumistas, etc. Por eso puede decirse que, mientras la Física nació de la abstracción teórica, la Química emergió del taller y del laboratorio. Ambas convergen hoy en una ciencia integrada y rigurosa, pero conservan esa diferencia de espíritu que las hace complementarias: la Física explica los principios, la Química los materializa.

En la actualidad, ambas ciencias utilizan la metodología científica —concebida en un sentido amplio de interrelación entre teoría y experimentación— para crecer y satisfacer las necesidades humanas, tanto prácticas como teóricas. Sus avances son tan rápidos que algunos de ellos parecerían de ciencia ficción tan solo hace unos años (patatas en la luna, turismo espacial, agua en Marte, el grafeno...).

La Química es una de las ciencias con mayor transversalidad profesional: alimenta y se nutre de numerosos sectores económicos, industriales, artísticos y sociales. La Tabla 3.1 recoge un listado organizado por ámbitos en los que la Química tiene presencia e impacto. Se concluye que la Química no solo es una ciencia de laboratorio: es una ciencia de la vida cotidiana. Está presente en todo lo que usamos, vestimos, comemos, respiramos y tocamos. Desde el desarrollo de un nuevo medicamento hasta el color de una prenda o la eficiencia de un panel solar, la Química une el conocimiento científico con la innovación social, industrial y cultural.

Tabla 3.1. Ámbitos en los que la Química tiene fuerte presencia e impacto.

Ciencia e investigación
• Investigación básica y aplicada (química orgánica, inorgánica, física, analítica, ambiental, teórica, computacional, etc.) • Bioquímica y biotecnología • Farmacología y diseño de medicamentos • Nanotecnología y ciencia de materiales • Química forense y criminalística • Astrobiología y Química del espacio
Industria y tecnología
• Industria petroquímica y de polímeros • Industria alimentaria (aditivos, conservación, análisis de calidad, envasado) • Industria cosmética y del cuidado personal • Industria textil y de la moda (colorantes, fibras sintéticas, tratamientos de tejidos) • Industria del automóvil (combustibles, pinturas, plásticos, baterías, materiales ligeros) • Electrónica y semiconductores (materiales conductores, aislantes, baterías, pantallas, sensores) • Energías renovables (biocombustibles, hidrógeno, almacenamiento energético)
Salud y medio ambiente
• Medicina y diagnóstico clínico (análisis bioquímicos, contrastes, terapias) • Ingeniería ambiental (tratamiento de aguas, control de contaminación, reciclaje) • Agricultura y alimentación sostenible (fertilizantes, fitosanitarios, biofertilizantes) • Toxicología y seguridad química
Arte, cultura y patrimonio
• Conservación y restauración de obras de arte • Fabricación de pigmentos, tintes y materiales artísticos • Análisis de materiales patrimoniales y técnicas antiguas • Perfumología y Química sensorial
Vida cotidiana y consumo
• Productos de limpieza y desinfección • Materiales de construcción y recubrimientos • Envases, plásticos biodegradables y nuevos materiales domésticos • Alimentación funcional (nutrición, sabor, aromas)

Cooper y Stowe (2018) enfatizan las diferencias entre la Química y la Didáctica de la Química de la siguiente manera: la Didáctica de la Química se centra en cómo los estudiantes aprenden sobre el comportamiento de los átomos y las moléculas, en lugar de estudiar directamente los átomos y las moléculas en sí, como lo hace la Química. Y ello implica que las teorías que guían la investigación, las metodologías experimentales y los instrumentos de recolección de datos son muy diferentes a los utilizados en la investigación química tradicional.

BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA

La enseñanza de la Química ha experimentado una transformación significativa a lo largo de los siglos, adaptándose a los avances científicos, las corrientes pedagó-

gicas y las necesidades sociales de cada época. Este recorrido histórico revela cómo la Didáctica de la Química ha pasado de enfoques dogmáticos y memorísticos a metodologías activas y contextualizadas, con el objetivo de fomentar una comprensión profunda y crítica de los fenómenos naturales (Caamaño, 2003; Ramos Mejía, 2024).

Etapas adisciplinar: finales del XIX-1950. Consolidación de su enseñanza

En siglos anteriores, la alquimia concentraba los saberes ancestrales procedentes de observaciones y experiencias aisladas, desarrolladas en los *laboratorium* y transmitidas a través de los gremios de oficios. Con la revolución científica y, especialmente, gracias a los aportes de Lavoisier, la Química se consolidó en el siglo XIX como una ciencia moderna. Las leyes fundamentales —como la de conservación de la masa— comenzaron entonces a incorporarse en los procesos educativos. Este período marcó el inicio de la transición desde una enseñanza meramente descriptiva hacia otra de carácter más conceptual, orientada a la explicación racional de los fenómenos naturales.

En este período —coincidente con la expansión de la educación y el auge de la industrialización— se generalizó la enseñanza de nociones científicas básicas en las escuelas, especialmente en torno a la observación de la naturaleza y fenómenos cotidianos. Aunque la enseñanza seguía siendo memorística y expositiva, la Química empezaba a adquirir presencia en el currículo escolar y a estructurarse como saber escolar propio (Balseca-Pico *et al.*, 2024; Sanmartí, 2002). En España, esta enseñanza llegaría algo más tarde, a principios del siglo XX.

A nivel internacional, aparecieron revistas específicas del área, como *Journal of Chemical Education* (1924), que se sumó a *Science Education* (1916), centrada en las ciencias en general.

Etapas predisciplinar o tecnológica: 1950-1980. El giro experimental

El lanzamiento del satélite Sputnik en 1957 impulsó una ola de reformas educativas en los Estados Unidos y el Reino Unido, orientadas a fortalecer la enseñanza de las ciencias. Desde la perspectiva didáctica, influenciados por las teorías pedagógicas de John Dewey y Jerome Bruner, se promovieron metodologías más activas y experimentales, basadas en el aprendizaje por descubrimiento (Ramos Mejía, 2024). Los laboratorios se convirtieron en espacios fundamentales para el aprendizaje, y la experimentación pasó a ser una herramienta clave para la construcción del conocimiento. Este giro supuso el paso de la enseñanza transmisiva hacia un enfoque por descubrimiento guiado, caracterizado por una mayor valoración del trabajo experimental y de los procesos científicos (observar, clasificar, medir, predecir, entre otros).

A pesar de ello, persistía una fuerte dicotomía entre procesos y conceptos, y la psicología del desarrollo piagetiana mantenía gran influencia en la Didáctica de las Ciencias.

En España, durante los años 70, comienzan los primeros grupos de investigación interesados en los problemas específicos del aprendizaje científico (Gil *et al.*, 2000), mientras se consolidan revistas internacionales, tanto específicas de la Didáctica de la Química, como *Education in Chemistry* (1964) como generales de Didáctica de las Ciencias, tales como *Journal of Research in Science Teaching* (1964), *Research in Science Education* (1971), *International Journal of Science Education* (1979) y *Studies in Science Education* (1974).

Este contexto dio lugar a una serie de proyectos emblemáticos que marcaron un antes y un después en la Didáctica de la Química. Entre otros, los proyectos estadounidenses *Chemical Bond Approach* (CBA), traducido con el título Sistemas Químicos (1966) y *Chemistry-An experimental Science* (CHEM), traducido como Química: una ciencia experimental (1972) y los ingleses de la fundación Nuffield: Curso Modelo de Química (1969-1973) para la educación secundaria y Química Avanzada Nuffield (1974-76) para el bachillerato (Caamaño, 2003; Sanmartí, 2002).

Etapas de disciplina emergente: 1980–1990. Nacimiento de la Didáctica de la Química como campo científico

Durante los años 80, la Didáctica de las Ciencias Experimentales—y dentro de ella, la de la Química— se configura como disciplina autónoma. La nueva epistemología de la ciencia (Kuhn, Lakatos, Toulmin, Feyerabend) cuestiona el positivismo anterior y favorece la aparición del movimiento de las concepciones alternativas y del Cambio Conceptual (Posner *et al.*, 1982), centrados en las ideas previas del alumnado. Se empieza a investigar cómo los estudiantes construyen su comprensión de conceptos químicos como la materia, los cambios físicos y químicos, el enlace químico, entre otros, reconociendo la necesidad de modelos explicativos y del trabajo con representaciones simbólicas.

En España, se fundan los *Encuentros de Didáctica de la Física y la Química* (desde 1980) y la revista *Enseñanza de las Ciencias* (1983), que consolidan una comunidad investigadora propia.

Etapas de consolidación disciplinar: 1990–2020. Institucionalización y expansión de líneas de investigación

A partir de los años 90, la Didáctica de la Química alcanza su madurez científica. Se consolidan líneas de investigación importantes, entre ellas, las que se mencionan en este capítulo. El marco constructivista se convierte en eje integrador (Porlán, 1993), y se promueve la alfabetización científica y la enseñanza de la Química con

sentido ciudadano y sostenible.

La Didáctica de la Química ve surgir otras revistas específicas, como *Chemistry Education Research and Practice* (2000), e incluso alguna en lengua española, como *Educación Química* (1989).

En España, la LOGSE (1990) impulsa un cambio de paradigma: enseñar ciencias para la comprensión del mundo y la toma de decisiones, no solo para formar futuros científicos. Surge *Alambique* (1994) que, aunque no es específica de la Didáctica de la Química, dedica varios números a ella. Además, *ÁPICE* (1998), la Asociación de Profesores e Investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales, se consolida como un espacio de referencia para la difusión de investigaciones, innovaciones y experiencias docentes en la enseñanza de las ciencias, incluyendo la Química, que canaliza a través de los Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Escuelas de Doctorado.

Así, la Didáctica de la Química, desde sus orígenes empíricos y memorísticos hasta su configuración actual como disciplina científica consolidada, refleja la evolución de la enseñanza de las ciencias hacia una educación más reflexiva, interdisciplinaria y comprometida con la sociedad.

La Tabla 3.2 muestra algunas de las características más destacadas de esta breve reseña histórica.

Tabla 3.2. Síntesis genealógica de la Didáctica de la Química.

Adisciplinar	Predisciplinar	Disciplinar	
		Disciplina emergente	Disciplina consolidada
1850-1950	1950-1980	1980-1990	1990-actualidad
- Comienzo de la enseñanza de las ciencias en primaria - Objetivo: Fomentar el amor por la naturaleza y la curiosidad por los fenómenos cotidianos - Inicio de la transición de un enfoque descriptivo a otro más conceptual	- Fuerte base psicológica - Aprendizaje por descubrimiento - Dicotomía conceptos-procesos - Impulso de proyectos: - CBA - CHEM - Nuffield (1967)	- Fuerte base epistemológica - Surge el Movimiento de las Concepciones Alternativas - Críticas a la enseñanza basada en procesos - Críticas a la teoría piagetiana - Encuentros de DCE - Congresos Internacionales de Investigación en DCE - Revista Enseñanza de las Ciencias (1983) - Departamentos de DCE	- El constructivismo como eje integrador - Atención a la alfabetización científica - Revista <i>Alambique</i> (1994) - Revista <i>Eureka</i> (2004) - ÁPICE (1998) - Programas de doctorado - Tesis doctorales

*DCE: Didáctica de las Ciencias Experimentales.

LOS NIVELES REPRESENTACIONALES DE LA QUÍMICA

A principios de la década de 1980, Alex H. Johnstone (1982) se preguntó si las dificultades de comprensión de la Química podrían estar relacionadas con su propia naturaleza. En su propuesta, desarrollada posteriormente (1991, 2000) se plantea que, para comprender verdaderamente los fenómenos químicos, el pensamiento debe moverse entre tres niveles complementarios: macroscópico, microscópico/submicroscópico y simbólico (Tabla 3.3). En la Figura 3.2 se muestran los tres niveles aplicados a la combustión del metano.

Este modelo, conocido como «tripleto químico», ha sido ampliamente adoptado en la enseñanza de la Química, pero con reconceptualizaciones diversas que, en ocasiones, generan confusión y malentendidos, lo que dificulta el análisis de la naturaleza y el alcance del triplete. En este sentido, frecuentemente se habla de niveles de representación cuando en el modelo original Johnstone llama nivel representacional únicamente al nivel simbólico (Gilbert y Treagust, 2009; Taber, 2013).

Tabla 3.3. El «tripleto químico» de los conocimientos químicos (a partir de Taber, 2013).

Nivel	Descripción	Notas
MACROSCÓPICO: Descriptivo y funcional	Podemos ver y manipular materiales y describir sus propiedades en términos de densidad, inflamabilidad, color, etc.	También nos interesa la posibilidad de conversión de un material en otro, con los consiguientes cambios en sus propiedades.
SUBMICROSCÓPICO: Explicativo	Intentamos explicar por qué las sustancias químicas se comportan como lo hacen.	Nos referimos a átomos, moléculas, iones, estructuras, isómeros, polímeros, etc., mediante modelos, para obtener una imagen mental que nos permita orientar nuestro pensamiento y racionalizar el nivel descriptivo mencionado anteriormente.
SIMBÓLICO: Representacional	Tratamos de representar las sustancias químicas mediante fórmulas y sus cambios mediante ecuaciones.	Esto forma parte del sofisticado lenguaje de la materia.

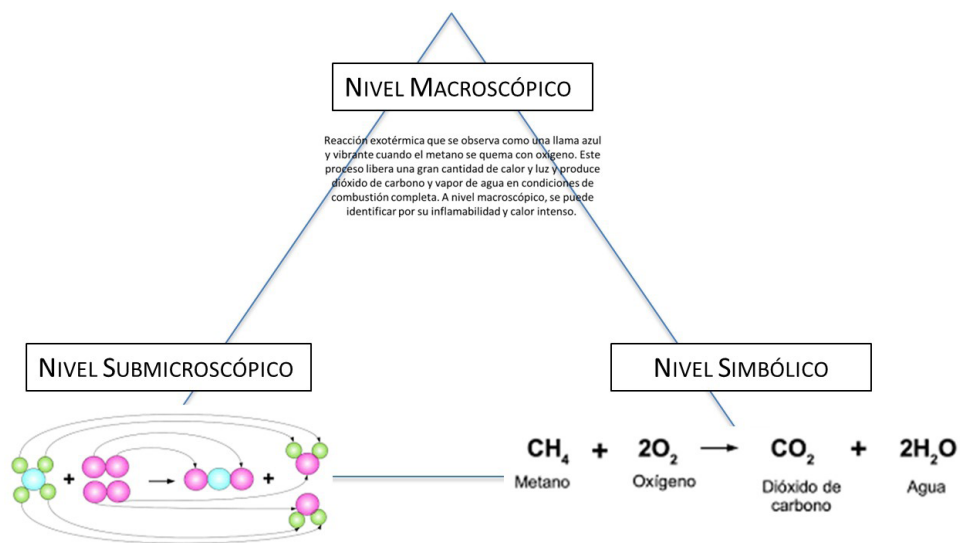


Figura 3.2. «Triplete químico» para la combustión del metano.

Las dificultades de aprendizaje de la Química se centran en cada uno de los niveles del triplete, así como en las relaciones entre ellos. A nivel macroscópico, la Química se centra en las sustancias, un concepto diferente al de materiales, que resulta más familiar para el estudiantado y que incluso puede confundirse con los objetos. Por ejemplo, pueden confundir el río con el agua, la madera con la cuchara, la leche o un refresco con una sustancia, etc., y deben aprender no solo el concepto de sustancia, sino también los conceptos de elemento y compuesto, así como el de reacción química como una transformación entre diferentes sustancias que, de alguna manera, conservan la esencia de las sustancias originales, aunque poseen propiedades muy diferentes. A nivel simbólico, las sustancias tienen nombres y fórmulas, la mayoría de las veces desconocidos e impronunciables, haciendo uso de un lenguaje químico muy específico. En el nivel submicroscópico, los símbolos muestran qué moléculas están presentes antes y después del cambio, y las proporciones de moléculas intervinientes, que tienen un sentido algebraico. Tradicionalmente, ha sido el nivel más abandonado en la enseñanza, por las dificultades asociadas a los modelos de materia. No obstante, Johnstone (1982) propuso que podía ser el que más ayudara al estudiantado a comprender las relaciones entre los otros dos.

En definitiva, la falta de atención a cómo establece el estudiantado las relaciones entre los tres niveles del triplete puede estar en el origen de muchas dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas.

LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DEL ESTUDIANTADO

Si ha habido alguna temática que haya ayudado más que ninguna otra al desarrollo de la Didáctica de la Química, esa ha sido la de las concepciones alternativas. Estas investigaciones evidenciaron que los estudiantes no aprenden la Química de manera pasiva, sino que interpretan los fenómenos a partir de ideas previas, pero no científicas, especialmente sobre la naturaleza corpuscular de la materia, la estructura atómica, las reacciones químicas y los niveles de representación.

Los alumnos suelen presentar dificultades para concebir la materia como formada por partículas con enorme vacío entre ellas, diferenciar entre átomos, moléculas e iones, relacionar lo observable con lo submicroscópico, interpretar ecuaciones químicas y distinguir cambios físicos de químicos. Los resultados de estas investigaciones se recogen en diferentes trabajos de recopilación (por ejemplo, Caamaño, 2003, p.212-215).

Estos hallazgos sentaron las bases de los enfoques constructivistas y de cambio conceptual, impulsando estrategias didácticas centradas en la experimentación, la modelización y el uso de representaciones múltiples. Asimismo, orientaron la formación del profesorado y el diseño curricular, contribuyendo a consolidar la Didáctica de la Química como un campo de investigación autónomo, enfocado en la comprensión y el aprendizaje significativo de los fenómenos químicos.

El área de investigación sigue teniendo relevancia. Teo *et al.* (2014) analizaron 650 artículos empíricos publicados entre 2004 y 2013 en *Chemistry Education Research and Practice*, *Journal of Chemical Education*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Research in Science Education* y *Science Education*. Encontraron que el tema más abordado fue el de concepciones y cambio conceptual, con 170 artículos, lo que representó el 26,2% del total.

¿Qué son las ideas alternativas?

Se sabe que cualquier persona desarrolla y utiliza modelos explicativos sobre la realidad que le rodea. La génesis y evolución de muchas de estas ideas se deben a un proceso natural, pero complejo, en el que son fundamentales las interacciones físicas, sociales y simbólicas de cada persona.

Cuando las ideas que expresan los estudiantes difieren de las explicaciones aceptadas por la comunidad científica, se denominan *concepciones alternativas*. Este término, ampliamente difundido en la literatura especializada, no siempre se utiliza de manera unívoca, ya que en ocasiones se debate si tales concepciones deben considerarse auténticas “alternativas” al conocimiento científico o, más bien, aproximaciones parciales y transitorias hacia las formas explicativas actualmente aceptadas.

En la investigación didáctica, estas concepciones han recibido distintas denominaciones según el enfoque teórico adoptado: ideas previas, preconcepciones,

miniteorías, esquemas alternativos o ciencia de los niños, cuando se reconoce su coherencia interna y su valor como punto de partida para la construcción del conocimiento; y conceptos erróneos, errores conceptuales, ideas equivocadas, *misconceptions* o creencias infundadas, cuando se interpretan como desviaciones o deficiencias respecto al saber deseado.

¿Qué características tienen?

Las investigaciones sobre concepciones alternativas han permitido identificar varias características fundamentales. En primer lugar, son construcciones personales, originadas en la experiencia cotidiana y, en menor medida, en la influencia social y lingüística. En segundo lugar, suelen tener un carácter implícito, pues los estudiantes no siempre son conscientes de sus propias ideas, lo que dificulta su detección mediante métodos directos. Además, aunque son personales, resultan notablemente compartidas y universales, ya que derivan de experiencias similares con el entorno físico.

Estas concepciones son, asimismo, estables y resistentes al cambio, reapareciendo y manteniéndose incluso tras años de escolarización. Finalmente, presentan similitudes con las ideas de científicos y filósofos del pasado, lo que ha permitido aprovechar esta correspondencia para orientar la secuenciación y organización de los contenidos científicos en la enseñanza.

¿Cuáles son sus orígenes?

Las investigaciones muestran bastante coherencia en la influencia de tres grandes tipos de concepciones asociadas a sus respectivos orígenes (Pozo y Gómez Crespo, 1998). En primer lugar, las concepciones espontáneas de origen sensorial se basan en lo perceptible y observable, lo que lleva a interpretar la realidad a través de los sentidos y a tener dificultades para construir modelos mentales sobre entidades no visibles, como las partículas en la materia. En segundo lugar, las concepciones inducidas, de origen social, surgen del lenguaje cotidiano y cultural, que otorga significados distintos a los términos científicos y puede generar confusiones. Finalmente, las concepciones análogas, de origen analógico, aparecen cuando los estudiantes carecen de ideas previas sobre un fenómeno y recurren a analogías para interpretarlo, lo que puede ser útil o generar errores según la pertinencia del modelo empleado. Se muestran algunos ejemplos en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Ejemplos de concepciones de distintos orígenes.

Concepción de origen sensorial:

- Las partículas de un sólido no se mueven
- El vacío en el interior de la materia no existe. Entre las partículas debe haber algo o no hay hueco.

Concepción de origen social o lingüístico: Analogía entre el agua y el aire, a partir de las siguientes expresiones:

- El agua está formada por hidrógeno y oxígeno
- El aire está formado por nitrógeno y oxígeno

Concepción de origen analógico:

- El hielo se diluye como si fuera sal o arena
-

¿Cómo detectarlas?

Detectar las concepciones alternativas requiere estrategias que permitan acceder al pensamiento real de los estudiantes, más allá de sus respuestas superficiales. Entre los instrumentos de evaluación más efectivos se encuentran:

- Conversacionales, como coloquios y entrevistas, que facilitan explorar ideas y razonamientos de forma rápida o en profundidad, individualmente o en pequeños grupos.
- Escritos, incluyendo cuestionarios cerrados y abiertos, pruebas objetivas, mapas conceptuales, dibujos y otras representaciones, que permiten identificar patrones de errores y concepciones implícitas.
- Observacionales, mediante la participación en actividades experimentales y la observación directa, ya sea por el profesorado o por evaluadores externos, lo que permite detectar concepciones en acción y razonamientos prácticos que no siempre se verbalizan.

La Tabla 3.5 muestra un ejemplo de una cuestión abierta y una cuestión objetiva.

Tabla 3.5. Ejemplos de cuestiones utilizadas para detectar concepciones alternativas.

Cuestión abierta: “El balón de fútbol” (Brook *et al.*, 1984)

Lee atentamente las siguientes afirmaciones:

- Todas las cosas están hechas de partículas pequeñas
- Estas partículas se mueven en todas las direcciones
- La temperatura afecta a la velocidad con que se mueven
- Las partículas ejercen fuerzas unas sobre otras

Utiliza estas ideas para contestar la siguiente pregunta: “Un balón se infla durante el día, cuando hace calor. Por la tarde, cuando la temperatura disminuye, el balón se siente más blando. ¿Por qué ocurre esto? (Nota: el balón no está roto)

Cuestión objetiva: “Las burbujas del agua” (Osborne & Freyberg, 1985)

Cuando el agua hierve, se forman grandes burbujas. ¿De qué están hechas las burbujas?

- a) aire
 - b) vapor
 - c) calor
 - d) oxígeno o hidrógeno
-

Además, las investigaciones sobre concepciones alternativas informan y fundamentan las progresiones de aprendizaje, asegurando que la enseñanza de la química sea gradual, coherente con la comprensión previa del estudiante y centrada en la construcción significativa del conocimiento. Las progresiones de aprendizaje describen cómo los estudiantes pasan de su comprensión existente a una comprensión científica más sofisticada y útil de manera significativa. Guían el desarrollo y la alineación del currículo, la instrucción y la evaluación para ayudar a los estudiantes a aprender el conocimiento para que este sea utilizable (Jin *et al.*, 2025).

LAS PROGRESIONES DE APRENDIZAJE EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA: DEL RAZONAMIENTO INFORMAL A LA LÓGICA DISCIPLINAR

La investigación reciente sobre progresiones de aprendizaje ofrece un marco sólido para comprender cómo los estudiantes construyen progresivamente ideas más elaboradas sobre los fenómenos naturales. El capítulo introductorio del *Handbook of Research on Science Learning Progressions* (Jin *et al.*, 2025) establece los fundamentos teóricos y metodológicos de este enfoque, que resulta especialmente fértil para el ámbito de la Didáctica de la Química, donde los conceptos de materia, energía y cambio constituyen ejes vertebradores del pensamiento científico escolar.

Los autores distinguen entre dos polos del aprendizaje científico: el razonamiento informal —vinculado a las ideas intuitivas y cotidianas del alumnado— y la lógica disciplinar, que representa la comprensión científica madura de los fenómenos. Entre ambos se despliegan niveles intermedios que configuran una trayectoria de desarrollo cognitivo y conceptual.

En Química, este tránsito implica pasar de concepciones fenomenológicas (“el aire no pesa”, “el agua desaparece al evaporarse”) hacia la comprensión del modelo corpuscular de la materia, en el que la realidad material se concibe como un sistema discontinuo formado por partículas en constante movimiento e interacción.

La Tabla 3.6 recoge una síntesis de los niveles de progresión de los conceptos clave de la Química: materia, energía y cambio.

Tabla 3.6. Progresiones de aprendizaje en los conceptos de materia, energía y cambio.

Materia	Energía	Cambio
Nivel 1 — Continuidad macroscópica: La materia se percibe como homogénea y continua. Ejemplo: “El aire no tiene masa porque no se ve”	Nivel 1 — Energía como “fuerza” o “sustancia” que los objetos tienen. <i>Ejemplo:</i> “El fuego tiene energía, por eso calienta.”	Nivel 1 — Cambio como alteración visible. Los estudiantes creen que los productos son materiales nuevos que aparecen, y que parte de la materia “desaparece”.
Nivel 2 — Partículas simples sin interacción: Se introduce la idea de partículas, pero se las entiende como unidades estáticas o separadas entre sí. Ejemplo: “El agua está hecha de bolitas de agua que no cambian.”	Nivel 2 — Energía asociada a movimiento o cambio observable. Los estudiantes perciben la energía como algo visible o tangible. <i>Ejemplo:</i> “La energía sale del combustible cuando se quema.”	Nivel 2 — Conservación parcial. Se reconoce que algo se conserva (por ejemplo, “la cantidad total de material”), pero sin comprender los mecanismos de reorganización.
Nivel 3 — Partículas con movimiento e interacción: Se reconoce que las partículas se mueven, interactúan y cambian su disposición según la temperatura o el estado físico. Ejemplo: “Cuando el agua se calienta, las partículas se mueven más rápido y se separan.”	Nivel 3 — Energía como propiedad que se transfiere y transforma. Se empieza a entender la relación entre energía térmica, movimiento de partículas y cambio de estado. <i>Ejemplo:</i> “Cuando el hielo se derrite, las partículas se mueven más y necesitan energía para separarse.”	Nivel 3 — Reorganización de partículas. Se introducen los conceptos de reacción y enlace, y se comienza a aplicar el modelo atómico-molecular.

Materia	Energía	Cambio
Nivel 4 — Modelo dinámico-molecular: El alumnado comprende que las propiedades macroscópicas (densidad, presión, volumen, temperatura) derivan de las interacciones entre partículas. Se diferencian átomos, moléculas y iones.	Nivel 4 — Energía vinculada a enlaces y transformaciones Químicas. Comprensión de la energía como magnitud que interviene en la formación y ruptura de enlaces. <i>Ejemplo:</i> “En la combustión, se rompen enlaces en los reactivos y se forman otros nuevos, liberando energía.”	Nivel 4 — Conservación cuantitativa y energética. El estudiante integra los principios de conservación de masa y energía, y puede justificar el cambio químico mediante reordenamientos atómicos.
Nivel 5 — Comprensión estructural-teórica: Se integran los modelos atómico-moleculares con conceptos energéticos y de enlace químico. El estudiante puede explicar fenómenos como la solubilidad o los cambios de estado mediante la estructura y la energía de las partículas.	Nivel 5 — Energía conservada en sistemas complejos. El alumnado integra el principio de conservación y puede describir reacciones exotérmicas y endotérmicas en términos energéticos cuantitativos y moleculares.	Nivel 5 — Explicación molecular y simbólica integrada. Se domina la escritura de ecuaciones químicas y se comprende su valor representacional, conectando los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico.

El *handbook* propone que estas progresiones no se enseñen de forma aislada, sino como un sistema integrado que articula:

- Conceptos (materia, energía, cambio),
- Prácticas científicas (modelar, argumentar, usar evidencias), y
- Conexiones transversales (sistemas, conservación, causalidad).

Este enfoque, llamado *three-dimensional learning progression*, está en consonancia con el marco del *Next Generation Science Standards* (NGSS), y busca formar un pensamiento químico coherente, relacional y explicativo, no memorístico.

Conviene destacar que las actuales progresiones tridimensionales en Didáctica de la Química no surgen de la nada, sino que consolidan un itinerario que la investigación en educación científica lleva más de tres décadas construyendo. La descripción empírica de los esquemas explicativos del alumnado —como la realizada en Benarroch (1998) y sintetizada en la Tabla 3.7— constituye el germen de los marcos actuales que articulan aprendizaje, práctica y conceptualización científica.

Tabla 3.7. Progresión empírica de modelos mentales sobre la Naturaleza Corpuscular de la Materia (NCM).

Nivel 1: En un primer nivel, no existen esquemas explicativos directamente relacionados con la naturaleza corpuscular de la materia (NCM). Los esquemas empleados se basan en un conocimiento macroscópico y descriptivo de las situaciones, por lo que los sujetos son incapaces de ofrecer explicaciones a nivel de modelización, quedándose en el nivel fenomenológico o descriptivo. Este nivel es predominante entre los sujetos de 9 años.
Nivel 2: Surgen los primeros esquemas explicativos directamente vinculados con la NCM. Estos esquemas mantienen un carácter continuo, aunque comienzan a enriquecerse con elementos perceptibles (burbujas, huecos, pompitas, etc.) que permiten dar sentido a los datos empíricos. Este tipo de explicaciones se presenta con mayor frecuencia cuando la situación física ofrece dichos elementos observables, como en el caso de la disolución de un sólido granular. Es el nivel predominante entre los sujetos de 11 años.
Nivel 3: Se caracteriza por esquemas explicativos auténticamente corpusculares. Esto es, los sujetos identifican la materia como compuesta por partículas y, en consecuencia, reconocen la existencia de huecos entre ellas. Sin embargo, el vacío aún no se concibe como necesario, por lo que, ante la pregunta sobre qué hay entre las partículas, tienden a minimizar los huecos o a llenarlos con algún tipo de contenido etéreo. Puede incluso que respondan "nada", aunque sin reconocer la implicación lógica de que, si existiera algo, ese algo también debería estar formado por partículas. Este nivel compite con el anterior, pero resulta más frecuente en situaciones en las que no existen elementos directamente perceptibles, como ocurre en el caso de la compresibilidad del aire. Es el nivel predominante entre los sujetos de 13 a 15 años.
Nivel 4: Se caracteriza por la adquisición de un modelo corpuscular en el que la materia se concibe formada por partículas y vacío necesario, probablemente como resultado de la integración del esquema diferenciador entre materia y no materia. Es el nivel predominante entre los sujetos de 17 a 19 años
Nivel 5: Se diferencia del nivel anterior como resultado del aprendizaje escolar. Se manifiesta en esquemas que, además de incluir partículas y vacío, integran los subesquemas de movimiento e interacción en un único modelo causal coherente y necesario.

Las progresiones de aprendizaje son útiles para conectar el currículo con la instrucción y la evaluación de los aprendizajes. Por tanto, están íntimamente relacionadas con las decisiones que se han de tomar en la transposición didáctica, que se verá a continuación.

LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA Y LAS DECISIONES CURRICULARES

Cada curso, el profesorado se enfrenta a la decisión de qué ciencia enseñar y cómo hacerlo. A partir del currículo oficial, que recoge los contenidos esenciales para la formación ciudadana, los docentes deben contextualizarlos según sus propias

intenciones, para su centro, su departamento y las características del estudiantado. Una tarea fundamental consiste en transformar esos contenidos curriculares en saberes enseñables, es decir, en conocimientos comprensibles, relevantes y aplicables para los estudiantes.

Sin embargo, el saber curricular no coincide plenamente con el saber científico o experto. El conocimiento científico no puede trasladarse directamente al aula, pues no se reproducen las condiciones ni los modos de razonamiento propios de la comunidad científica. De este modo, los saberes escolares no son simples versiones simplificadas del saber experto, sino reconstrucciones adaptadas a finalidades educativas, sociales y culturales.

El concepto de transposición didáctica, propuesto por Michel Verret (1975) y desarrollado por Yves Chevallard (1985), explica este proceso de transformación del saber sabio (el conocimiento científico) en saber enseñado (el contenido efectivamente impartido en clase). En este proceso intervienen distintos agentes —instituciones, editoriales, formadores y docentes— que determinan qué conocimientos son social y educativamente valiosos. Según Chevallard, el conocimiento atraviesa tres etapas (ver Figura 3.3):

1. *Saber sabio o experto*, producido por la comunidad científica.
2. *Saber a enseñar*, recogido en los currículos y materiales educativos.
3. *Saber enseñado*, que se concreta en la práctica docente y en las interacciones en el aula.

En la fase inicial, “del saber sabio al saber a enseñar” estas decisiones suelen tomarse a nivel institucional; refleja decisiones ideológicas y políticas sobre qué contenidos se consideran valiosos para ser enseñados y cuáles se dejan fuera. En esta primera fase, la participación del profesorado suele ser limitada.

La transposición didáctica propiamente dicha es la transformación del saber a enseñar en saber enseñado. En este proceso, en el que el profesorado participa de manera activa, conviene distinguir entre dos momentos: el diseño general de los procesos didácticos y su ejecución en el aula, aspecto que no estaba previsto en los planteamientos originales de Chevallard. En la fase de diseño intervienen las editoriales, encargadas de elaborar y difundir los materiales, así como la formación docente inicial (Cardelli, 2004). La ejecución, en cambio, depende del profesorado, que adapta los contenidos según su visión de la ciencia, de cómo se aprende y de cómo debe enseñarse, en este caso, la Química.

En síntesis, la transposición didáctica no es una práctica aislada, sino un proceso continuo y complejo que media entre la ciencia y la escuela, garantizando que los saberes enseñados sean comprensibles, relevantes y culturalmente significativos para el estudiantado.

Saber Sabio (conocimiento científico)



Transposición interna / adaptación al currículo

Saber a enseñar (contenido escolar previsto en libros y programas)



Transposición didáctica (proceso docente)

Saber enseñado (conocimiento transmitido en el aula)

Figura 3.3. Elementos de la transposición didáctica según Chevallard.

Críticas y ampliaciones del modelo clásico

El modelo de Chevallard, de base matemática, ha recibido críticas cuando se aplica a otras disciplinas experimentales como la física o la química, donde intervienen prácticas técnicas, instrumentales y sociales. Diversos autores (Joshua, 1996; Martinand, 1986) proponen ampliar el concepto de “saber de referencia” para incluir no solo el conocimiento científico, sino también los saberes técnicos y profesionales que dan sentido a la enseñanza, como la elaboración de productos químicos cotidianos (jabones, tintes o perfumes, por ejemplo).

La transposición pragmática de Perrenoud

Perrenoud (1998) amplía la idea de transposición didáctica de Chevallard a las prácticas y saberes sociales como fuentes del conocimiento escolar. En su modelo, el proceso va desde los saberes y prácticas sociales hasta los aprendizajes efectivos del estudiantado, pasando por el currículo formal y el currículo real. Distingue dos tipos de transposición:

- Externa, del saber científico o social al currículo formal.
- Interna, del currículo a los contenidos efectivamente enseñados.

Perrenoud introduce además la dimensión de las competencias científicas, entendidas como la capacidad de movilizar conocimientos y habilidades en contextos diversos. Esta perspectiva resulta crucial en la enseñanza de la Química, pues integra no solo los conceptos científicos, sino también los aspectos tecnológicos, ambientales y éticos vinculados a su aplicación y está en línea con los currículos escolares de base competencial.

Tipos de transposición didáctica

Verret había planteado inicialmente una *transposición analítica*, basada en la fragmentación del saber científico en unidades más simples para facilitar su aprendizaje. Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones, como la pérdida de coherencia conceptual y la dificultad para integrar saberes entre disciplinas.

A esta transposición se opone otra denominada *holística*, que considera las concepciones previas, las dificultades cognitivas del alumnado y la relevancia social del conocimiento; en definitiva, el saber del estudiante y el saber social. Así, según Jiménez y Sanmartí (1997), los criterios de selección de los saberes a enseñar deben contemplar:

- El carácter estructurante del saber.
- Su relevancia científica y cultural.
- La edad y nivel de los estudiantes.
- Los condicionantes socioculturales y ambientales.
- Los objetivos educativos oficiales.

Como muestran Espinoza y Salfate (2006), aplicar la transposición didáctica al equilibrio químico exige analizar cómo ciertos modelos teóricos se reinterpretan en los libros de texto y en las prácticas experimentales del aula, respetando su rigor conceptual sin perder accesibilidad.

En síntesis, la transposición didáctica constituye un proceso continuo y reflexivo que conecta el conocimiento científico con la cultura escolar, permitiendo que el aprendizaje de la Química sea comprensible, significativo y socialmente pertinente.

ENFOQUES EMERGENTES EN LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA. MODELIZACIÓN, CONTEXTUALIZACIÓN Y ARGUMENTACIÓN

En las últimas décadas, la Didáctica de la Química ha experimentado una evolución significativa hacia enfoques emergentes como la modelización, la contextualización y la argumentación, reconocidos actualmente como prácticas epistémicas y pedagógicas fundamentales en la enseñanza de la disciplina (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2007; Gilbert, 2006; Gilbert & Justi, 2016). Estos enfoques favorecen una comprensión profunda, reflexiva y socialmente significativa del conocimiento científico, alineándose con las tendencias contemporáneas en educación en ciencias.

Modelización: eje epistemológico de la Química

La modelización constituye el eje central del aprendizaje y la enseñanza de la Química, al ser el modo de conocer propio de la disciplina. Los químicos abordan el estudio de los fenómenos naturales a través de modelos que representan entidades

no observables —átomos, moléculas, enlaces e interacciones—, y permiten explicar y predecir fenómenos (Gilbert & Justi, 2016).

En el contexto educativo, enseñar Química implica instruir en la construcción, el uso, la evaluación y la revisión de modelos para la explicación científica. Así, la modelización actúa como puente epistemológico entre el conocimiento científico y escolar, permitiendo que el estudiantado comprenda no solo conceptos, sino también procesos de generación y validación del saber químico (Justi & Gilbert, 2002).

En este sentido, y muy vinculado a la transposición didáctica, habría que considerar la inclusión de los modelos corpusculares desde la educación primaria, representando cada sustancia mediante su partícula característica. Esta aproximación temprana favorece la construcción progresiva de una visión microscópica de la materia, que permitirá posteriormente comprender con mayor solidez los procesos de cambio químico (Benarroch, 2000).

De manera complementaria, y también en relación con la transposición didáctica, se plantea la conveniencia de introducir los modelos atómicos en la educación secundaria como base para explicar, interpretar y predecir las reacciones químicas. Esta progresión permite avanzar desde una comprensión macroscópica y corpuscular inicial hacia una interpretación microscópica fundamentada en el modelo de Dalton, donde las transformaciones químicas se conciben como reordenamientos de átomos que permanecen inalterados en número y naturaleza (Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, 2016), y que luego se irá ampliando para integrar tipologías diversas de reacciones.

Contextualización: la Didáctica de la Química al servicio de la sociedad

La contextualización busca situar los contenidos químicos en contextos socialmente relevantes y próximos a la vida cotidiana del alumnado. Propuestas como CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) y educación para la sostenibilidad promueven una visión integral de la Química como ciencia viva, aplicada y éticamente comprometida (Vilches & Gil-Pérez, 2013). Este enfoque requiere diseñar problemas y proyectos significativos —contaminación del agua, materiales sostenibles, energía, salud pública— e impulsa tanto la motivación estudiantil como el desarrollo de competencias científicas y ciudadanas.

Argumentación: práctica científica esencial en la enseñanza de la Química

La argumentación se reconoce como práctica científica clave en la enseñanza de la Química, ya que permite construir, justificar y evaluar explicaciones fundamentadas en pruebas (Osborne, 2009). Argumentar implica articular datos y justificarlos rigurosamente, estableciendo relaciones entre hechos observables y modelos teóricos (Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2007).

La integración de los tres niveles representacionales (macroscópico, submicroscópico y simbólico) en el proceso argumentativo potencia la comprensión en Química, trascendiendo la simple observación basada en fenómenos (Johnstone, 1991). Por ejemplo, al analizar la reacción entre carbonato de calcio y ácido clorhídrico, se observa y justifica experimentalmente la producción de dióxido de carbono, relacionando las observaciones con modelos submicroscópicos y lenguaje simbólico (ecuación química ajustada).

Estudios recientes han demostrado que la instrucción basada en argumentación mejora la comprensión de conceptos como el cambio químico y favorece un razonamiento científico de mayor nivel (Villegas Monsalve, 2022).

NUEVOS RETOS DE LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA

La Didáctica de la Química afronta hoy retos epistemológicos, metodológicos y tecnológicos estrechamente interrelacionados. En el plano epistemológico, se requiere una comprensión más sistémica y multiescala de los fenómenos, la incorporación de enfoques como la química verde y una reflexión profunda sobre la naturaleza de la ciencia y la modelización en contextos de incertidumbre. Estos desafíos se proyectan en el ámbito metodológico, donde resulta imprescindible promover propuestas integradoras tipo STEM/STEAM, fortalecer la indagación y la experimentación auténtica, contextualizar el aprendizaje conectándolo con los grandes problemas socioambientales y avanzar hacia una alfabetización científica que capacite al estudiantado para la toma de decisiones informadas y que contemplen la diversidad cultural y de género. En particular, la educación no formal merece especial atención por su amplia difusión y por la flexibilidad que ofrece para profundizar en temas relevantes, vinculados o no al currículo escolar (Franco Hidalgo-Chacón *et al.*, 2023). Paralelamente, los retos tecnológicos impulsan la integración crítica de recursos como la simulación molecular avanzada, los laboratorios virtuales o la inteligencia artificial generativa, que abren nuevas posibilidades de visualización, personalización y experimentación digital, pero exigen un equilibrio cuidadoso con la práctica experimental y con criterios didácticos sólidos.

Capítulo 4. Didáctica de la Biología

Susana García-Barros¹ y José Ramón Díez²

¹Universidade da Coruña; ²Euskal Herriko Unibertsitatea

Contacto: susana.gbarros@udc.es; joseramon.diez@ehu.eus

INTRODUCCIÓN

La Biología es la ciencia de la vida. Estudia los organismos en todos sus aspectos, su estructura, funcionamiento, evolución, distribución y relaciones. Aborda, por tanto, su complejidad multinivel, desde lo molecular hasta lo ecosistémico. La Didáctica de la Biología, sin embargo, se define como el campo de conocimiento científico que estudia los procesos de Enseñanza y Aprendizaje de esta ciencia. Integra el conocimiento del contenido biológico (qué enseñar), el conocimiento pedagógico del contenido específico de la Biología (cómo enseñar), y el conocimiento sobre el alumnado y sus contextos (a quién y dónde enseñar). Su objeto es comprender, explicar y mejorar los procesos de transposición didáctica del conocimiento biológico, considerando las particularidades epistemológicas de la Biología como ciencia y las dificultades específicas de aprendizaje asociadas a sus conceptos fundamentales.

CARACTERÍSTICAS Y DIFICULTADES ESPECÍFICAS DE LA DIDÁCTICA DE LA BIOLOGÍA

La investigación en educación biológica es un campo más joven que otros como la Física o la Química, si bien ha avanzado de forma considerable en la comprensión de cómo las y los estudiantes adquieren conocimiento en Biología (NCR, 2012).

La naturaleza específica de ese conocimiento biológico condiciona su enseñanza y la distingue de otras ciencias naturales. Por ejemplo, la Física y la Química buscan leyes universales que se cumplen siempre. Por el contrario, la Biología trabaja conceptos, patrones y reglas generales que admiten excepciones. Este es el caso de los órganos respiratorios (pulmones en mamíferos; branquias en los peces; pulmones, piel y membranas bucales en anfibios; tráqueas en los insectos...), es decir, múltiples soluciones evolutivas para hacer frente a los mismos problemas fisiológicos. La historia evolutiva, con sus eventos azarosos e irrepetibles, condiciona todos los fenómenos biológicos y explica simultáneamente la diversidad y unidad de la vida.

Estas particularidades epistemológicas exigen que el profesorado desarrolle un tipo específico de conocimiento profesional. En este sentido, el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), introducido por Shulman (1986), se concibe como un concepto central. Desde esta perspectiva, enseñar con éxito requiere

un conocimiento especializado que posibilita transformar el saber disciplinar en representaciones accesibles y significativas para el alumnado. El CDC integra tres dimensiones: el conocimiento del contenido biológico (qué aspectos presentan mayor dificultad y por qué), el conocimiento de estrategias didácticas (cómo abordar esas dificultades específicas) y el conocimiento curricular (qué enseñar en cada etapa educativa).

Esto implica comprender cómo los contenidos biológicos deben organizarse, representarse y adaptarse a las necesidades de diversos estudiantes en un contexto particular, permitiendo a los docentes traducir su conocimiento disciplinar en formas comprensibles para el alumnado. El conocimiento sobre el alumnado y sus contextos es clave en el CDC y puede analizarse desde varias dimensiones propias de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Biología.

Concepciones alternativas e Ideas previas

Al igual que en el resto de las disciplinas, el alumnado no llega como "pizarras en blanco" al aprendizaje de la Biología. Traen consigo teorías intuitivas sobre fenómenos biológicos basadas en experiencias cotidianas, concepciones alternativas persistentes que pueden ser resistentes al cambio (ej: "las plantas toman alimento del suelo", "la evolución tiene una dirección hacia la perfección") y modelos mentales implícitos sobre procesos como herencia, respiración celular o relaciones ecológicas.

Este hecho posee una implicación didáctica clara. El o la docente competente debe conocer cuáles son las concepciones más comunes en cada tema biológico y diseñar estrategias específicas para provocar el cambio conceptual. Ahora bien, estas ideas alternativas no son en todos los casos errores conceptuales, sino ideas incipientes o menos sofisticadas de un modelo científico concreto. Es decir, un punto de partida para el cambio conceptual (Heller, 2022).

Dificultades cognitivas específicas de la Biología

La Biología presenta desafíos cognitivos particulares. Requiere transitar entre múltiples escalas de organización (molecular, celular, organismo, ecosistema) y conectar lo microscópico con lo macroscópico. Esta complejidad se acentúa al abordar fenómenos invisibles o procesos que transcurren en escalas temporales extremas, desde interacciones moleculares instantáneas hasta cambios evolutivos de tiempo geológico. Por otra parte, el alumnado tiende al razonamiento causal simple, recurriendo al antropomorfismo y la teleología ("la jirafa estiró el cuello para alcanzar las hojas"), mientras que es difícil comprender causalidades complejas, no lineales y multifactoriales. Lograr una comprensión conceptual precisa constituye, por tanto, uno de los principales desafíos en la enseñanza de la Biología.

Otro reto fundamental es el desarrollo del pensamiento sistémico. A menudo se detecta una comprensión limitada de procesos de interdependencias, junto con una preferencia por relaciones lineales causa-efecto simples. A estas dificultades se suman las relacionadas con la interpretación y el uso de ecuaciones, gráficas, modelos, y diagramas.

El profesorado debe considerar las capacidades cognitivas del alumnado en función de su edad y desarrollo, incluyendo el razonamiento abstracto, las habilidades de pensamiento científico (formular hipótesis, controlar variables, interpretar datos...), el pensamiento crítico y la capacidad argumentativa, así como las diferencias individuales en los ritmos de aprendizaje.

Contextos Socioculturales

El contexto familiar y socioeconómico influye significativamente en el aprendizaje: el acceso a experiencias en la naturaleza, la cultura científica familiar, los recursos disponibles y las actitudes hacia la ciencia del entorno social son factores determinantes. El contexto cultural puede generar conflictos entre conocimiento científico y creencias religiosas, especialmente respecto a la evolución (Borgerding *et al.*, 2017). Las experiencias previas con la Biología son igualmente cruciales: contacto directo con la naturaleza, prácticas en huertos, cuidado de mascotas o excursiones. El término "extinción de la experiencia" (Soga y Gaston, 2016) describe la desconexión progresiva entre el ser humano y el mundo natural, problemática que debe revertirse mediante actividades vivenciales al aire libre y educación ambiental para favorecer la conservación del medio natural y el bienestar.

El contexto lingüístico es otro aspecto relevante, especialmente en la actualidad dada la presencia habitual de estudiantes multilingües en las aulas. El dominio del lenguaje científico y académico, así como la comprensión de las diferencias entre el lenguaje cotidiano y el científico, son determinantes para el aprendizaje.

Estos contextos socioculturales no solo condicionan el acceso al conocimiento biológico, sino que moldean profundamente las disposiciones afectivas del alumnado hacia la ciencia, aspecto que analizamos a continuación.

Motivaciones, Intereses y Actitudes

Conocer qué motiva al alumnado es fundamental. Determinados temas biológicos generan mayor interés que otros: por ej., los animales captan más atención que las plantas. Se ha constatado que la "ceguera hacia las plantas" es un síndrome muy extendido entre la población en general. Se trata de la tendencia humana a no apreciar o reconocer la importancia de las plantas en nuestro entorno, a las que se considera meramente un fondo decorativo en lugar de seres esenciales para la vida (Wandersee y Schussler, 1999).

En general, los saberes aportados desde la Enseñanza de la Biología suelen ser atractivos e interesantes, dado que despiertan la curiosidad del alumnado y generan menos rechazo que otras materias del ámbito científico. De hecho, suscitan emociones más positivas que la Física, la Química o las Matemáticas (Costillo *et al.*, 2013) y se percibe como una asignatura más "asequible". No obstante, a pesar de este contexto favorable, la investigación ha identificado dificultades significativas de Enseñanza y Aprendizaje.

La conexión con problemas reales, actuales y cercanos es esencial para despertar la motivación, objetivo al que pueden contribuir la experimentación y el trabajo de campo. Asimismo, deben considerarse aspectos afectivos como la ansiedad hacia ciertos temas (disección), las fobias (insectos, sangre) y la sensibilidad hacia cuestiones controvertidas.

Finalmente, no debemos olvidar que la Biología brinda muchas oportunidades para tratar problemas sociocientíficos de carácter ético motivadores, al tiempo que encierran un gran valor educativo. Nos referimos a situaciones en la que el alumnado pueda percibir que forma parte de una población con capacidad transformadora, incluso destructora, lo que ofrece oportunidades interesantes para la reflexión orientada al comportamiento responsable.

SÍNTESIS DEL DESARROLLO HISTÓRICO DE LA DIDÁCTICA DE LA BIOLOGÍA

La Didáctica de la Biología ha experimentado una evolución significativa como disciplina académica, consolidándose como un campo de investigación específico que aborda los problemas relacionados con la Enseñanza y el Aprendizaje de las ciencias biológicas. Su desarrollo histórico puede analizarse en varias etapas que reflejan los cambios paradigmáticos en educación científica.

En las primeras etapas, entre 1950 y 1970, predominó el enfoque conductista. La Enseñanza se centraba en la transmisión de conocimientos factuales mediante una metodología tradicional basada en clases magistrales y memorización. La didáctica de la Biología no se consideraba aún un campo diferenciado, por lo que la investigación específica era escasa. Entre 1970 y 1990 se produjo un período de transición marcado por la influencia de la psicología cognitiva y la incorporación de teorías del aprendizaje significativo. Surgieron las primeras investigaciones específicas centradas en conceptos biológicos particulares, mientras se introducían nuevas metodologías como las prácticas de laboratorio y el trabajo de campo.

La consolidación disciplinar tuvo lugar entre 1980 y 2010, período caracterizado por el enfoque constructivista que reconoció al estudiante como constructor activo del conocimiento. Se produjo una proliferación de investigaciones sobre concepciones alternativas, identificando sistemáticamente las ideas previas del alumnado, y se establecieron marcos teóricos específicos que configuraron líneas de investigación propias de la disciplina. Así mismo, el enfoque sociocultural

ha proliferado a partir de los 90 e incorpora aspectos sociales y culturales en el aprendizaje.

En el período contemporáneo, desde 2010 hasta la actualidad predomina la investigación basada en el diseño, orientada al desarrollo y evaluación de intervenciones en entornos reales que generan conocimiento teórico y práctico para resolver problemas educativos. Paralelamente, se ha producido una internacionalización de la disciplina mediante el desarrollo de redes de investigación globales.

TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LA BIOLOGÍA

El desarrollo histórico previo ha consolidado la Didáctica de la Biología como campo de investigación establecido. Comprender su estado actual exige identificar tendencias, áreas deficitarias y enfoques metodológicos.

Síntesis comparativa de estudios

Un estudio reciente (Cofré *et al.*, 2025) analiza 558 artículos sobre Didáctica de la Biología (2010-2023) en dos revistas españolas (*Revista Eureka* y *Enseñanza de las Ciencias*) y cuatro revistas de educación científica en inglés (*Int. J. Sci. Educ.*, *J. Res. Sci. Teach.*, *Res. Sci. Educ.* y *J. Sci. Educ. Technol.*). Al contrastar los resultados de este análisis con los publicados por la *Journal of Biological Education* (JBE) para el mismo periodo, revista con más de 60 años de trayectoria, emergen convergencias y divergencias reveladoras.

En el análisis de Cofré *et al.* (2025) cinco países —EE. UU., Alemania, Suecia, Israel y España— concentran el 64% de las publicaciones anglosajonas, mientras España domina las publicaciones en las revistas españolas (> 64%). La producción muestra una tendencia al alza, más consistente en revistas españolas. En el caso de JBE existe un fuerte predominio del Reino Unido, con una internacionalización creciente. En ambos análisis el alumnado de secundaria es el colectivo más estudiado y la primera infancia permanece muy infrarrepresentada.

Las concepciones alternativas son el tema predominante en ambos análisis: estables en Cofré, en descenso en JBE (28% → 19%). La formación docente evidencia la mayor divergencia: escasa en Cofré (<10%), creciente en JBE (18% → 26%), sugiriendo que la revista especializada atrae más investigación sobre profesorado, con énfasis en alfabetización científica y competencias epistémicas.

Las estrategias de Enseñanza dominan según Cofré —TIC, representaciones, modelización y argumentación— junto con la cuantificación del aprendizaje del alumnado tras la implementación de intervenciones didácticas. En el JBE se identifican dos tendencias emergentes: biodiversidad y ambiente (8% → 21%), reflejando la

crisis global, y el impacto COVID-19, con investigaciones sobre educación remota y realidad virtual y ampliada.

La evolución presenta una paradoja: muy investigada según Cofré —único tema donde el aprendizaje supera a las estrategias (47% vs. 39%)— pero en declive en JBE (19% → 3%), sugiriendo saturación en esta última revista.

Ambos estudios coinciden en indicar áreas que merecen mayor atención: Educación Infantil y Primaria, metabolismo y biología celular, formación docente, y estrategias de enseñanza como trabajos prácticos y educación fuera del aula. Subrayan la necesidad de colaboración global y vincular la didáctica con desafíos emergentes, como la crisis de biodiversidad.

Tendencias en el enfoque metodológico

La investigación en Didáctica de la Biología ha transitado desde aproximaciones descriptivas hacia un campo metodológicamente diverso que integra paradigmas cuantitativos, cualitativos y mixtos. Entre los diseños más relevantes destaca la investigación basada en diseño (Design-Based Research), enfoque prometedor para comprender cómo el alumnado desarrolla ideas sofisticadas mediante colaboraciones entre investigadores y docentes. Los métodos mixtos combinan aproximaciones cuantitativas y cualitativas mediante diseños secuenciales o concurrentes de triangulación.

Los instrumentos de recogida de datos incluyen inventarios de conceptos, estadísticas descriptivas e inferenciales, análisis cualitativos de contenido y revisiones sistemáticas de creciente importancia. Las tendencias emergentes revelan una adaptación hacia herramientas digitales y ambientes virtuales, potenciada por la pandemia COVID-19 (Bond *et al.*, 2020). Como señalan Allen y Tanner (2003), "no existe un único enfoque correcto" en este campo: la elección metodológica debe basarse en qué evidencia proporcionará mayor comprensión sobre el aprendizaje estudiantil.

MODELOS, IDEAS CLAVE Y PROGRESIONES DE APRENDIZAJE EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La investigación actual subraya la necesidad de fundamentar teóricamente las propuestas didácticas. Tres conceptos estructuran la enseñanza de las ciencias: modelos, ideas clave y progresiones de aprendizaje.

Modelos

Los saberes científicos se organizan en torno a modelos, representaciones simplificadas que ayudan a explicar, predecir y comprender la realidad, actuando como

mediadores entre el mundo y las teorías. En el contexto educativo, el modelado representa un proceso central donde el alumnado desarrolla, evalúa y revisa representaciones mentales de fenómenos naturales (Justi y Gilbert, 2002). Este trabajo con modelos —físicos, analógicos, matemáticos o conceptuales— implica su construcción, evaluación y revisión iterativa, convirtiendo al modelado en una práctica científica auténtica cuyo valor pedagógico reside en hacer visible el pensamiento científico.

Ideas clave

Por su parte, las ideas clave o *big ideas* representan conceptos fundamentales, transversales y generativos que estructuran el conocimiento científico. Según el NRC (2012), las ideas clave tienen cuatro características esenciales: tienen amplio poder explicativo en múltiples contextos; son fundamentales para comprender disciplinas científicas; relacionan conocimientos de diferentes campos y son accesibles y significativas para los estudiantes. En este sentido, Harlen (2010) propone que las grandes ideas en ciencias actúen como organizadores conceptuales que den coherencia al currículo y faciliten conexiones profundas entre conceptos aparentemente dispersos, facilitando la transferencia del aprendizaje.

Progresiones de Aprendizaje (Learning Progressions)

Las progresiones de aprendizaje describen trayectorias empíricamente fundamentadas sobre cómo evoluciona la comprensión de los estudiantes sobre ideas clave a lo largo del tiempo. Duschl *et al.* (2011) las definen como "descripciones de la sofisticación creciente del pensamiento estudiantil sobre una idea central en un área de conocimiento". Por su parte, Corcoran *et al.* (2009) caracterizan las progresiones de aprendizaje como orientadas a metas (describen un punto de llegada deseable en la comprensión); basadas en evidencias (fundamentadas en investigación sobre cómo aprenden los estudiantes); iterativas (reconocen que el aprendizaje no es lineal, sino que implica revisiones y refinamientos); y secuenciadas (identifican niveles intermedios de comprensión entre conocimientos iniciales y objetivos finales). Finalmente, Duncan y Hmelo-Silver (2009) destacan que las progresiones de aprendizaje integran tres componentes: el progreso en comprensión conceptual, el desarrollo de prácticas científicas y la sofisticación en el razonamiento epistémico.

En este marco, el modelo científico escolar opera como un andamiaje conceptual que articula los tres elementos anteriores: concreta y organiza las ideas clave de la disciplina, establece dimensiones que estructuran su progresión didáctica y proporciona referentes para secuenciar las actividades de enseñanza a lo largo del proceso de aprendizaje. De este modo, el modelo no solo inspira el contenido curricular, sino que define los niveles de complejidad creciente que sirven como

puntos de anclaje para fundamentar las intervenciones didácticas en cada fase de la progresión.

La síntesis de estos tres elementos (modelos, ideas clave y progresiones de aprendizaje) posibilita un enfoque coherente de la Enseñanza de las Ciencias. Krajcik *et al.* (2014) argumentan que las progresiones de aprendizaje sobre ideas clave deben desarrollarse mediante el compromiso activo con prácticas científicas como la indagación, creando así una visión tridimensional del aprendizaje científico que integra contenido disciplinar, prácticas científicas y conceptos transversales.

EL MODELO DE SER VIVO COMO REFERENTE PARA ESTABLECER PROGRESIONES DE APRENDIZAJE

En la Enseñanza de la Biología la reflexión sobre el modelo de vida es fundamental para articular y seleccionar los saberes más relevantes y establecer líneas de progresión. Los estudios sobre las concepciones infantiles respecto al concepto de vida revelan patrones sorprendentes. Niños y niñas pequeños atribuyen vida a objetos inanimados, asociándoles emociones, sensaciones e intenciones, y vinculan la vida principalmente al movimiento (Piaget, 1984). Además, emplean un razonamiento causal intencional que explica los fenómenos naturales mediante propósitos ("las plantas hacen flores para que las veamos bonitas") reflejando posiciones egocéntricas propias de la infancia (Carey, 1985). Aunque estos razonamientos desaparecen con la edad y la experiencia, todavía surgen ideas restrictivas que excluyen a los vegetales por su falta de movimiento. Además, e incluso cuando los estudiantes reconocen animales y plantas como seres vivos, justifican esta condición con criterios distintos: los animales viven porque comen y duermen, mientras que las plantas lo hacen porque crecen (Martínez Losada *et al.*, 2013).

Los estudios con profesorado de educación obligatoria en formación revelan concepciones igualmente limitadas sobre el concepto de vida. Concretamente, al abordar la diversidad de seres vivos, mencionan habitualmente solo animales y vegetales y centran sus definiciones de vida en el ciclo vital clásico ("nace, crece, se reproduce y muere") o bien en características particulares de ciertos ejemplares, omitiendo rasgos universales aplicables a cualquier organismo. En el mejor escenario, enumeran las funciones vitales (nutrición, reproducción y relación), pero raramente hacen referencia a la constitución celular o a la célula como unidad de vida (por ej., García Barros y Martínez Losada, 2013). Además, se sabe que la simple mención de funciones vitales no garantiza su comprensión adecuada, dada la abundancia de ideas alternativas documentadas sobre estos conceptos (Driver *et al.*, 1999).

La explicación histórica de la vida presenta paralelismos con las concepciones infantiles. Los pueblos primitivos, desde posiciones animistas, atribuían vida a astros, ríos o viento por su movimiento impulsado por "algo espiritual". La superación del animismo circunscribió la vida a humanos, animales y plantas, surgiendo en la

antigua Grecia dos perspectivas: la materialista (vida como colisiones de átomos) y la no materialista (alma aristotélica que diferencia lo vivo de lo inerte). Esta última perduró durante la Edad Media y evolucionó con el mecanicismo cartesiano de Descartes (1596-1650), quien entendía el cuerpo como máquina explicable mediante Física y Matemáticas. Estas ideas influyeron decisivamente en avances como la interpretación de la circulación sanguínea como sistema hidráulico —Harvey (1578-1647)—.

El vitalismo contradijo el mecanicismo al proponer que la vida requería una fuerza vital irreducible. Sin embargo, el desarrollo científico debilitó esta postura al explicar procesos vitales químicamente: la respiración como combustión —Lavoisier (1743-1794)—, el calor animal generado por combustión de alimentos —Liebig (1803-1873)— y, especialmente, la síntesis de urea sin fuerza vital —Wöhler (1828)—. El conocimiento biológico progresó exponencialmente con la teoría evolutiva, la teoría celular y los avances bioquímicos y ecológicos, transitando desde el estudio descriptivo individual hacia la consideración de la interacción constante entre organismos y ambiente.

A pesar de la evolución del conocimiento biológico la pregunta "¿qué es la vida?" sigue siendo recurrente e imprescindible en la Didáctica de la Biología. Sin embargo, el modelo de ser vivo no siempre ha estado bien delimitado, incluso entre algunos biólogos, por considerarlo excesivamente filosófico (El-Hani, 2008).

La vida puede explicarse desde distintas perspectivas. Margulis y Sagan (1995) la asimilaron a un fractal (diseño repetido a diversas escalas) cuyos niveles son células, organismos pluricelulares, poblaciones, comunidades y ecosistemas. Otra visión, la autopoietica —"auto" (a sí mismo) y "poiesis" (creación)— define los organismos vivos como sistemas organizativamente cerrados, pero con intercambio continuo de materia y energía con el medio, imprescindible para mantener su organización interna (Maturana y Varela, 1981). Esta perspectiva se asocia a la función de nutrición y es coherente con el organicismo, referente conceptual para la Enseñanza de la Biología (Jiménez Aleixandre, 2003). La interacción medio interno-externo requiere que el organismo capte estímulos del entorno (extensibles al nivel celular) y genere respuestas, proceso asociado a la función de relación. Además, los seres vivos se perpetúan mediante la reproducción, transmitiendo caracteres que pueden cambiar por mutaciones y otros mecanismos, generándose así diversidad dentro de las poblaciones, lo que garantiza su supervivencia en medios cambiantes y explica los procesos evolutivos.

Progresión de aprendizaje

Lo expuesto muestra la dificultad de construir un modelo de vida adecuado para la educación obligatoria. Desafortunadamente, la enseñanza de la Biología no siempre ha respondido a este desafío, caracterizándose por excesiva descripción, clasifica-

ciones sucesivas, terminología abundante y, especialmente, atomización de saberes. El profesorado demanda conocer los requerimientos cognitivos de los contenidos y establecer líneas de progresión basadas en ideas clave estructurantes. Una buena estructuración del contenido ayuda a desarrollar conocimientos, habilidades y actitudes de forma holística, anclando en ella los recursos didácticos correspondientes.

Actualmente se otorga gran relevancia a que el alumnado conozca, experimente y valore actividades científicas como la modelización y la indagación (Osborne, 2014). En Biología, el modelo escolar de ser vivo estructura el conocimiento mediante modelización progresiva, diferenciando los atributos esenciales de la vida. Asimismo, la indagación complementa este proceso desarrollando habilidades específicas y mostrando cómo se genera el conocimiento científico. Las actividades científicas deben contextualizarse en las experiencias e intereses del alumnado, siendo las preguntas el elemento clave que dirige y motiva el proceso. Este andamiaje conceptual también integra temas socioambientales relevantes: cambio climático, desigualdades, pandemias, extinción de especies, etc.

Para la construcción del modelo deseable de ser vivo, se considera al organismo como sistema semi-abierto, inmerso en su medio, aunque separado del mismo y adaptado a él, y con capacidad de autoorganización mediante intercambio continuo de materia y energía que modifica su entorno. La vida es dinámica y se explica por las interacciones y cambios imprescindibles para su mantenimiento.

Las líneas de progresión que organizan el contenido deben transitar de lo concreto a lo abstracto y de lo simple a lo complejo, contemplándose distintos niveles de organización desde el más básico (organismo vivo perceptible) hasta los más abstractos y complejos (celular/molecular y ecosistémico) (Cañal, 2008). Se contempla también la dicotomía unidad/diversidad, pues la vida terrestre presenta gran diversidad de organismos, pero comparte unidad anatómica (constitución celular) y funcional (nutrición, relación y reproducción), aunque desarrolladas de formas muy distintas.

La propuesta de progresión se articula en torno a ideas clave asociadas a dos núcleos básicos: a) la diversidad de seres vivos, características de su materia constituyente e igualdad funcional, y b) las funciones vitales propiamente dichas. Transversalmente, las ideas clave incluyen referencias al medio y a la especie humana debido a su interés educativo, como ejemplo vivencial de ser vivo y a su indiscutible impacto en los hábitats terrestres. La progresión define para cada idea clave ejemplificaciones y comentarios sobre el grado de exigencia adaptado a niveles educativos iniciales y al deseable para el final de la educación obligatoria.

Con relación al primer núcleo, la diversidad de seres vivos, las características de la materia que los constituyen, y la igualdad de las funciones que realizan, se han definido las ideas clave recogidas en la Tabla 4.1 que también incluye ejemplificaciones y comentarios sobre su progresión.

Tabla 4.1. Ideas en progresión sobre la diversidad de los seres vivos, características de la materia que los constituye e igualdad funcional.

IDEAS CLAVE	PROGRESIÓN.	
	Primeros niveles educativos =>	Final de la educación obligatoria
Los seres vivos son diversos, clasificables según criterios sistemáticos y comparten funciones vitales comunes	Ejemplares próximos (mascotas, animales domésticos/exóticos, vegetales conocidos). Clasificación simple basada en: hábitat, alimentación, reproducción (animales); hierbas/arbustos/árboles (vegetales). Todos los seres vivos "hacen cosas": obtienen alimento, tienen descendencia, crecen, reaccionan	Mayor diversidad de ejemplares, incluyendo microscópicos y menos conocidos (hongos, algas). Clasificación en 5 reinos o eventualmente, en función del nivel del alumnado, en 3 dominios. Funciones básicas (nutrición, reproducción, relación) aplicadas a casos concretos vivos o no, como: semillas, bacterias, virus, cristal.
Los seres vivos están adaptados a medios ambientes diferentes	Adaptaciones observables: movimiento, temperatura, pelaje, grasa (animales); cambios estacionales, hoja caduca/perenne (vegetales). El ser humano se adapta de forma muy diversa, mediante costumbres, construcciones.	Adaptaciones fisiológicas, mimetismos. Plantas en desiertos, salinidad, alturas, temperaturas extremas. Adaptación humana por desarrollo cultural y tecnológico. Diversidad cultural como valor destacable.
La célula es la unidad de todo ser vivo, constituida por una materia singular que comparte la misma composición atómica que la materia inorgánica	Nivel organismo pluricelular. Órganos externos e internos (ser humano como modelo), órganos vegetales. Materia orgánica cambia rápidamente (color, olor) vs. materia inorgánica estable en tiempos cortos.	Todos los seres vivos están formados por células (uni/pluricelulares). Las células, unidades anatómicas y funcionales, son diversas según el tejido, pero todas realizan funciones básicas. Están constituidas por moléculas orgánicas (lípidos, proteínas, glúcidos, ácidos nucleicos) formadas por átomos iguales a materia inorgánica (O, H, C, N).

El segundo grupo de ideas clave se asocian a las tres funciones vitales. Se considera cada una de ellas separadamente, dado que son verdaderos submodelos del modelo de ser vivo (García Rovira, 2005).

Nutrición

La función de nutrición es especialmente difícil para el alumnado por su abstracción y complejidad. En la nutrición animal, tomando el ser humano como ejemplo, la dificultad radica en relacionar los sistemas implicados (digestivo, respiratorio, circulatorio y excretor) y en vincular la función específica de cada uno con la esencia de la nutrición. El proceso de Enseñanza debe favorecer que el alumnado construya un modelo escolar que le permita resolver algunas cuestiones: ¿Cómo se sueldan los huesos rotos o cómo cicatrizan las heridas? ¿Por qué convienen dietas calóricas haciendo ejercicio físico intenso? ¿Por qué se acelera la respiración durante el ejercicio? La nutrición vegetal también encierra dificultades de aprendizaje, es-

pecialmente para integrar fotosíntesis y respiración como procesos que "conviven". Debe evitarse el énfasis casi exclusivo en la fotosíntesis, olvidando la respiración, y también la contraposición de ambos procesos.

Las ideas clave sobre nutrición se articulan en torno a: tipos de sustancias empleadas como alimentos y su función, diferenciando e igualando procesos en autótrofos y heterótrofos; mecanismos de transporte y excreción y, finalmente, alimentación humana y su relación con la salud y la problemática ambiental. La Tabla 4.2 expone las ideas clave seleccionadas y proporciona pistas sobre su progresión.

Tabla 4.2. Ideas en progresión sobre la función de nutrición en el modelo de ser vivo.

IDEAS CLAVE	PROGRESIÓN.	
	Primeros niveles educativos =>	Final de la educación obligatoria
Los organismos captan distintos tipos de sustancias y están adaptados para conseguirlos	Los animales se desplazan para obtener el alimento (vegetal/ animal), disponiendo de órganos (garras, bocas con distintas morfologías). Captan oxígeno por respiración continua. Las plantas no se desplazan, absorben agua y sales minerales por las raíces y gases del aire directamente por el organismo.	Diversidad de autótrofos y heterótrofos, adaptados a hábitats con diferentes factores limitantes (agua, temperatura, luz). Reconocimiento de las interacciones y dependencia entre seres vivos. Redes tróficas: productores; consumidores primarios/secundarios y descomponedores que cierran el ciclo de la materia.
Finalidad de las sustancias ingeridas/absorbidas en la función de nutrición	Los alimentos intervienen en: el crecimiento (individuo, pelo/uñas, hojas, ramas); la reparación (cicatrización, renovación de la piel) y el aporte de energía para realizar movimientos.	Renovación y reparación a nivel celular (células sanguíneas, dérmicas, óseas en fracturas). Requerimientos energéticos más allá del movimiento: mantenimiento de la temperatura, etc.
Procesos de la función de nutrición. Diferencias y semejanzas según el tipo de organismo	Animales. Los alimentos van al aparato digestivo y el oxígeno a los pulmones. Los alimentos se transforman en unidades sencillas utilizadas en crecimiento y reparación, los desechos se expulsan (heces). Las unidades sencillas interaccionan con O ₂ y aporta energía. Plantas. Producen esas unidades orgánicas sencillas en las hojas, a partir de agua y las sales absorbidas por las raíces, el CO ₂ y la luz. La finalidad de las unidades es la misma que en animales: crecimiento, reparación y obtención de energía.	Animales. Se profundiza en las interacciones y cambios para obtener nutrientes (monosacáridos, aminoácidos, etc.) vía enzimática. Los nutrientes formarán macromoléculas estructurales. Plantas. La fotosíntesis, produce glucosa y O ₂ , como desecho. También se producen otros nutrientes por procesos bioquímicos complejos. Animales y Plantas. Tiene en común la respiración (glucosa+ O ₂ =>CO ₂ + H ₂ O + energía). La célula con orgánulos específicos es la unidad funcional de la nutrición.

IDEAS	PROGRESIÓN.
CLAVE	Primeros niveles educativos => Final de la educación obligatoria
Sistemas de transporte de sustancias	Animales. La sangre circula por vasos impulsada por el corazón, distribuye nutrientes del digestivo y oxígeno de los pulmones a todas partes del organismo. Plantas. Tienen vasos por donde sube el agua y las sales (savia bruta) de las raíces a las hojas. También tiene vasos que distribuyen las sustancias formadas en las hojas (savia elaborada) a toda la planta. Animales. La función transportadora relaciona los sistemas implicados en la nutrición (digestivo, respiratoria y excretor). Se ha de considerar la relación anatomía/función. El sistema circulatorio es doble y cerrado. Plantas. Dos tipos de vasos: a) el xilema lleva sustancias inorgánicas, y tiene función estructural y b) el floema lleva los nutrientes orgánicos a todas partes de la planta. Localización de los órganos de reserva.
	Animales. Excepto las heces, los demás desechos tienen un origen celular. Relación anatomía/función del sistema excretor y del respiratorio con el circulatorio. Función excretora de las glándulas sudoríparas. Plantas. Sin órganos excretores especializados. Expulsión de residuos por estomas (hojas) lenticelas (tallos, raíces) o acumulación en vacuolas. Residuos: O₂, de la fotosíntesis y CO₂ de la respiración (es reutilizable en fotosíntesis); otros (resinas, aceites o sales).
La excreción de desechos	Animales. Expulsa: heces procedentes del digestivo; orina proviene del excretor (filtra la sangre) y CO₂ expulsado en la respiración. Se obvia la excreción vegetal por ser poco vivencial.
	Animales. Expulsa: heces procedentes del digestivo; orina proviene del excretor (filtra la sangre) y CO₂ expulsado en la respiración. Se obvia la excreción vegetal por ser poco vivencial.
La alimentación humana. Salud e impacto socioambiental	La dieta equilibrada y variada aporta alimentos para crecimiento y energía en función de la actividad física. Consecuencias para la salud de una alimentación excesiva o deficiente. La alimentación tiene un impacto que debemos minimizar: evitar desperdicios y tratarlos adecuadamente.
	Dieta equilibrada, basada en el tipo de nutrientes y valor calórico de alimentos. Desarreglos alimenticios, en la adolescencia (señales, causas y consecuencias). Impacto ambiental: producción de alimentos (herbicidas, macrogranjas); sobrepoblación humana (desechos, transporte). Desigualdades en el acceso a la alimentación, causas y consecuencias.

Reproducción

Las ideas clave sobre reproducción trascienden el simple mantenimiento de las especies, pues esta función es esencial para la adaptación y evolución. Desde el punto de vista educativo, debe atenderse tanto al control humano sobre la evolución de especies de consumo, como a la educación afectivo-sexual. La Tabla 4.3 recoge las ideas clave seleccionadas y su progresión.

Tabla 4.3. Ideas en progresión sobre la función de reproducción en el modelo de ser vivo.

IDEAS CLAVE	PROGRESIÓN.	
	Primeros niveles educativos =>	Final de la educación obligatoria
Los organismos vivos generan nuevos individuos por distintas vías	Animales. Son ovíparos, vivíparos, o sufren metamorfosis (varias fases). Plantas se reproducen por semillas, por esquejes, por tubérculos. La generación de nuevos organismos supone transformación: huevo => pollito; semilla => planta; huevo => oruga, => crisálida => adulto. Algunos procesos requieren agua, calor, etc.	El crecimiento y transformación se interpreta a nivel celular (la duplicación y la diferenciación celular explica la formación de los órganos). La materia y la energía necesaria proviene de las reservas acumuladas en huevo/semilla, de las aportaciones nutritivas de la gestante, de la acumulación de nutrientes en la oruga.
Tipos básicos de reproducción: asexual y sexual	Asexual. Es típica de plantas y algunos animales. Interviene un progenitor, la descendencia es idéntica. Experimentar/visualizar su sencillez con ejemplos. Sexual. Más habitual, interviene el “material” del macho y la hembra producido en los órganos sexuales, situados por las flores en el caso de las plantas. La descendencia es diferente a los progenitores. Se recomienda visualizar diversidad morfológica en las familias, camadas.	Interpretación celular. El material genético transmite caracteres, que puede sufrir cambios (mutaciones), influyentes en la viabilidad y en la evolución. Asexual. Reproducción asociada a la mitosis, produce la segmentación exacta de cromosomas y explica igualdad celular y regeneración de tejidos. Sexual. Reproducción asociada a la meiosis, produce diversidad genética en gametos. Esto, unido a su combinación aleatoria justifica la diversidad en la descendencia.
Ventajas e inconvenientes según el tipo de reproducción, sexual o asexual	La reproducción asexual es sencilla, favorece la expansión de la especie. La sexual , más complicada, la favorece menos. Existen adaptaciones que optimizan el mantenimiento de la prole: cuidados, amplia descendencia, etc.	La reproducción asexual facilidad de expansión. La reproducción sexual , vista en clave evolutiva se asocia a diversidad de la descendencia que favorece la supervivencia de las poblaciones en un medio cambiante. La diversidad constituye un factor de la evolución.
Intervención humana en la reproducción de especies	Los humanos, seleccionaron y seleccionan ejemplares más productivos (agricultura, ganadería), o más vistoso, a través del control de los cruzamientos.	La selección tradicional por cruzamiento se acelera hoy por la ingeniería genética, con su consabido impacto en el medio (disminución de la diversidad, selección de caracteres no deseados).
Sexualidad humana más allá de la reproducción	Conocimientos de órganos sexuales, apreciando diferencias. Distinción entre manifestaciones de afecto y comportamientos no deseados.	Educación afectivo sexual en adolescentes. Respeto mutuo, y hacia las diferentes opciones de género, reconociendo la igualdad entre hombres y mujeres. El conocimiento fisiológico y afectivo justifica comportamientos que evitan riesgos y favorecen la salud afectivo sexual.

Relación

La función de relación es fundamental para el mantenimiento de la vida: permite detectar cambios del medio externo e interno, procesarlos y ejecutar respuestas. Este proceso es mucho más complejo en animales que en vegetales, que carecen de órganos específicos, por lo que se atenderá a los primeros tomando al ser humano como ejemplo.

La comprensión de esta función no es sencilla, pues demanda integrar saberes diversos con alto nivel de abstracción. Su enseñanza, además, no siempre promueve una visión general, perdiéndose en descripciones detalladas pero inconexas. Para superar esta desconexión, la propuesta de ideas clave y progresión (Tabla 4.4) se articula en el marco estímulo-respuesta, considerando: receptores sensoriales que informan de cambios; sistema de coordinación que procesa la respuesta y efectores que la ejecutan. Se destaca también la función de relación en la evolución humana.

Tabla 4.4. Ideas en progresión sobre la función de relación en el modelo de ser vivo.

IDEAS CLAVE		PROGRESIÓN.	
		Primeros niveles educativos => Final de la educación obligatoria	
Los receptores identifican distintos estímulos	Animales (ser humano), disponen de receptores específicos para estímulos externos, identificables por experiencia. También reciben estímulos internos (hambre, sed, sueño). Las plantas no tienen órganos específicos, pero también detectan estímulos (luz, agua).	La base física/química de la función sensorial en animales (ser humano): los estímulos externos se clasifican en mecánicos, luminosos, térmicos y químicos. Relación entre el estímulo y las características anatómico-funcionales del órgano receptor. Estímulos internos relacionados con el control de la homeostasis (presión arterial, balance de agua/electrolitos). Estímulos intelectuales en el ser humano, asociados a múltiples actividades.	
	Las sensaciones son esenciales para la supervivencia (peligro, búsqueda de agua/alimentos).		
El procesamiento del estímulo corre a cargo del centro de coordinación.	Modelo de conexiones: recetor => coordinador => respuesta.	La coordinación corre a cargo del sistema nervios y endocrino. Coordinación nerviosa es rápida (acto reflejo) o más larga (intelectual, coordinación de respuestas complejas en humanos). Coordinación endocrina es lenta y duradera, radica en glándulas que liberan hormonas, (ej: la sed coordina el ahorro fisiológico de agua).	
	La sensación solo se aprecia si llega al cerebro (órgano coordinador) que impulsará la respuesta. Un fallo en la transmisión o una alteración en el mismo impide la recepción. Esto es relevante en la infancia, pues solo se otorga al receptor (ojo, oído, etc.) la función sensorial.		

IDEAS CLAVE		PROGRESIÓN.
Primeros niveles educativos => Final de la educación obligatoria		
La respuesta al estímulo es ejecutada por los órganos efectores	La respuesta motora es la más evidente y recomendable. Los músculos son los órganos efectores que reciben el estímulo. Esto da sentido al estudio del sistema locomotor integrado en la relación estímulo-respuesta.	Además de profundizar en la respuesta motora, se introduce la endocrina, donde los órganos efectores son las glándulas (ej. en la regulación de la glucosa el páncreas libera insulina; en el estrés hídrico, el hipotálamo libera hormona antidiurética). Procesos combinados nervioso-endocrino (ej. la liberación de adrenalina frente al estrés explica el puente entre ellos).
La función de relación tiene gran influencia en el éxito evolutivo humano	El cerebro humano es eficaz para resolver problemas y adaptarse (construye herramientas, descubre y emplea el fuego...) influyendo, todo ello definitivamente en su supervivencia.	En humanos, el desarrollo del lenguaje influye en el aprendizaje, la comunicación y la organización de tareas. El pensamiento hipotético deductivo, la memoria, las manifestaciones artísticas tienen un gran impacto en el desarrollo cultural. Nuestra especie es altamente competitiva con capacidad de modificar su entorno, aspecto que preocupa por su actual dimensión.

DESAÍOS ACTUALES EN LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA

La enseñanza de la Biología enfrenta desafíos sin precedentes. La superación de los límites planetarios y la creciente desigualdad exigen una ciudadanía crítica capaz de comprender la complejidad sistémica de estos fenómenos. Sin embargo, persisten obstáculos significativos. Existen tensiones entre rigor científico y presiones ideológicas. Paralelamente, la desinformación en redes sociales sobre vacunas, transgénicos o remedios pseudocientíficos genera una preocupante brecha entre disponibilidad de conocimiento e ignorancia científica efectiva. Comprender estas crisis interconectadas requiere emplear el pensamiento sistémico. Esta competencia esencial ayuda a entender las interacciones complejas, los bucles de retroalimentación y los procesos emergentes que gobiernan los fenómenos biológicos a múltiples escalas.

Ante este panorama, formar al profesorado como agente de cambio es una necesidad. Ello demanda estrategias transformadoras que incluyen: conexión con el entorno local; metodologías activas como el trabajo de campo y el aprendizaje basado en problemáticas reales y un enfoque interdisciplinar que integre las perspectivas STEM y CTS con aspectos sociales, económicos y éticos. Esta aproximación interdisciplinar es clave para desarrollar el pensamiento crítico y el sistémico, más allá de los límites disciplinares de la ciencia. Para asumir este rol transformador, el profesorado precisa actualización continua en contenidos científicos, formación en metodologías innovadoras, conocimiento de recursos digitales, espacios de colaboración profesional y apoyo institucional.

La integración de la inteligencia artificial en el aula ejemplifica la complejidad actual y obliga a replantear los objetivos educativos y las metodologías de evaluación. El reto no consiste en prohibir su uso, sino en desarrollar alfabetización digital crítica que permita utilizar estas herramientas de forma ética y productiva. Esta alfabetización es especialmente crítica en un contexto de desigualdad digital donde el acceso tecnológico reproduce estructuras de injusticia social.

El análisis de la investigación en Didáctica de la Biología revela áreas deficitarias: la educación infantil y universitaria, metabolismo y biología celular, y estrategias como los trabajos prácticos y la educación fuera del aula. Todas ellas demandan investigación más sistemática. Esta situación indica un desafío estructural persistente: la desconexión entre la investigación educativa y la práctica docente. La clave para reducir esta brecha requiere posicionar a la escuela como protagonista de la investigación, haciendo partícipes a los docentes en la generación de conocimiento didáctico.

La formación docente inicial y permanente emerge como el desafío integrador. La educación en Biología requiere combinar comprensión profunda en Biología con métodos tecnológicos y enfoques computacionales lo cual demanda integración de conocimientos en disciplinas muy diferentes. El reto es cómo equilibrar profundidad y amplitud, evaluar formas complejas de pensamiento sistémico, y preparar profesorado capaz de actuar críticamente entre innovación tecnológica, rigor científico y compromiso socioambiental en contextos de crisis ecosocial. El impacto transformador de un profesorado así formado podría generar vocaciones científicas, desarrollar compromisos planetarios y preparar una ciudadanía capaz de afrontar los desafíos globales del siglo XXI.

Capítulo 5. Didáctica de la Geología

Ángel Luis Cortés Gracia¹ y Conxita Márquez Bargalló²

¹ Grupo de investigación BEAGLE / IUCA. Universidad de Zaragoza; ² Profesora jubilada, Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Contacto: acortes@unizar.es; conxita.marquez@uab.cat

INTRODUCCIÓN

Siendo bien pequeños, las niñas y los niños manipulan habitualmente materiales de la Tierra que encuentran en su entorno próximo. Así podemos verlos haciendo hoyos o construcciones de arena en la orilla del mar, de un lago o de un río, buscando tesoros en el arenero del parque, jugando con charcos, moldeando con barro, recogiendo piedras de formas y colores variados o incluso identificando formas que les recuerdan a algunos seres vivos en los fósiles. También es habitual que les llamen la atención las llamativas propiedades de muchos minerales o la terrible apariencia de algunos dinosaurios. Sin embargo, a lo largo de la escolarización, el alumnado va perdiendo interés por los asuntos relacionados con las ciencias de la Tierra y ni las modificaciones curriculares ni la diversidad de propuestas educativas derivadas de las mismas parecen reactivarlo.

Desde hace años, el concepto de alfabetización científica (*science literacy*) juega un papel fundamental no solo en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, en general, sino en los desarrollos curriculares generales de todas las etapas educativas, en la educación no formal e incluso en los debates políticos que, para bien o para mal, conducen a la toma de decisiones sobre todo lo anterior. Así, se entiende que requeriría de “la capacidad de explicar fenómenos científicamente, diseñar y evaluar investigaciones científicas, e investigar e interpretar datos y pruebas de forma crítica” (traducido de <https://www.oecd.org/en/topics/science-literacy.html>). Como ejemplo, a partir del año 2000, el programa PISA (*Programme for International Student Assessment*, en inglés) de la OECD trata de evaluar las competencias del alumnado de un buen número de países, centrándose en ciencias, lectura y matemáticas, además de alguna competencia innovadora en los últimos años. En este contexto, los resultados de las pruebas PISA pueden relacionarse con el nivel de alfabetización científica, ya que pretenden medir “la capacidad de los jóvenes de 15 años para utilizar sus conocimientos y habilidades de lectura, matemáticas y ciencias para afrontar los desafíos de la vida real” (traducido de <https://www.oecd.org/en/about/programmes/pisa.html>).

En el caso de la geología, o de las ciencias de la Tierra en sentido amplio, la visión de la disciplina desde el punto de vista de la alfabetización llega a España unos años después de la puesta en marcha de las pruebas PISA, apoyándose en los resultados de las mismas, en informes internacionales sobre la educación científica (Rocard *et al.*, 2007) y en un conjunto de grandes ideas sobre las ciencias de la Tierra que todo ciudadano debería conocer (National Science Foundation, 2010). Los trabajos de Emilio Pedrinaci y colaboradores sobre *Alfabetización en Ciencias de la Tierra* suponen un punto de partida diferente a la hora de plantear cómo debería ser la enseñanza de la geología (Pedrinaci, 2012; Pedrinaci *et al.*, 2013). Hablar aquí de “enseñanza” no es casualidad, ya que es en la enseñanza o en la visión docente (más que en el aprendizaje) en lo que se centra buena parte de la literatura sobre la Didáctica de la Geología en los últimos años.

En nuestro contexto cercano, la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT), con sus simposios bienales desde 1980 y la publicación desde 1992 de la revista *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, ha contribuido a la consolidación de una comunidad en la que se integran profesionales de la Geología y docentes de las distintas etapas educativas (fundamentalmente de ESO, Bachillerato y universidad). Del mismo modo, la Asociación Española de Profesores e Investigadores en Didáctica de las Ciencias también ha fortalecido la presencia de las ciencias de la Tierra dentro del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Las revistas que sirven como referencia del área (*Enseñanza de las Ciencias*, *Eureka*, *Alambique*, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, *Ápice Revista de Educación Científica*, entre otras) han ido incorporando de forma regular publicaciones relacionadas con la Didáctica de la Geología. Paralelamente, aportaciones relacionadas con la investigación e innovación educativa sobre esta temática también aparecen con frecuencia en eventos científicos como el *Congreso Internacional de Investigación en Enseñanza de las Ciencias* o los *Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*.

Tomando como referencia el marco descrito, este trabajo va a tratar de abordar la situación actual de la Didáctica de la Geología desde cuatro perspectivas distintas, a la vez que necesariamente complementarias:

1. La perspectiva curricular, desde la que se presentará la situación de las ciencias de la Tierra en los currículos de educación reglada, la investigación sobre los mismos, las progresiones de aprendizaje planteadas y/o deseables, los enfoques didácticos generales que aparecen en las distintas etapas, etc.
2. La perspectiva sistémica, es decir, la necesaria consideración de la geología o las ciencias de la Tierra desde ese enfoque, más allá de contenidos o temas concretos.
3. La perspectiva “didáctica”, con los problemas de enseñanza y aprendizaje propios de la geología o los tipos de propuestas que se plantean para el desarrollo de destrezas científicas, entre otras cuestiones.

4. La perspectiva de futuro, con los posibles retos que plantea la enseñanza y aprendizaje de la geología en relación con los ODS, los límites del planeta, los problemas ambientales y sociales, el desarrollo del pensamiento crítico, etc.

LA PERSPECTIVA CURRICULAR

El periodo LOGSE-LOE

La situación de la geología en los currículos de las distintas etapas educativas ha sido objeto de investigaciones y reflexiones en las últimas décadas. Pedrinaci (2002, 2006) reflexiona sobre los contenidos geológicos en dos leyes educativas distintas (LOGSE, 1990 y LOE, 2006), denunciando una falta de consenso en ambas sobre lo que deberían ser los contenidos nucleares de esta disciplina en la ESO y la desaparición de su obligatoriedad a lo largo de esta etapa. Además, aprovecha para adelantar algunas ideas que podrían incorporarse en futuras revisiones curriculares. AEPECT (2007) señala que los currículos desarrollados tras la puesta en marcha de la LOE suponen una desatención a la enseñanza de la geología en los niveles no universitarios (optatividad, pocas horas, etc.). Partiendo directamente de esta posición, Calonge (2010) trata de contextualizar la situación de la geología en España, señalando que “está infravalorada en los niveles de la enseñanza pre-universitaria por parte de algunas administraciones educativas” (p. 141), a la vez que contrasta este hecho con las salidas profesionales que proporciona su estudio o con la influencia social de la disciplina. En general, los trabajos citados apenas prestan atención a las etapas anteriores a la ESO (Educación Infantil y Primaria), a pesar de que, como se ha comentado al inicio de este capítulo, la geología está presente desde nuestra niñez en la realidad que nos rodea, aunque a veces esté casi ausente en los desarrollos curriculares de las primeras etapas educativas.

Pedrinaci *et al.* (2013) recogen y amplían ideas planteadas en trabajos anteriormente citados (National Science Foundation, 2010; Rocard *et al.*, 2007), desarrollando 10 ideas clave que podrían servir para la elaboración de los futuros currículos de educación secundaria. Las ideas clave desarrolladas en el documento sobre *Alfabetización en Ciencias de la Tierra*, en el que participaron profesionales de la educación y distintas sociedades científicas relacionadas con la geología y su enseñanza, deberían haber servido como referencia para orientar los currículos escolares en años posteriores.

Estas diez ideas generales se formulan tal y como aparecen en el siguiente listado (adaptado de Pedrinaci *et al.*, 2013):

1. La Tierra es un sistema complejo en el que interaccionan las rocas, el agua, el aire y la vida.

2. El origen de la Tierra va unido al del Sistema Solar y su larga historia está registrada en los materiales que la componen.
3. Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua.
4. El agua y el aire hacen de la Tierra un planeta especial.
5. La vida evoluciona e interacciona con la Tierra modificándose mutuamente.
6. La tectónica de placas es una teoría global e integradora de la Tierra.
7. Los procesos geológicos externos transforman la superficie terrestre.
8. La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible.
9. Algunos procesos naturales implican riesgos para la humanidad.
10. Los científicos interpretan y explican el funcionamiento de la Tierra basándose en observaciones repetibles y en ideas verificables.

El periodo LOMCE

El primer “golpe” curricular a la geología lo ejecuta la LOMCE (2013) y sus reales decretos de enseñanzas mínimas, que sitúan todos los contenidos de geología de Educación Primaria en la asignatura de Ciencias Sociales, desconectándola de las Ciencias de la Naturaleza. En la Educación Secundaria, la geología sí que forma parte de las “Ciencias de la Naturaleza” en asignaturas como Biología y Geología (1º y 3º de ESO como obligatoria; 4º de ESO como optativa), Geología (2º de Bachillerato como optativa) y Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (2º de Bachillerato como optativa), y es tratada de forma transversal en Cultura Científica (4º de ESO y 1º de Bachillerato como optativa).

Partiendo de esa situación, diversos trabajos han abordado en los años posteriores la problemática relacionada con esta distribución de contenidos de Geología a lo largo de la educación obligatoria y el bachillerato. Así, Martínez *et al.* (2015, p. 14) insisten en la “falta de atención a los contenidos sobre ciencias de la Tierra en la etapa de Educación Primaria”, que la LOMCE incluía en la asignatura troncal de Ciencias Sociales. Además, se indican algunos problemas, tanto en Educación Primaria como en la ESO, como la desconexión de algunos procesos geológicos con los productos derivados de los mismos (por ejemplo, vulcanismo y rocas volcánicas) o la falta de un criterio claro sobre la progresión de los contenidos (desde la energía interna hacia las manifestaciones de los procesos que genera *vs.* desde la presentación de los procesos hacia los elementos del interior de la Tierra que los generan). Pedrinaci (2016 a, b) señala las nociones básicas necesarias para que la ciudadanía pueda entender cómo funciona el planeta en el que vive. Y evidentemente, esto no solo se debería trasladar a los currículos educativos de la enseñanza obligatoria, sino también recogerse en cualquier modificación de los estudios de Bachillerato (Pascual, 2017).

Algunos autores siguen analizando las consecuencias del desarrollo de las concreciones curriculares de la LOMCE en relación con los contenidos de geología y cómo se trasladaron en su momento a los libros de texto de las distintas etapas educativas. Cortés y Martínez (2017, p. 288) señalan que “los contenidos curriculares de geología en Educación Primaria se presentan como meras etiquetas, no quedando claro si a los estudiantes se les pide que conozcan el término en sí mismo, una definición o el modelo científico que subyace”. También se indica que su inclusión en la asignatura de Ciencias Sociales va acompañada de un lenguaje vinculado a una demanda “desconcertante” que no favorece un adecuado aprendizaje de conceptos y modelos en el sentido que señalaban Jorba *et al.* (2000).

Delgado y Calonge (2018) profundizan en los contenidos de geología presentes en los currículos de Educación Primaria en las comunidades autónomas de Castilla y León, Castilla-La Mancha y Madrid, analizando su relación con las grandes ideas señaladas anteriormente. Entre otras cuestiones, detectan un cierto acercamiento a la visión sistémica de la Tierra, si bien existen desconexiones y vacíos conceptuales que no permitirían introducir y comprender adecuadamente otros contenidos. En el mismo sentido, Achurra *et al.* (2022) abordan un análisis sobre la presencia de las prácticas científicas en el currículo LOMCE de Educación Primaria del País Vasco y lo comparan con su presencia en el currículo estatal. En su trabajo, las autoras hablan de una “desnaturalización” de las ciencias de la Tierra como consecuencia de dos factores: la localización de las mismas dentro de las Ciencias Sociales y la ausencia de la indagación (y escasamente argumentación) en los contenidos y criterios de evaluación específicos.

En puertas de la siguiente modificación curricular (transición LOMCE-LOMLOE), surgen algunas propuestas que sugieren qué tipo de progresión de contenidos sería compatible con las grandes ideas consensuadas en el trabajo de Pedrinaci *et al.* (2013), así como con la necesaria visión sistémica de la Tierra que ya señalaban otros autores como Brusi (2011), Pascual (2013) o Bach y Márquez (2017), entre otros. De esta forma, Cortés y Martínez (2020) proponen una progresión desde lo que es “fácil de percibir” por el alumnado de Educación Primaria (formas del relieve, distribución de continentes y océanos o fenómenos geológicos que impactan a nivel social) para ir introduciendo durante la ESO descripciones cualitativas y cuantitativas más o menos complejas (pliegues, fracturas, actividad sísmica y volcánica como consecuencia de procesos internos, relación con la tectónica de placas, etc.). En Bachillerato se podrían introducir la “descripción e interpretación de fenómenos y procesos complejos que precisan de conocimientos avanzados de física, química y biología” (p. 45), así como la conexión de fenómenos concretos con un modelo general (pruebas que han permitido construir la teoría de la tectónica de placas, métodos directos e indirectos que aportan datos, reconstrucciones del pasado y predicciones de futuro, entre otras cuestiones).

El periodo LOMLOE

La publicación en 2020 de la LOMLOE, así como de los reales decretos que regulan las enseñanzas mínimas a partir de 2022 y sus desarrollos autonómicos, implicó la incorporación de nuevos enfoques metodológicos en las distintas asignaturas de las diferentes etapas educativas. Entre otras cuestiones, los contenidos de geología se reincorporaron a un área común en Educación Primaria (Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural), si bien, cada comunidad autónoma decidió si mantenerla de ese modo (Andalucía, Canarias, Castilla-La Mancha, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, País Vasco, La Rioja, Ceuta y Melilla) o separarla en distintas asignaturas (por ejemplo, Ciencias de la Naturaleza y Ciencias Sociales en Aragón, Principado de Asturias, Islas Baleares, Cantabria, Castilla y León, Galicia, Madrid, Murcia y Navarra).

En ESO y Bachillerato, la geología mantiene unos contenidos muy similares a los establecidos en la LOMCE, con la Biología y Geología obligatoria en 1º y 3º de ESO y en 4º de ESO como optativa, aunque se modifican las opciones en Bachillerato, con una asignatura de Biología, Geología y Ciencias Ambientales en 1º y Geología y Ciencias Ambientales en 2º. Así, las anteriores asignaturas optativas de Geología y Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente se convierten en una única opción en este curso (perdiendo contenido y horas asociadas a su impartición).

Al margen de esta reorganización de contenidos, uno de los principales cambios de la LOMLOE es la introducción del concepto “situación de aprendizaje” como elemento central para abordar un enfoque competencial del currículo (Alda *et al.*, 2024; Domènech-Casal, 2023), así como la inclusión, más o menos explícita, del concepto de “prácticas científicas” (Couso *et al.*, 2020), desapareciendo el concepto de “método científico”.

Como en las leyes anteriores, la puesta en marcha de un nuevo marco curricular ha dado lugar a trabajos que tratan de analizar sus contenidos, así como su impacto en las aulas o en los recursos educativos. Como ejemplo, tras el conocimiento de los borradores de la LOMLOE y sus desarrollos, Brusi *et al.* (2022) siguen reclamando una adecuada presencia de la geología, en todas las etapas educativas. Prieto *et al.* (2025) analizan la presencia de las ciencias de la Tierra en el currículo de Educación Primaria, señalando el carácter continuista de los saberes y “la omisión de contenidos sobre la hidrosfera, el ciclo del agua y el suelo” (p. 34). No obstante, también indican que sería posible tratar todas las ideas clave que señalaban Pedrinaci *et al.* (2013), si bien puntualización que quizás su abordaje o no quedaría finalmente en manos de los docentes responsables de estas etapas.

LA PERSPECTIVA SISTÉMICA

La primera idea clave que aparece en el documento sobre *Alfabetización en Ciencias de la Tierra* es: “La Tierra es un sistema complejo en el que interaccionan las rocas, el agua, el aire y la vida” (Pedrinaci *et al.*, 2013, p. 118).

Cualquiera que estudie la Tierra identifica sus cuatro subsistemas: la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera (que incluye la actividad humana) que, aunque distintos, están estrechamente interconectados (Figura 5.1). Ninguno de ellos actúa de manera aislada; por el contrario, interaccionan constantemente intercambiando materia, energía e información, dando lugar a un todo, que conocemos como sistema Tierra. Así, cuando queremos explicar cualquier fenómeno geológico debemos considerar la interacción de los diferentes subsistemas que intervienen. Por ejemplo, cuando se produce una inundación fluvial, es preciso valorar la participación de los subsistemas implicados: la geosfera como el entorno físico y la hidrosfera que aporta el agua causante de la inundación, pero también la atmósfera que es donde se generan los fenómenos meteorológicos que dan lugar a la lluvia, la biosfera que puede condicionar la escorrentía del agua y finalmente la actividad humana que por su presencia genera propiamente el concepto social de riesgo geológico, que puede generar acciones que potencian o minimizan la posibilidad de una inundación (Bach y Márquez, 2017).

La interacción entre los cuatro subsistemas puede manifestarse de formas muy diferentes. Un par de ejemplos claros se muestran en las figuras 5.1A y B. El modelado litoral de las playas y acantilados de la Praia das Catedrais (Ribadeo, Lugo) constituye un atractivo turístico centrado en el paisaje geológico, pero la gran afluencia de personas impacta en el medio y su acceso está restringido en algunas épocas del año (Figura 5.1A). La presa romana de Muel (Zaragoza) fue construida en el siglo I con rocas de una cantera cercana y cambió la dinámica del río Huerva (Figura 5.1B), pero fue abandonada en el siglo III por la colmatación natural con sedimentos del propio río. Esa colmatación preservó la estructura y, tras ella, se desarrolló una fértil vega que sigue cultivándose en la actualidad.



Figura 5.1. A: Praia das Catedrais (Ribadeo, Lugo). B: presa romana de Muel (Zaragoza).

A finales del siglo XX surgió la necesidad de adoptar una visión sistémica para abordar problemas complejos que el método analítico-reduccionista, basado en dividir los problemas en partes simples y abordables, no podía resolver eficazmente. Bertalanffy (1968), el impulsor de la perspectiva sistémica, definió un sistema como un todo organizado donde el todo es más que la suma de sus partes. Planteó que los sistemas no pueden entenderse a partir del análisis aislado de sus partes, sino observando las interacciones y retroalimentaciones que las conectan. Enfatizó que los sistemas son abiertos y cambian a lo largo del tiempo por intercambios de energía, materia e información. Argumentó que el análisis del comportamiento del sistema en su dimensión temporal permite una perspectiva retrospectiva (retrospección) y prospectiva (predicción) y mejora la toma de decisiones.

Esta visión se incorporó también al ámbito de la geología. Un informe de la *American Geophysical Union* (1997) señaló que las ciencias de la Tierra estaban viviendo una revolución basada en la consideración de la Tierra como un sistema, y recomendó integrar este enfoque en la enseñanza. En Educación Primaria, el Real Decreto 157/2022, derivado de la LOMLOE, señala la Competencia Específica 5, que implica “Identificar y analizar las características, la organización y las propiedades de los elementos del medio...”, así como “Establecer conexiones sencillas entre diferentes elementos del medio natural, social y cultural mostrando comprensión de las relaciones que se establecen” (p. 24422). Así, sin hacer explícita la perspectiva sistémica, plantea una aproximación a la misma que luego se aborda más claramente en la ESO (Real Decreto 217/2022). De hecho, la descomposición del sistema Tierra en subsistemas (geosfera, atmósfera, hidrosfera, biosfera y esfera social) y el estudio de sus interacciones, que se trabajan desde los primeros cursos de la ESO, se adscriben a este enfoque.

Pedrinaci (2001) defendía esta perspectiva afirmando que el argumento más sólido para considerar la Tierra como un sistema es la falta de alternativas para abordar problemas complejos como el cambio climático o el fenómeno del Niño. Sin embargo, para los alumnos, y también para las personas adultas, es difícil aplicar la perspectiva sistémica. Por ejemplo, si se pregunta a los alumnos sobre el ciclo del agua, reconocen algunos componentes y procesos, pero no perciben las interacciones con los otros subsistemas de la Tierra, es decir los mecanismos de la circulación sinfín del agua terrestre entre la hidrósfera, la atmósfera, la biosfera y la geosfera. Así, si queremos que los alumnos se aproximen a la comprensión de la Tierra desde la perspectiva sistémica debemos enseñarles cómo hacerlo.

Algunas iniciativas a nivel nacional (Cañal *et al.* 2005; Sanmartí y Pigrau, en web Tenedor de recursos <https://www.tresorderecursos.com>) proponen orientaciones para ayudar a los alumnos a describir e interpretar la gran variedad de fenómenos geológicos que acaban configurando el funcionamiento de la Tierra desde la perspectiva sistémica.

Las siguientes son las características y las preguntas que ayudan a construir la perspectiva sistémica:

- a) Observar y describir los materiales, la estructura y las relaciones de los subsistemas implicados. Se incide en cómo son (materiales, almacenes, estructuras), cómo se comportan. ¿Qué hay? ¿Dónde? ¿Cómo están relacionadas las partes?
- b) Identificar, describir y explicar los cambios que permiten relacionar el estado inicial y final. ¿Qué cambia, en calidad y cantidad? ¿Quiénes son los agentes del cambio? ¿Es repentino o gradual? ¿Cómo se ha formado? ¿Cuáles son los procesos implicados?
- c) Justificar los cambios a partir de las interacciones que se generan y permiten interpretar el comportamiento del sistema y los procesos implicados. Los cambios dan lugar a impactos, lo que permite profundizar en los riesgos, en su prevención y en el uso sostenible de los recursos naturales. ¿Cómo es que ocurre? ¿Qué variables afectan al proceso? ¿Cómo hacer un uso sostenible y seguro del territorio? ¿Y de los recursos?

Algunos ejemplos de experiencias que han utilizado adaptaciones de esta perspectiva al estudio de sistemas geológicos complejos y sostenibilidad se pueden encontrar en: Assaraf y Orion (2005), Brusi (2011), Bach y Márquez (2017), Uskola y Seijas (2021), Domènech *et al.* (2022) o Varela-Losada *et al.* (2025), entre otros.

Esta manera de estudiar los fenómenos geológicos se sitúa en la premisa de que el conocimiento no se puede transmitir sino construir. Las primeras explicaciones del alumnado pueden evolucionar a partir de aplicar la propuesta sistémica en la interpretación del fenómeno. Ésta consiste en describir e identificar el cambio, pensar en las interacciones que lo han hecho, lo hacen o lo harán posible y dar valor a las propiedades y características de los materiales y subsistemas implicados.

Las noticias relacionadas con catástrofes naturales, escasez de recursos (agua, petróleo, minerales, etc.), cambio climático, la desertificación, son frecuentes en los medios de comunicación. Cualquiera de ellas puede iniciar un estudio desde la perspectiva sistémica expuesta y generar una actividad que llevará a la descripción, explicación y justificación del fenómeno. También permitirá conectar conocimientos básicos con dinámicas globales y con marcos éticos como el antropocentrismo y el extractivismo versus la interdependencia y el ecofeminismo (Gil y Vilches, 2006; Herrero, 2013), y así capacitar al alumnado de las distintas etapas educativas para la actuación como ciudadanas y ciudadanos (Domènech-Casal, 2018).

LA PERSPECTIVA DIDÁCTICA

Encontrarse con la “geología” en nuestro entorno es habitual, pero enseñar y aprender algunos aspectos de la geología no es tarea fácil. La tercera idea que proponen Pedrinaci *et al.* (2013) es que “Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua” (p. 120), pero no siempre a la misma escala ni a la misma velocidad. Y esta es una de las principales dificultades que conlleva la

enseñanza y aprendizaje de la geología: las dimensiones espacio-temporales de los procesos geológicos (Cheek *et al.*, 2017).

La dimensión espacial

Si tenemos en cuenta las dimensiones espaciales de los procesos geológicos, estos van desde la escala microscópica a la global, desde fenómenos que ocurren a nivel atómico o cristalino a otros que afectan a toda la Tierra. Esto implica abarcar escenarios que ocupan desde unas micras o milímetros (la estructura interna de los minerales o la textura de las rocas) hasta miles de kilómetros (los movimientos de las placas litosféricas o la estructura interna de la Tierra). Esta situación ha supuesto muchos problemas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la geología. De entrada, a pesar de encontrarnos en nuestro día a día con la geología presente en la superficie terrestre, en algún momento alguien pensó que era una buena idea que las niñas y niños de unos 8-9 años (3º de Educación Primaria) aprendieran antes cómo es el interior de la Tierra (Cortés y Martínez, 2017). Es comprensible suponer que aprender modelos que a la comunidad científica le ha costado siglos construir y que, además, están basados en datos indirectos (meteoritos, rocas magnéticas, ondas sísmicas, etc.) no es sencillo para la gran mayoría del alumnado (y del profesorado). Francek (2013) recoge un buen número trabajos internacionales que identifican ideas alternativas que tienen que ver con las dimensiones de las capas de la Tierra o con el espesor, localización y funcionamiento de las placas tectónicas. Por otro lado, la falta de un acercamiento microscópico no permite entender cómo son las rocas “por dentro”, que muchos de los fósiles que contienen no se ven a simple vista o, simplemente que, en muchas ocasiones, la investigación en geología requiere de esa aproximación técnica al igual que ocurre con la biología (Acero *et al.*, 2013; monográfico de la revista *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 29.2 publicado en 2021).

Pero la problemática derivada de las dimensiones espaciales va más allá. Es frecuente que los modelos geológicos que aparecen en los libros de texto y en los recursos educativos se presenten en dos dimensiones (o añadiendo una falsa tercera dimensión en un bloque-diagrama) y reproduzcan a pequeña escala algo que suele suceder a gran escala. Así, vemos ejemplos de estructuras como pliegues y fallas que parecen estar claros en un modelo bidimensional o en la clásica fotografía de un talud de carretera, pero... ¿cómo continúan esas estructuras en la tercera dimensión?, ¿las estructuras tectónicas, como la falla de la Figura 5.2A, son infinitas o acaban de alguna manera unos metros o kilómetros más allá?, ¿dónde acaban (si lo hacen) o dónde cambian de orientación los estratos que se hunden junto a la carretera en la Figura 5.2B?, ¿cómo estaban dispuestos todos ellos antes de la erosión que generó la superficie actual? Teniendo esto en cuenta, es importante utilizar recursos y buenas preguntas que ayuden a construir modelos cada vez más complejos que permitan ir

más allá de una función meramente descriptiva o ilustrativa de objetos y procesos (Silva y Compiani, 2006). Por poner algunos ejemplos, existen recursos online muy interesantes con propuestas variadas que tratan de dar respuesta a esta problemática (<https://www.nasa.gov/learning-resources/search/>, <https://atlasnacional.ign.es/wane/Geología>, <https://earthquakes.volcanodiscovery.com>, <https://practicageologia.com>, <https://earthlearningidea.com>, entre otros), así como trabajos con actividades que inciden en aspectos concretos que necesitan de una adecuada visualización espacial de los objetos y procesos (Domènech Casal, 2015; Ejarque *et al.*, 2016).

La salida al campo es el escenario donde los estudiantes ven las rocas en su contexto natural y pueden aplicar lo que previamente han aprendido de manera teórica y/o en el laboratorio. Pero entender los paralelismos entre la geología vista en el aula y la que se presenta sobre el terreno no es fácil. Con la experiencia de campo se espera que los alumnos puedan integrar las dos visiones. Son numerosas las innovaciones e investigaciones que buscan facilitar esta conexión entre teoría y práctica (Aguilera, 2018; Brusi *et al.*, 2011, Parrilla *et al.*, 2017; Uskola *et al.*, 2022; Zamalloa *et al.*, 2014). A nivel didáctico, hay un cierto consenso en que la salida debe estructurarse en tres fases: en la primera se hace un trabajo previo en el aula sobre cartografía y orientación, que ayudará al alumnado a situarse; en la segunda fase, de trabajo de campo, el alumnado con las pautas necesarias observa el terreno y representa los datos obtenidos; finalmente, en la tercera fase, en el aula o laboratorio, el alumnado procede a su interpretación.



Figura 5.2. A: falla normal en estratos horizontales del periodo Triásico. B: estratos del periodo Paleógeno fuertemente inclinados.

La dimensión temporal

Hablar del tiempo en geología supone remontarse en muchas ocasiones a cientos o incluso miles de millones de años, y estas dimensiones suponen un reto para la comprensión del tiempo desde la perspectiva humana. Muchas de las dificultades

e ideas alternativas de la ciudadanía tienen que ver con la dimensión temporal de los procesos geológicos, como ya señalaban hace décadas Granda (1988), Pedrinaci (1993), Pedrinaci y Berjillos (1994) o García Cruz (1998). Estas ideas trascienden edades, fronteras y culturas, y algunos autores se han encargado de recopilarlas y ordenarlas (Cheek, 2012; Corrochano y Gómez-Gonçalves, 2020; Dodick y Orion, 2003; Francek, 2013, entre otros). Cabe destacar la dificultad para comprender las edades absolutas y el orden de los eventos, los métodos de datación o la duración de los procesos geológicos (Corrochano *et al.*, 2023). Así, a lo largo de la escolarización se presentan fenómenos que pueden durar millones de años (formación de una cordillera, relleno de una cuenca sedimentaria) con otros mucho más rápidos (erosión, glaciario, dinámica fluvial o litoral, etc.) o incluso casi instantáneos (erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones, deslizamientos de laderas). Todo ello hace que abordar aquellos aspectos clave que tienen relación con las dimensiones temporales de los procesos geológicos necesite especial atención al conocimiento previo del alumnado y a los modelos alternativos sobre el tema.

En los últimos años han aparecido numerosas publicaciones que abordan esta problemática y que tratan de aportar reflexiones, sugerencias y propuestas para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje del tiempo geológico (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Ejemplos de trabajos que se centran en la perspectiva temporal de la geología.

Autores	ENFOQUES
Fernández-Martínez <i>et al.</i> (2016)	Uso de cintas a escala para la ubicación de eventos geológicos.
Marques <i>et al.</i> (2017)	Proyecto sobre elaboración, aplicación y análisis de materiales curriculares para Educación Secundaria.
Vázquez <i>et al.</i> (2018)	Aportaciones sobre datación y geocronología destinadas al bachillerato.
Bjornerud (2019)	El trabajo incide en la consideración del tiempo percibida por los seres humanos frente al marco temporal en el que ha evolucionado la Tierra y la vida sobre ella.
Tunstall <i>et al.</i> (2020)	Propuesta de actividades y recursos para el acercamiento al concepto de tiempo geológico.
García Cruz (2020)	Reflexiones sobre varios conceptos ligados a la idea de tiempo geológico.
Roldán Muñoz (2025)	Reflexiones y propuestas para el aprendizaje del tiempo geológico en Secundaria.
Corrochano (2025)	Uso de analogías para la enseñanza y aprendizaje del tiempo geológico.
https://www.earthlearningidea.com/Indices/contents_Spanish.html	Página web con recursos específicos sobre “El Tiempo Geológico”.

Otras cuestiones “didácticas”

Además de las cuestiones señaladas anteriormente, aunque muchas veces relacionados con las mismas, la investigación en Didáctica de la Geología encuentra dificultades específicas relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de conceptos y modelos concretos en las distintas etapas educativas. En los últimos años, más allá de las recopilaciones de actividades como las que recogen desde hace tiempo plataformas como *earthlearningidea*, se han publicado numerosas propuestas didácticas que en muchos casos incluyen también las dimensiones espaciotemporales o la perspectiva sistémica de los procesos implicados. Entre muchas otras, destacan las siguientes temáticas:

- Los conceptos de mineral y roca, así como los procesos de formación y su uso como recursos naturales en distintos contextos (Cortés, 2016; Gallardo *et al.*, 2025; López y Márquez, 2022; Mateo y Sáez-Bondía, 2022; Mazas *et al.*, 2024;).
- Los conceptos de fósil y fosilización, así como su uso para la datación de las rocas y el conocimiento de la evolución de la vida en la Tierra (Durán y Corbacho, 2022; Ozkaya de Juanas y Barroso-Barcenilla, 2019; Royo *et al.*, 2021).
- Los riesgos geológicos y su relación con los procesos geológicos internos y externos (Calvo y Cortés, 2023; Domènech-Casal, 2019; Guijarro y Robles, 2024; Puig *et al.*, 2015).
- El uso de destrezas argumentativas y la construcción de modelos relacionados con las ciencias de la Tierra (Blanco y Díaz de Bustamante, 2014; Blanco-Anaya *et al.*, 2019; Campina *et al.*, 2025; Domènech-Casal *et al.*, 2022).

LA PERSPECTIVA DE FUTURO

En estos momentos los contenidos de geología se encuentran en el centro de muchas de las principales controversias socio-científicas de la actualidad. Por ejemplo, la crisis ambiental y la emergencia climática, los riesgos geológicos relacionados con procesos internos y externos, la escasez de determinados recursos naturales y los límites de explotación del planeta, la importancia de las tierras raras en el desarrollo tecnológico y su uso geopolítico, etc. Todo ello se puede relacionar de nuevo con la necesidad de una ciudadanía alfabetizada científicamente, que pueda enfrentarse de forma crítica a estas cuestiones y disponga de conocimientos y criterios ante la toma de decisiones. En este contexto, la Didáctica de la Geología no puede permanecer indiferente y se debe poner énfasis en las ideas clave, así como en una adecuada progresión de los contenidos y su enseñanza que vayan desde hechos y fenómenos fácilmente observables (elementos del paisaje, minerales y rocas, fósiles).

les) a fenómenos complejos que requieran una visión sistémica y el uso de marcos teóricos que permitan disponer de modelos explicativos (pruebas y consecuencias del movimiento de las placas tectónicas, datación de rocas y procesos geológicos, procesos internos interpretados a partir de datos indirectos).

Ante la constatación de la importancia de la geología para comprender y afrontar los retos del complejo sistema Tierra, es sorprendente, como se ha comentado en el primer apartado, que los conceptos claves de geología y las prácticas científicas vinculadas a su desarrollo estén cada vez menos presentes en los currículos escolares.

En este sentido, el 18 de noviembre de 2025 una representación de organismos, asociaciones y colegios profesionales de la geología comparecieron frente la Comisión de Educación, Formación Profesional y Deportes del Congreso de Diputados para defender la importancia estratégica de la geología en la sociedad y reclamar su reconocimiento en las políticas científicas y educativas, bajo el lema: “La Geología es importante pongámosla en valor”. <https://www.geo3bcn.csic.es/news-and-media/news/conocer-la-tierra-que-habitamos-por-que-es-importante-poner-en-valor-la-geologia/>

¿Y qué podemos hacer cómo investigadores y docentes implicados en la alfabetización en ciencias de la Tierra para poner en valor la geología? Algunas ideas:

- Aprovechar los temas de interés ciudadano para destacar la importancia de las ideas clave y de las prácticas científicas de la geología. Para ello, es muy interesante la labor de acercamiento a la ciudadanía a través de propuestas como el Geolodía (<https://geolodia.es/>), que promueve la Sociedad Geológica de España, o las actividades de formación y divulgación científica que parten de la red de Geoparques (<https://geoparques.es/>).
- Incorporar experiencias que acerquen al alumnado al trabajo auténtico del geólogo. A través de salidas de campo, recorridos virtuales, trabajos prácticos, análisis de muestras, uso de simulaciones, observación de modelos, construcción de maquetas, participación en congresos, etc. En ese sentido, es destacable el éxito de propuestas como las Olimpiadas de Geología (<https://www.aepect.org/actividades-geologicas/olimpiada-geologia/>) o el Concurso de Cristalización en la Escuela (<https://www.lec.csic.es/concurso/sobre-el-concurso-de-cristalizacion/>), en sus fases territorial, nacional e internacional. También existen recursos no formales que permiten acercar la geología con un lenguaje más sencillo y adaptado a través de páginas web y redes sociales (@noahschtone; @ungeolo-goenapuros; @geologia_avila; @articuloscientificosparatodos; entre otros).
- Fomentar una mirada indagadora a partir de formular preguntas relevantes, que requieren la búsqueda de pruebas que sustenten las respuestas y el desarrollo de explicaciones fundamentadas.
- Promover una mirada crítica. Llevar al aula noticias e informaciones provenientes de la prensa, los medios digitales y las redes sociales que permitan analizar la calidad y veracidad de los datos que recibimos diariamente.

Como cierre de esta síntesis sobre la Didáctica de la Geología, consideramos que lo esencial —y aquello que da sentido a nuestra comunidad y permitirá fortalecerla— es potenciar las redes de colaboración entre docentes, investigadores y divulgadores. Solo mediante un trabajo conjunto es posible consensuar las ideas clave y las prácticas científicas propias de la disciplina, elaborar materiales didácticos atractivos, compartir propuestas de salidas de campo, diseñar actividades realmente significativas e impulsar campañas de actuación ciudadana que trasciendan el aula y alcancen al municipio, e incluso a un público más amplio.

Capítulo 6. Didáctica de la Tecnología y su relación con la Educación Científica

Alfonso Pontes Pedrajas
Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Córdoba
Contacto: apontes@uco.es

INTRODUCCIÓN A LA DIDÁCTICA DE LA TECNOLOGÍA

En este capítulo se pretende mostrar una breve panorámica del estado actual de la Didáctica de la Tecnología en nuestro país, analizando las principales líneas de investigación educativa en esta disciplina y sus relaciones con la educación científica.

Finalidad de la educación tecnológica

Consideramos, como punto de partida, que la educación tecnológica desempeña una misión relevante en el mundo actual porque ayuda a las personas a comprender, utilizar y participar activamente en el desarrollo de tecnologías que afectan a todos los aspectos de la vida moderna, desde la comunicación y el trabajo, hasta la salud, el transporte y el medio ambiente (Aguayo, 2001; Vázquez y Alarcón, 2010). En la Figura 6.1 se muestran, en forma de esquema conceptual, los principales fines de la educación tecnológica.

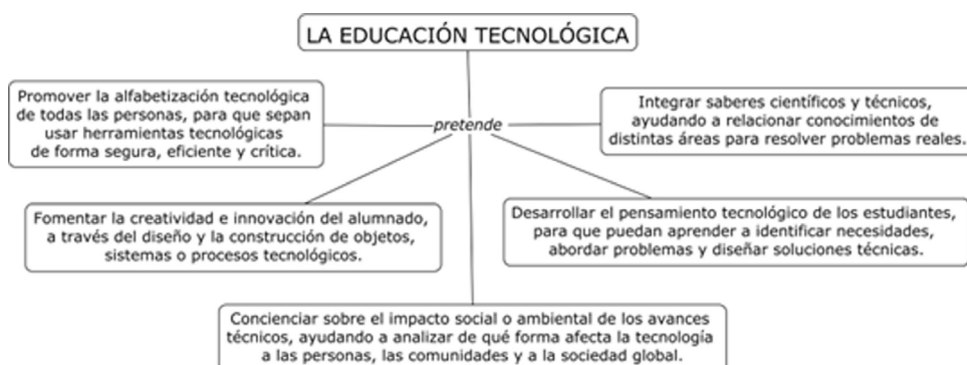


Figura 6.1. Fines generales de la educación tecnológica.

Naturaleza de la Tecnología y su relación con las Ciencias experimentales

La Tecnología se considera como el conjunto de conocimientos, métodos y procesos que se utilizan para crear y utilizar herramientas o dispositivos de todo tipo que permitan resolver problemas, satisfacer necesidades o mejorar la vida de las personas. En general se admite que la Tecnología consiste en la aplicación práctica del conocimiento científico y técnico para lograr objetivos concretos, partiendo de la base de que la ciencia y la tecnología constituyen disciplinas diferentes, pero estrechamente vinculadas entre sí (Gilbert, 1995; Maiztegui *et al.*, 2002). En este trabajo usamos el término ciencia para referirnos principalmente a las ciencias experimentales (como la física, la química, la biología, la geología o la ecología), cuya meta general consiste en tratar de comprender el mundo natural a través de la observación, la experimentación y el razonamiento, para generar conocimiento útil a la sociedad. La tecnología, en cambio, utiliza ese conocimiento para desarrollar soluciones eminentemente prácticas.

Aunque se trata de áreas de conocimiento diferentes, la ciencia y la tecnología presentan unas relaciones estrechas en su desarrollo histórico, que influyen también en el plano educativo (Acevedo *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2012). En primer lugar, la ciencia impulsa la tecnología ya que los descubrimientos científicos permiten el desarrollo de nuevas tecnologías. En segundo lugar, se puede observar que la tecnología apoya el avance de la ciencia, ya que las herramientas tecnológicas permiten a los científicos realizar investigaciones más precisas y complejas. Por último, se aprecia una retroalimentación constante entre ambas áreas porque los avances tecnológicos generan nuevas preguntas científicas, que inducen a realizar más investigación y alcanzar nuevos descubrimientos, tanto en el plano teórico (o científico) como a nivel práctico (o tecnológico).

La construcción del conocimiento, tanto en ciencia como en tecnología, es un proceso dinámico, sistemático y colaborativo que implica diversas fases o etapas en cada caso. Tales áreas del saber presentan diferencias en sus respectivos métodos de construcción del conocimiento, pero comparten ciertas ideas comunes como son la búsqueda de soluciones a problemas y el desarrollo de procesos que conducen a encontrar respuestas a los problemas de partida. Estos procesos deben ser reproducibles y las conclusiones se deben difundir por diversos medios. Sobre el tema de la naturaleza de la ciencia y el método científico existe mucha literatura previa (Acevedo *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2025) y además ocupa un papel importante en el ámbito de la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE), de modo que se aborda con mayor profundidad en otros capítulos de esta obra. Por tanto, en este trabajo nos centraremos en analizar las características del llamado método tecnológico, que se sintetizan en el esquema mostrado en la Figura 6.2 y sus implicaciones didácticas en la enseñanza de la tecnología.

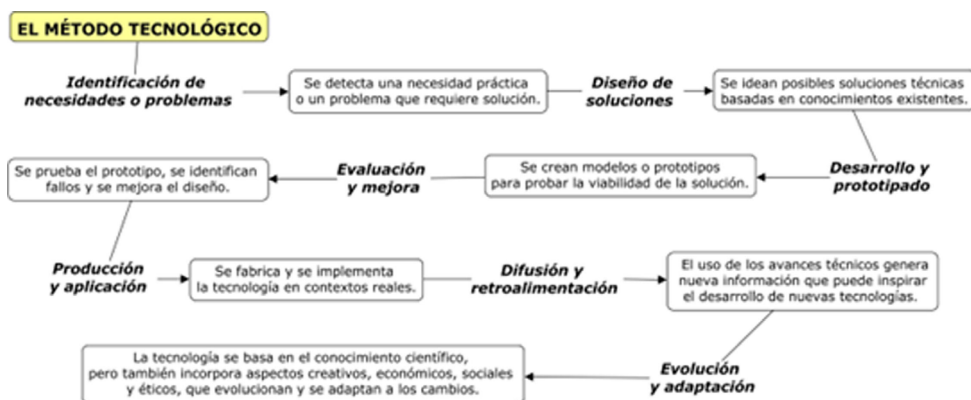


Figura 6.2. Etapas en la construcción del conocimiento tecnológico.

Podemos considerar que el conocimiento científico se construye mediante procesos de investigación destinados a conocer y explicar fenómenos naturales de todo tipo, con vistas a alcanzar la comprensión de cómo funciona el mundo (García-Carmona, 2022). Por su parte, el conocimiento tecnológico se construye mediante el denominado Proceso Tecnológico (también conocido como Método de Proyectos), que puede considerarse como un conjunto de tareas ordenadas destinadas a resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad, creando un producto o un sistema que realiza un servicio (Koen, 2003; Xu *et al.*, 2022). A partir del análisis de diferencias y relaciones entre el conocimiento científico y tecnológico, cabe considerar que la ciencia genera conocimiento aplicable en el ámbito tecnológico y que la tecnología proporciona herramientas útiles para el avance de investigación científica, de modo que ambos procesos se retroalimentan y evolucionan juntos, lo cual tiene implicaciones relevantes en ámbito educativo (Doval, 2004; Gilbert, 1995).

DESARROLLO DE LA DIDÁCTICA DE LA TECNOLOGÍA EN NUESTRO PAÍS

Al margen de las carreras técnicas que se estudian en la universidad (y cuya problemática educativa queda fuera del alcance de este trabajo), en los niveles preuniversitarios la enseñanza de la Tecnología ha evolucionado significativamente en las últimas décadas en nuestro país y se ha ido configurando la Didáctica de la Tecnología como área de conocimiento de carácter específico (Aguayo, 2001; Reyes *et al.*, 2008), en la que investigadores y profesores de materias tecnológicas han ido desarrollando experiencias de innovación educativa y trabajos de investigación, de interés creciente (Cervera, 2011).

En relación con el desarrollo de la educación tecnológica, en toda la enseñanza obligatoria, se observa un crecimiento sostenido de los contenidos educativos sobre

tecnología, desde hace varias décadas, en paralelo con los cambios legislativos que han afectado al sistema educativo español en su conjunto. Hasta los años ochenta del siglo pasado la tecnología no tenía un papel importante en la enseñanza obligatoria, aunque se impartían contenidos técnicos en diversas áreas de la Formación Profesional (FP). Pero a partir de la aplicación de la Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE, aprobada en 1990) se produce un impulso relevante de la educación tecnológica, respecto a la etapa anterior, al introducir el estudio obligatorio de la Tecnología en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), se ofertaron materias optativas de tipo técnico en bachillerato y se fomentaron nuevas metodologías, basadas en el enfoque práctico y el trabajo basado en proyectos (CECJA, 2007).

En leyes educativas generales posteriores (como la LOE o la LOMCE) se realizaron cambios que no afectaron de forma relevante a la enseñanza de la Tecnología en Educación Secundaria, pero fue cobrando importancia el desarrollo de competencias básicas, incluyendo la competencia digital y se fueron introduciendo nuevos contenidos sobre programación y robótica en el currículum educativo. Finalmente, la Ley Orgánica de Modificación de la LOE (LOMLOE, aprobada en 2020) reforzó la presencia de la tecnología en el currículo, tratando de promover la alfabetización digital, el pensamiento computacional y el uso ético de la tecnología. Durante este periodo, se puede apreciar una evolución general en la Didáctica de la Tecnología, que ha pasado de una visión centrada en herramientas y procesos técnicos a una concepción más amplia de la educación tecnológica, donde se incluyen aspectos como sostenibilidad, programación, robótica, inteligencia artificial y alfabetización digital de la ciudadanía.

En nuestro país, desde el punto de vista de la investigación en Didáctica de la Tecnología, se pueden distinguir dos periodos diferenciados. Una primera etapa comienza a mediados de los años noventa del siglo pasado, cuando se introducen asignaturas sobre contenidos tecnológicos en la educación secundaria de la mayoría de los países y comienzan a publicarse trabajos de innovación e investigación sobre educación tecnológica (Gilbert, 1995; Maiztegui *et al.*, 2002). Una segunda etapa se desarrolla en España, a partir de la segunda década de este siglo, cuando la formación inicial del profesorado de tecnología se desarrolla como área específica dentro del Máster de Profesorado de Enseñanza Secundaria (MAES) a partir del año 2009 (Cervera, 2011; Ferreira *et al.*, 2012).

En la primera etapa se aprecia una escasez de revistas específicas sobre el tema en nuestro país, de modo que en primer lugar se debe considerar la influencia externa ejercida por las publicaciones realizadas en otros países, a través de revistas internacionales del campo de la educación tecnológica y del ámbito interdisciplinar (STEM y CTS), como las que se muestran en la zona izquierda de la Figura 6.3. Por otro lado, también se aprecia una influencia importante, procedente de otras áreas de conocimientos más consolidadas, como la Didáctica de las Ciencias Experimentales, ya que muchas investigaciones sobre Didáctica de la Tecnología se

han publicado en revistas del ámbito de la educación científica, también reflejadas en el cuadro superior derecho de la citada Figura 6.3.



Figura 6.3. Revistas que han publicado trabajos de interés en Didáctica de la Tecnología.

En una fase posterior, a partir de la segunda década de este siglo, se puede apreciar un avance notable de la Didáctica de la Tecnología en nuestro país, sobre todo al contar con un profesorado de secundaria que ha adquirido una formación didáctica más específica a través del MAES. En esta fase se observa un crecimiento importante de publicaciones sobre innovación docente y se desarrollan las primeras tesis doctorales sobre educación tecnológica. También ha aumentado bastante los trabajos de investigación, sobre temas específicos de esta área como el aprendizaje basado en proyectos, sobre temas más globales como las relaciones CTS, el enfoque STEM, la influencia de las TIC en la enseñanza de la tecnología o la formación inicial y permanente del profesorado de esta especialidad, en revistas del ámbito científico-técnico o del ámbito de la educación mediática (Aguilera y Perales, 2022; Gill, 2025; Simarro y Couso, 2022).

CONTENIDOS DE LA EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

En la enseñanza de la Tecnología que se realiza actualmente en España (regulada desde 2020 por la LOMLOE), se desarrollan contenidos orientados a favorecer el interés del alumnado por comprender los objetos tecnológicos que forman parte de la realidad cotidiana. Pero en cada etapa educativa las metas formativas, las competencias y los contenidos de la educación tecnológica se adaptan a la edad y características del alumnado, centrándose en cada caso en algunos aspectos más concretos. Sin entrar en el ámbito de la educación tecnológica universitaria (que queda fuera del alcance de este trabajo), se comentan

a continuación los contenidos curriculares más relevantes de la tecnología en diversas etapas educativas.

En los niveles formativos de Educación Infantil y Primaria no se imparten contenidos específicos de tecnología, aunque los docentes de la etapa infantil pueden introducir actividades orientadas a fomentar la alfabetización digital básica, mediante juegos con dispositivos digitales. Por otra parte, en la etapa de Educación Primaria muchos docentes comienzan a usar plataformas educativas y herramientas interactivas (como Webquest y Kahoot) para desarrollar actividades aula. También pueden fomentar en el alumnado del ciclo superior la introducción a la programación básica, el desarrollo temprano del pensamiento computacional y la introducción básica del enfoque STEM, ya que en esta etapa la educación tecnológica no se centra en una asignatura concreta, sino que se aplica de forma integrada en todas las áreas (matemáticas, ciencias, dibujo, lengua, etc.).

La educación tecnológica se introduce formalmente en España, en la Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO), a partir de las leyes educativas desarrolladas desde los años noventa del siglo pasado, mediante la asignatura inicial de Tecnología y posteriormente con la materia de Tecnología y Digitalización, intentando que todo el alumnado desarrolle el pensamiento computacional y la capacidad de resolución de problemas mediante el trabajo en proyectos. También se pretende fomentar la creatividad, el trabajo colaborativo, la conciencia medioambiental y la ética responsable en el uso de las TIC. Los contenidos que se abordan en esta etapa están relacionados con el conocimiento de los procesos tecnológicos, los materiales y las estructuras, la electricidad y electrónica de nivel básico, el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la introducción a la programación, la robótica y la domótica con aplicaciones como Scratch o Arduino) para desarrollar el pensamiento computacional. También se estudian los temas del impacto social y ambiental de la tecnología, abordando aspectos como la relación entre tecnología y sostenibilidad, la ética digital, la inclusión social y la accesibilidad tecnológica para todos los ciudadanos (CECJA, 2007; Cervera, 2011).

Los contenidos de la educación tecnológica en Bachillerato se desarrollan principalmente mediante las asignaturas de carácter obligatorio denominadas Tecnología e Ingeniería I y II, que se imparten respectivamente en los cursos 1º y 2º del Bachillerato de Ciencia y Tecnología (BCT). En la materia del 1º curso se profundiza en el estudio de los temas estudiados en la ESO, que se han citado anteriormente, avanzando en el análisis de sistemas de control, en temas de automatización o en programación y robótica, comenzando a desarrollar proyectos interdisciplinarios de conexión con otras materias del área STEM. En la materia de 2º curso (BCT), se aborda el diseño y fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM), se profundiza en el estudio de sistemas electrónicos avanzados y en las aplicaciones de la robótica y domótica, iniciando el estudio de las energías renovables y la eficiencia energética. También se trata el tema de la gestión de proyectos

tecnológicos, junto con la innovación y el emprendimiento tecnológico. Además de las citadas asignaturas obligatorias del BCT, también se pueden impartir las materias optativas de Informática (I y II) y Digitalización (Recursos TIC), dependiendo de cada Comunidad Autónoma y de cada centro. La finalidad principal de tales materias es preparar al alumnado de bachillerato para carreras universitarias del ámbito STEM y para ciclos formativos de grado superior, con un nivel de profundidad teórico y práctico mucho mayor que en la ESO, profundizando al mismo tiempo en el desarrollo de los fines educativos generales de la educación tecnológica (Cervera, 2011).

Finalmente, es necesario comentar brevemente la relación de la educación tecnológica con la Formación Profesional (FP), ya que en nuestro país se imparten numerosos ciclos formativos, de grado medio y superior, que incluyen importantes contenidos de tecnología (Reyes *et al.*, 2008). En tales ciclos se proporciona formación, eminentemente práctica, sobre temas de mecánica y automoción, fabricación mecánica, construcción, generación y transporte de energía, fuentes de energía renovable, redes de transporte y gestión del agua, electricidad y electrónica, automática y robótica, comunicaciones, videojuegos y aplicaciones multimedia, inteligencia artificial, diseño industrial y comercio electrónico, entre otros muchos temas relacionados con la formación tecnológica. En la actualidad se están publicando trabajos sobre innovaciones educativas e investigaciones docentes relacionadas con la formación profesional tecnológica, pero no podemos analizar con detalle esta compleja y variada temática, por limitaciones de espacio.

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA, RECURSOS EDUCATIVOS Y LÍNEAS DE TRABAJO EN DIDÁCTICA DE LA TECNOLOGÍA

En la educación tecnológica moderna se promueven métodos de enseñanza innovadores, activos y centrados en el alumnado, que tratan de preparar a los estudiantes para los retos de la sociedad actual, fomentando el desarrollo de variadas competencias técnicas que son necesarias para la formación integral de los estudiantes (competencia digital, creatividad, pensamiento crítico y participación ciudadana) y tratar de prepararlos también para la vida real y el mundo laboral (emprendimiento e innovación tecnológica). La metodología de enseñanza es una componente fundamental del currículo educativo, que está muy relacionada con las estrategias docentes y los recursos didácticos que utiliza el profesorado para planificar y llevar a cabo los procesos de enseñanza y aprendizaje. En el caso de la Didáctica de la Tecnología, las estrategias y recursos que se pueden utilizar para implementar métodos innovadores han dado lugar a una amplia gama de líneas de trabajo, que pueden agruparse en las tres categorías que se comentan a continuación.

Métodos de enseñanza específicos de la educación tecnológica

Los métodos de enseñanza más utilizados en tecnología se centran en el aprendizaje activo y la aplicación práctica para desarrollar habilidades de resolución de problemas, creatividad e innovación. Por ello, en la educación tecnológica se han generado dos líneas de trabajo interesantes, relacionadas con el método de construcción de proyectos técnicos (más conocido como método de aprendizaje basado en proyectos) y el método de análisis de objetos tecnológicos. El primer método ha tenido bastante influencia en otras áreas de enseñanza, mientras que el segundo ha quedado más restringido al ámbito específico de la Didáctica de la Tecnología (Reyes *et al.*, 2008). Se comentan a continuación las características principales de tales propuestas metodológicas.

Aprendizaje Basado en Proyectos

El método de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) para la educación tecnológica tiene un fundamento teórico próximo al modelo de aprendizaje basado en retos, que se aplica de forma genérica en otras áreas educativas y al modelo de aprendizaje por investigación o basado en problemas, que se aplica principalmente en la enseñanza de las ciencias experimentales y en ciencias de la salud (Domènech, 2019; Megawati, 2024). Estos enfoques educativos comparten un fundamento común, basado en la posibilidad de que los alumnos desarrollen en el aula procesos de aprendizaje activo, imitando a pequeña escala los procesos que realizan los ingenieros, arquitectos, científicos o médicos, al realizar tareas de investigación, resolución de problemas y descubrimiento.

En el ámbito específico de la educación tecnológica, el aprendizaje basado en el diseño y construcción de proyectos técnicos se centra en la idea de proponer a los estudiantes que construyan proyectos orientados a resolver problemas concretos, siguiendo el llamado método tecnológico (CECJA, 2007; Reyes *et al.*, 2008). El punto de partida del modelo ABP consiste en enfrentar a los estudiantes con un problema o necesidad real que debe resolver (trabajando en equipo) diseñando, planificando, construyendo y evaluando un producto o sistema tecnológico, siguiendo el llamado método de construcción del conocimiento tecnológico, que se ha comentado anteriormente (Vázquez y Alarcón, 2010). En la Tabla 6.1 se resumen las fases que integran el desarrollo del modelo ABP y las implicaciones didácticas para el profesorado, ya que al poner en práctica este modelo en la clase de tecnología es necesario que la programación de aula contemple diversas acciones recogidas en la segunda columna de dicha tabla.

Tabla 6.1. Características del modelo de aprendizaje basado en proyectos.

FASES DE IMPLEMENTACIÓN	IMPLICACIONES EDUCATIVAS
1) Identificación del problema o necesidad;	- Explorar las concepciones previas de los estudiantes sobre el tema e identificar los conocimientos científico-técnicos que deberían poseer para su realización. - Establecer un plan de aprendizaje para adquirir esos conocimientos, - Recabar los recursos necesarios y desarrollar los procesos adecuados para llevar a cabo el proyecto. - Evaluar el trabajo realizado en equipo y sacar conclusiones sobre lo que se ha aprendido
2) Diseño inicial basado en la búsqueda de información, generación de ideas y propuesta de solución;	
3) Planificación del proyecto, que requiere tomar decisiones sobre materiales, herramientas, presupuesto y pasos de construcción;	
4) Construcción e implementación del prototipo;	
5) Verificación y evaluación del producto, junto a la elaboración de propuesta de mejora.	

La principal misión del profesorado que aplica este método consiste en buscar buenos proyectos, que faciliten a los estudiantes la adquisición de conocimientos y habilidades adecuados, ayudándoles en el desarrollo y seguimiento del plan de aprendizaje. Para ello, conviene diseñar una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA), formada por tareas que orienten el trabajo del alumnado durante su desarrollo (Domènech, 2019). En la medida en que los alumnos elaboran sus proyectos (en el aula o en el taller) ponen en juego sus ideas y sus conocimientos, trabajan en equipo, desarrollan procedimientos y destrezas (de carácter intelectual y manual), resuelven problemas y, en definitiva, construyen conocimientos científico-técnicos de forma activa (Doval, 2004).

Una de las principales ventajas educativas del modelo ABP es que, además de aprender tecnología, fomenta la creatividad, el trabajo en equipo y la gestión del tiempo, contribuyendo también a integrar conocimientos de diversas áreas (matemáticas, física, informática, dibujo técnico, ...). Por tales motivos, esta metodología de trabajo también se ha llevado a la práctica en Didáctica de las Ciencias Experimentales y en otras áreas educativas (Megawati, 2024). Por último, conviene indicar que este método de enseñanza y aprendizaje puede ser compatible con otras líneas de trabajo en educación científico-técnica, que se comentan en otros apartados de este capítulo.

Análisis de Objetos Tecnológicos

El Análisis de Objetos Tecnológicos (AOT) constituye una estrategia docente específica del ámbito de la educación tecnológica, basada en el estudio detallado

de un objeto o de un sistema tecnológico disponible en el aula, como vía preferente para comprender su estructura o diseño, su funcionamiento, los materiales o las partes que lo integran y la necesidad que satisface. La finalidad principal de este enfoque metodológico no es solo conocer el objeto, sino utilizarlo como punto de partida para el aprendizaje de conceptos y procedimientos de diversos temas de tecnología (Aguayo, 2001; Reyes *et al.*, 2008). Este método se desarrolla generalmente en torno a cuatro tipos de análisis interrelacionados mutuamente: global, morfológico, funcional y técnico-económico. En la Tabla 6.2 se resumen las características de tales tipos de análisis.

Tabla 6.2. Características del método de análisis de objetos tecnológicos.

ANÁLISIS	FINALIDAD EDUCATIVA
Global	Orientado a conocer la función global o la utilidad del objeto (qué es y para qué sirve), explorando también el contexto en el que se utiliza normalmente (dónde y cómo se usa).
Morfológico	Destinado a conocer la forma y estructura del objeto. Ello requiere hacer una descripción física del mismo (tamaño, forma, peso, color, etc.), identificar las diversas partes o componentes (las piezas que lo integran y saber cómo se ensamblan) y realizar una representación gráfica del objeto o de sus partes (mediante croquis, bocetos, planos acotados o vistas).
Funcional	Orientado a conocer cómo funciona el objeto. Es necesario desmontar el sistema para entender bien su mecanismo, tratando de indagar en el principio de funcionamiento (leyes físicas o mecanismos que utiliza para cumplir su función) y de comprender la acción de las diversas partes (como palancas, circuitos, engranajes, etc.).
Técnico-económico	Destinado a conocer los materiales, procesos y costes de fabricación del objeto o del sistema técnico, incluyendo el impacto ambiental (evaluación de su ciclo de vida y sostenibilidad).

El método de análisis de objetos se puede implementar en la educación tecnológica mediante un conjunto de actividades de aula y orientadas a conseguir que los alumnos vayan avanzando en el conocimiento del objeto de forma gradual. Tales tareas deben poner en práctica un proceso de reflexión donde el estudiante adquiere primero una visión global de lo que quiere analizar. Después estudia cada pieza por separado, estableciendo la relación entre las partes, para examinar finalmente los márgenes de funcionamiento de cada componente y de todo el conjunto. Este proceso debe hacerse de tal forma que se vaya centrando la atención del alumno sucesivamente en un aspecto diferente del objeto, siguiendo un orden lógico y coherente que permita obtener la información que se pretende descubrir en él. Durante el proceso de análisis el profesor puede ir introduciendo diversos conceptos teóricos, o bien informaciones de tipo práctico, que resulten necesarias para orientar el trabajo de los alumnos (De Vincenzi, 2009).

La principal ventaja educativa de este método consiste en actuar como puente entre la teoría y la práctica, permitiendo integrar conocimientos procedentes de diversas materias como física, dibujo técnico, informática o economía. También ayuda a preparar el diseño de futuros proyectos y a comprender cómo funciona un objeto existente, lo cual sería la condición previa para poder mejorarlo o diseñar uno nuevo. Así mismo, contribuye a fomentar el pensamiento crítico, ya que los estudiantes deben justificar las decisiones de diseño y fabricación tomadas por los creadores del objeto (Cervera, 2011).

Líneas de trabajo relacionadas con la Didáctica de las Ciencias Experimentales

Algunas de las principales líneas de trabajo actuales en Didáctica de la Tecnología tienen una relación interdisciplinar importante con otras áreas y materias afines, como las ciencias experimentales, las matemáticas o el diseño artístico, de modo que se aprecian influencias mutuas en la innovación educativa que se desarrolla en las citadas áreas, entre las cuales destacan los enfoques metodológicos que se comentan a continuación.

Relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y medio Ambiente (CTSA)

El enfoque educativo CTSA (Relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y medio Ambiente) se basa en la idea de que la ciencia y la tecnología son construcciones humanas que influyen y son influenciadas por el contexto social, político, económico y ambiental. No se trata de un método educativo concreto, sino más bien una perspectiva pedagógica orientada a integrar el conocimiento científico y tecnológico con su contexto social y ambiental, promoviendo una educación crítica, reflexiva y comprometida con los problemas reales del mundo (García-Carmona, 2022). En esta perspectiva, la meta principal es formar a ciudadanos críticos y responsables que puedan participar en la toma de decisiones adecuadas sobre cuestiones tecnocientíficas de interés general. La esencia de este enfoque es la conexión interna entre ciencia y tecnología, al considerar que los conocimientos desarrollados en tales áreas no son neutros, sino que están muy influenciados por las necesidades sociales y los problemas más acuciantes, como pueden ser el cambio climático y el impacto social de la inteligencia artificial o la biotecnología.

El enfoque educativo CTSA comenzó a desarrollarse en nuestro país, desde hace varias décadas, en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales (Gilbert, 1995; Solbes y Vilches, 2004), pero también ha tenido una influencia posterior notable en la Didáctica de la Tecnología (Ferreira *et al.*, 2012). Las principales aplicaciones de este enfoque en la educación tecnológica actual son las siguientes: (1) El diseño de proyectos educativos con impacto social y ambiental, como pue-

de ser crear un sistema de energía solar para una comunidad rural, analizando el problema desde la perspectiva técnica, social, económica y ecológica; (2) El análisis crítico de objetos, sistemas y procesos tecnológicos, en el que se pueden estudiar productos tecnológicos considerando su ciclo de vida, sostenibilidad, accesibilidad y aspectos éticos; (3) Formación en valores y tratamiento didáctico de temas transversales como la educación para la sostenibilidad, en la que se promueve el diseño de soluciones tecnológicas que favorezcan el avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La aplicación del enfoque CTSA en la educación tecnológica puede hacerse utilizando estrategias didácticas propias de la Didáctica de la Tecnología, como el aprendizaje basado en proyectos o el análisis de objetos tecnológicos, que se han comentado anteriormente. Por otra parte, este enfoque mantiene también importantes conexiones con otras líneas de trabajo surgidas en el ámbito de la educación científica, como pueden ser el problema de las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y los estudios sobre educación ambiental para la sostenibilidad. Ambas líneas de trabajo están, a su vez, muy relacionadas con el tema de la enseñanza contextualizada y las controversias socio-científicas (Domènech, 2019; Reverté *et al.*, 2023).

Entre las principales ventajas que aporta el enfoque CTSA a la educación tecnología actual, se encuentran las siguientes: a) Ayudar a desarrollar competencias clave como el pensamiento crítico, la competencia digital, la conciencia ambiental y la participación ciudadana; b) Mejorar la motivación del alumnado al conectar el aprendizaje con su vida real; c) Fomentar una educación inclusiva y transformadora, orientada al cambio social.

El enfoque interdisciplinar STEM (o STEAM)

El enfoque STEM en la educación científico-técnica (cuyo nombre surge como acrónimo de las siguientes palabras inglesas: *Science, Technology, Engineering y Mathematics*) intenta desarrollar habilidades y conocimientos, de forma integrada en estas áreas, con el fin de preparar a los estudiantes para el mundo laboral y las demandas de una sociedad cada vez más tecnológica y basada en la ciencia. A través de proyectos y actividades prácticas, los estudiantes pueden aplicar lo que han aprendido en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas a situaciones reales. Este enfoque promueve una educación interdisciplinar y práctica, fomentando la resolución de problemas y la creatividad en los estudiantes (López-Simó *et al.*, 2022). También se pretende inspirar a los estudiantes a seguir carreras científico-técnicas, ya que se espera que haya una demanda creciente en el futuro para trabajos relacionados con el área STEM. Este enfoque comenzó a desarrollarse, hace varias décadas en los países anglosajones, cobrando relevancia a nivel mundial durante las primeras décadas de este siglo. Posteriormente esta línea de trabajo se

ha ampliado tras incluir temas relacionados con la enseñanza de las Artes (principalmente el diseño y el dibujo técnico), de modo que en la actualidad se puede hablar del enfoque integrado STEAM (García-Fuentes *et al.*, 2023).

Desde el punto de vista metodológico, la implementación educativa del enfoque STEAM consiste principalmente en abordar retos de interés práctico que requieren el uso de conocimientos de varias áreas al mismo tiempo, tratando de romper las barreras entre diferentes asignaturas. En esta perspectiva interdisciplinar los estudiantes pueden aprender de qué forma se relacionan algunas de las áreas de conocimiento citadas y cómo se aplican en diferentes contextos. Por ejemplo, el alumnado puede explorar cómo las matemáticas son utilizadas en la ciencia de datos, o cómo la ciencia y la ingeniería pueden ser utilizadas para resolver problemas del mundo real. De esta forma se pueden desarrollar habilidades requeridas en la sociedad actual, tales como el pensamiento computacional y la alfabetización tecnológica. También se puede fomentar el pensamiento crítico en la resolución de problemas prácticos, favorecer la creatividad mediante la innovación y mejorar la capacidad de colaboración, trabajando en equipo.

Entre las aplicaciones prácticas del enfoque STEAM en la educación tecnológica se pueden citar ejemplos del tipo siguiente: 1) Diseño de proyectos interdisciplinarios, como crear una maqueta de ciudad inteligente que combine programación, diseño gráfico, sostenibilidad y matemáticas; 2) Aplicación de la robótica educativa en proyectos que permitan manejar conocimientos de programación, electrónica, diseño y resolución de problemas; 3) Uso de metodologías activas, tales como el Aprendizaje mediante Proyectos y Aprendizaje por Indagación; 4) Fomento de vocaciones científicas y tecnológicas, mediante el desarrollo de actividades que despiertan el interés por las carreras universitarias del ámbito STEAM; 5) Conexión de la enseñanza con problemas de la vida real, como puede el diseño de soluciones tecnológicas para el cambio climático, la movilidad urbana o la eficiencia energética.

Trabajos prácticos en el aula taller y desarrollo de competencias científico-técnicas

En la enseñanza de la ciencia y la tecnología se desarrollan una serie de competencias clave que preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo actual. Algunas de estas competencias son específicas de la educación tecnológica, otras son compartidas con la educación científica y, por último, también hay competencias transversales compartidas con otras materias (Cervera, 2011; Guzman y Nussbaum, 2009).

Entre las competencias específicas de la educación tecnológica se encuentran, en primer lugar, las competencias técnicas y digitales fundamentales como el manejo de herramientas tecnológicas (software, hardware, plataformas digitales y dispositivos electrónicos, ...), la programación y el desarrollo del pensamiento computacional

(lógica, algoritmos, codificación básica) y el diseño o la producción tecnológica (creación de prototipos, uso de impresoras 3D, robótica, electrónica básica, ...). En segundo lugar, hay que citar las competencias de gestión y emprendimiento, que se desarrollan en las etapas superiores de la educación secundaria, tales como la planificación de proyectos tecnológicos (gestión de recursos, tiempos y objetivos) o el emprendimiento tecnológico (desarrollo de ideas de negocio basadas en tecnología).

Por otra parte existen competencias compartidas entre la educación científica y la educación tecnológica, que incluyen habilidades de carácter cognitivo y procedimental, como la capacidad de indagación y de modelización, la resolución de problemas (análisis de situaciones, identificación de necesidades, diseño de soluciones tecnológicas), el desarrollo del pensamiento crítico (evaluación de tecnologías, impacto social y ético de los avances de la ciencia y la tecnología) y el fomento de la creatividad o de la innovación (generación de ideas nuevas, mejora de procesos y productos).

Así mismo existen competencias transversales, que son compartidas entre la educación tecnológica y otras muchas materias, como son las habilidades colaborativas y comunicativas que se desarrollan mediante el trabajo en equipo (colaboración en proyectos tecnológicos, roles compartidos, ...) y la comunicación efectiva (presentación de ideas e informes técnicos y el uso de lenguaje técnico adecuado). Por otra parte, la educación tecnológica puede ayudar al desarrollo de competencias éticas y ciudadanas tales como el uso responsable de la tecnología (conciencia sobre la privacidad, seguridad digital y sostenibilidad) o la comprensión del impacto social de los avances científico-técnicos (análisis de cómo la ciencia y la tecnología afectan a la sociedad, al medio ambiente, a la economía y a las relaciones humanas).

En el desarrollo de competencias científico-técnicas desempeñan un papel importante los trabajos prácticos, porque van más allá de la mera teoría permitiendo a los estudiantes experimentar, aplicar y consolidar sus conocimientos, desarrollando al mismo tiempo valiosas destrezas de carácter procedimental (Vázquez y Alarcón, 2010). En la enseñanza de las ciencias experimentales los trabajos prácticos se desarrollan normalmente en el laboratorio escolar y en la enseñanza de la tecnología se realizan principalmente en el aula-taller, aunque en ambos casos también se pueden realizar actividades prácticas con herramientas TIC en un aula de informática.

En la educación tecnológica el aula-taller desempeña una misión fundamental, por ser el espacio donde se realizan actividades prácticas de todo tipo (aprendizaje por proyectos, análisis de objetos técnicos, tareas de medición y manejo de instrumentación, etc.), se fomenta el trabajo en equipo y se desarrollan habilidades de tipo práctico (Doval, 2004; Cervera, 2011). Entre las funciones educativas que desempeña el aula-taller en tecnología hay que indicar, en primer lugar, se trata de un espacio para el aprendizaje activo donde el alumnado salta de la teoría a la práctica mediante actividades como la construcción de prototipos, la manipulación de herramientas y materiales, o la resolución de problemas técnicos reales. En este espacio se favorece el aprendizaje colaborativo, mediante el trabajo en equipo, la

distribución de roles y la comunicación efectiva. También se aprende a usar herramientas analógicas y digitales necesarias para medir todo tipo de variables, ya que el aula-taller está equipada con recursos que permiten adquirir conocimientos prácticos de diferentes áreas (electricidad, mecánica, robótica, ...).

Otros beneficios educativos que aporta el aula-taller de tecnología se relacionan con la posibilidad de estimular la creatividad y la innovación cuando los estudiantes disponen de libertad para experimentar e indagar, tratando de buscar soluciones originales a los problemas que plantea el profesorado, mejorando los productos existentes y desarrollando proyectos que puedan tener impacto social o ambiental. Por último, este espacio educativo permite desarrollar una evaluación más completa del aprendizaje ya que el profesorado puede observar el proceso, no solo el resultado, o se pueden valorar habilidades prácticas y actitudes del alumnado (De Vicenzi, 2009; Reyes *et al.*, 2008).

Líneas de trabajo ligadas al uso educativo de herramientas TIC

En el panorama actual de la Didáctica de la Tecnología actual se promueven métodos de enseñanza innovadores y activos, que tratan de fomentar el desarrollo de habilidades importantes para la vida moderna, como son la competencia digital o la innovación tecnológica, que tienen gran relación con el uso docente de las Tecnologías de Información y la Comunicación (TIC) en la educación científico-técnica (Pontes, 2005). Sobre esta temática se han realizado muchas experiencias educativas y trabajos de investigación mostrando las diversas funciones que pueden desempeñar las TIC en la enseñanza de la tecnología, entre las que cabe destacar la gran capacidad de almacenamiento y de acceso a todo tipo de información de gran calidad visual, la posibilidad de simular fenómenos naturales difíciles de observar en la realidad o la facilidad para representar modelos de sistemas inaccesibles al alumno (Gumbo *et al.*, 2012). También se puede llevar a cabo un proceso de aprendizaje reflexivo de cualquier tema, acompañado de una enseñanza tutorizada y una evaluación individualizada. Así mismo, se ha demostrado que el uso educativo de las TIC favorece la interactividad del alumnado y el trabajo en equipo (Silva *et al.*, 2022).

La aplicación de las TIC en la enseñanza de la tecnología es un tema muy amplio, debido al elevado número de recursos y de estrategias que se utilizan en la actualidad, de modo que en torno a este tema se han desarrollado numerosas líneas de trabajo. Por limitaciones de espacio no es posible realizar en este trabajo un análisis detallado de una temática tan extensa, de modo que se ofrece aquí una visión global esquemática del tema, dejando para un trabajo posterior más específico el tratamiento de este asunto con la extensión y profundidad que se merece. En la Tabla 6.3 se muestra un resumen de las diversas líneas de trabajo relacionadas con el uso de las TIC en la educación tecnológica.

En relación con las líneas de trabajo relacionadas con las aplicaciones de las TIC en Didáctica de la Tecnología, que se han sintetizado en la Tabla 6.3, conviene comentar brevemente la diferencia entre recursos y estrategias docentes (Pontes, 2019). Por una parte, los recursos se refieren al variado y amplio conjunto de herramientas TIC que pueden utilizarse en la educación tecnológica, pudiendo distinguir entre *recursos de carácter general* como plataformas de enseñanza virtual o pizarras digitales, *recursos básicos de la educación científico-técnica* como simulaciones o sistemas de adquisición de datos y *recursos específicos de la educación tecnológica* como herramientas de diseño CAD o aplicaciones domóticas. Por otra parte, las *estrategias docentes* basadas en las TIC se refieren a las formas de enseñar de tecnología (y otras materias) que utiliza el profesorado y que pueden combinar diversas herramientas digitales, como ocurre en los procesos de Aprendizaje Combinado o en el modelo didáctico del Aula Invertida.

Tabla 6.3. Líneas de trabajo sobre aplicaciones de las TIC en la Educación tecnológica.

Recursos y estrategias	Ejemplos de aplicaciones
Recursos TIC de carácter general	Plataformas de Enseñanza Virtual y de Gestión Educativa
	Recursos de Documentación y Comunicación
	Dispositivos móviles en el aula
	Pizarras Digitales Interactivas
Recursos TIC aplicables en la educación científico-técnica	Inteligencia Artificial en Educación
	Simulaciones interactivas y Laboratorios virtuales
	Sistema de adquisición y análisis de datos experimentales
	Realidad Virtual y Realidad Aumentada
	Programación computacional y Robótica Educativa
Recursos TIC específicos de la educación tecnológica	Impresoras en tres dimensiones (3D)
	Aplicaciones informáticas para el desarrollo de proyectos técnicos
	Herramientas de diseño CAD
	Aplicaciones domóticas e internet de las cosas
Estrategias docentes basadas en uso combinado de herramientas TIC	Aprendizaje combinado (o Blended Learning)
	Aula Invertida (o Flipped Classroom)
	Juegos en el aula (o Gamificación)
	Aprendizaje y evaluación con recursos móviles

Por último, hay que indicar que uso de las TIC en la educación tecnológica es compatible con la utilización de otros enfoques metodológicos para la enseñanza de la tecnología que se han comentado anteriormente como puede ser el apren-

dizaje basado en proyectos, el aprendizaje por indagación, las relaciones CTSA o enfoque STEAM.

CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se ha mostrado una visión panorámica de la Didáctica de la Tecnología, comenzando por analizar la naturaleza de esta disciplina y su relación con el proceso de construcción del conocimiento tecnológico, que sirve de base para establecer el fundamento didáctico de los principales métodos educativos utilizados en esta materia. Después se ha realizado un breve recorrido por su desarrollo histórico en nuestro país, comentando también los contenidos de la educación tecnológica en el currículo actual de la enseñanza no universitaria y dedicando especial atención al desarrollo de esta disciplina en educación secundaria obligatoria.

La mayor parte del capítulo se ha centrado en revisar las principales líneas de trabajo sobre innovación e investigación en educación tecnológica, comenzando por analizar los métodos de enseñanza y aprendizaje específicos de Tecnología como son el método de Aprendizaje Basado en Proyectos y el método de Análisis de Objetos Técnicos, que se fundamentan en el proceso histórico de construcción del conocimiento tecnológico. Después se han analizado diversas líneas de trabajo relacionadas con la educación científica como son las relaciones CTSA, el enfoque STEAM y el desarrollo de competencias científico-técnicas. Finalmente se han comentado, de forma breve, las principales líneas de trabajo sobre educación tecnológica ligadas al uso didáctico de las TIC (Pontes, 2019), pero se ha indicado que esta temática es muy amplia y no puede abordarse con profundidad en este libro.

Por limitaciones de espacio tampoco se han podido abordar otros asuntos interesantes para el avance de la Didáctica de la Tecnología, como la formación del profesorado de esta área, sobre todo a partir de la puesta en marcha del Máster de Educación Secundaria (MAES) en 2010, ya que este hecho ha impulsado el desarrollo posterior de numerosas investigaciones sobre educación tecnológica (Ferreira *et al.*, 2012).

En esta revisión panorámica sobre el desarrollo de la Didáctica de la Tecnología se han apreciado numerosas relaciones -de dependencia e influencia mutua- con la Didáctica de las Ciencias Experimentales, pero no se ha profundizado en tales aspectos porque muchos de estos temas (CTSA, STEAM, ABP, TIC, ...) se abordan de forma específica y amplia en otros capítulos de esta obra.

Capítulo 7. Naturaleza de la ciencia y alfabetización científica: estado de la cuestión, desafíos y orientaciones

Antonio García-Carmona

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla

Contacto: garcia-carmona@us.es

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios del debate en torno al concepto de alfabetización científica, la comprensión de nociones básicas sobre la *naturaleza de la ciencia* (NDC) ha sido considerada uno de sus pilares fundamentales (Hurd, 1958). La NDC puede entenderse como un *metaconocimiento* acerca de la ciencia que abarca sus objetivos, prácticas, valores y límites, así como los factores sociales, políticos, económicos, contextuales y afectivos que la condicionan o que son inherentes a su desarrollo (Acevedo-Díaz, 2008; Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016; Irzik y Nola, 2011). Se trata, por tanto, de un constructo poliédrico que caracteriza a la ciencia como una forma particular de conocer e interpretar el mundo natural, fundamentado principalmente en las aportaciones de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia.

La integración de la NDC en los procesos de alfabetización científica conlleva que la enseñanza de las ciencias no debe limitarse a que los estudiantes adquieran y apliquen conocimientos y procedimientos científicos básicos, sino que también debe fomentar una comprensión profunda de la *esencia* misma de la ciencia. Esta perspectiva ha sido respaldada a lo largo de las últimas décadas por informes y proyectos educativos emblemáticos, como *The Public Understanding of Science* (Royal Society, 1985), *Project 2061 (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1990)*, *Young People's Images of Science* (Driver *et al.*, 1996), y *Next Generation Science Standards* (National Research Council, 2013), así como por los sucesivos marcos teóricos de PISA para la evaluación de la competencia científica (*e.g.*, *Organization for Economic Co-operation and Development [OECD], 2017, 2023*).

Sin embargo, la incorporación de la NDC en la enseñanza de las ciencias no termina de consolidarse (Acevedo-Díaz *et al.*, 2017; García Carmona, 2022; Olson, 2018). De forma que, aunque la literatura sobre educación científica lleva mucho tiempo abordando la comprensión de NDC (Abd-El-Khalick y Lederman, 2023; Acevedo-Díaz, 2008; García-Carmona *et al.*, 2011, 2012), su integración en las clases de ciencias continúa siendo un desafío. Esta situación no responde únicamente a cuestiones relacionadas con la preparación y autoeficacia del profesorado

de ciencias (Acevedo-Díaz, 2010; Akerson y Bartels, 2023), sino también a factores como la convicción de que la NDC deba ser un componente básico del currículo de ciencias, al mismo nivel que otros contenidos escolares más tradicionales (Abd-El-Khalick, 2013; García-Carmona, 2022).

Por ello, la justificación de la inclusión de la NDC en la enseñanza de las ciencias, la determinación de los contenidos que deberían priorizarse, así como los recursos y estrategias para su implementación y evaluación en el aula, constituyen cuestiones clave en este propósito educativo. La finalidad de este capítulo es abordar estos aspectos, partiendo del estado actual y de las perspectivas de la enseñanza de la NDC en el contexto educativo español.

NATURALEZA DE LA CIENCIA EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA ESPAÑOLA

La investigación didáctica sobre la comprensión y enseñanza de la NDC ha venido mostrando, desde hace años, un panorama bastante generalizado y, en buena medida, mejorable a nivel internacional. Este panorama se caracteriza por: (i) la escasa atención que recibe la NDC en comparación con otros contenidos en los currículos de ciencias; (ii) las concepciones poco informadas tanto del alumnado como del profesorado sobre ella; y (iii) la insuficiente preparación docente para abordarla en las clases de ciencias (Abd-El-Khalick y Lederman, 2023; Acevedo-Díaz, 2008, 2010; Akerson y Bartels, 2023; García-Carmona, 2022; García-Carmona *et al.*, 2011, 2012; McComas *et al.*, 2020; Olson, 2018). No obstante, la magnitud de esta situación varía entre contextos educativos, siendo más preocupante en unos que en otros.

En el caso español, la subestimación de la NDC en la educación científica básica resulta especialmente evidente, al menos desde las perspectivas curricular e investigativa (García-Carmona, 2021, 2022); sobre todo si se compara con lo que ocurre en otros países. Así, en Estados Unidos, Australia, Canadá o Turquía, la comprensión de nociones de NDC es considerada desde hace tiempo un contenido esencial en los currículos de ciencias para la educación básica (Australian Curriculum, s.f.; *Council of Ministers of Education, Canada, 1997*; Kaya y Erduran, 2016; National Research Council, 2013). En contraste, las sucesivas reformas del currículo de ciencias emprendidas en España durante los últimos 30 años han prestado una atención más bien marginal a la NDC (García-Carmona, 2022).

En cuanto al interés de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en España por los temas relacionados con la NDC, este también se sitúa por detrás de los países antes mencionados (Supriyadi *et al.*, 2023). Una revisión exhaustiva de las publicaciones en revistas españolas de Educación durante la última década mostró que la NDC ha sido bastante desatendida: solamente el 4,4% de los artículos dedicados a la educación científica abordaba alguna cuestión relacionada con ella (García-Carmona, 2021a).

Si bien faltan estudios actualizados sobre la medida en que el profesorado de ciencias español introduce contenidos de NDC en sus clases, la evidencia disponible invita a pensar que dicha inclusión es anecdótica o casi inexistente. Además de que es difícil que el profesorado enseñe (y de manera adecuada) aquello que no domina, todavía lo es más que se plantee abordar un contenido que apenas se menciona en el currículo de ciencias (García-Carmona, 2022). En consecuencia, la integración de la NDC en la enseñanza de las ciencias continúa siendo un reto con un largo camino que recorrer.

RAZONES PARA ENSEÑAR NATURALEZA DE LA CIENCIA

Como se señaló al principio, diversos informes y propuestas educativas de relevancia internacional subrayan la importancia de integrar la comprensión de NDC en la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, a la vista de lo que se acaba de exponer, ello no parece haber sido motivo suficiente para que las reformas educativas en España incluyan la NDC como un contenido fundamental en los currículos de ciencias. Así pues, las razones por las que deberían abordarse contenidos de NDC en las clases de ciencias requiere un análisis más profundo. Un buen modo de hacerlo es en el marco de aquellos enfoques que cuentan con una mayor trayectoria en la Didáctica de las Ciencias Experimentales dentro del contexto español. Dos de estos enfoques didácticos son la *educación científica basada en las relaciones ciencia-tecnología-sociedad* (enfoque CTS) y la *educación científica basada en la indagación* (ECBI).

El enfoque CTS sugiere que la enseñanza de las ciencias debe contextualizarse en cuestiones sociales y ambientales relevantes, con objeto de que el alumnado pueda desarrollarse como ciudadanía crítica y responsable (Pedretti y Nazir, 2011). La ECBI, por su parte, se fundamenta en que la forma más razonable de aprender ciencias es participar en actividades de indagación escolar *inspiradas* en las que realizan los científicos para construir conocimiento, aunque con las adaptaciones educativas apropiadas (Cañal *et al.*, 2016). Asimismo, los marcos CTS y ECBI pueden entrelazarse para el enriquecimiento mutuo. Así, el enfoque CTS insta a buscar de manera constante los contextos más apropiados, relevantes y sugerentes para el alumnado a la hora de justificar o dar sentido a las preguntas que deben desencadenar las indagaciones científicas en el aula (García-Carmona, 2011). Mientras que el ECBI sugiere que el abordaje de cualquier problemática sociocientífica¹ en el aula debe partir igualmente de una pregunta relevante, estimulante e investigable desde una perspectiva científica (García-Carmona, 2008), aunque su abordaje no implique necesariamente el uso del laboratorio escolar o la experimentación.

1. El enfoque basado en problemáticas o controversias sociocientíficas se asume aquí como una derivación de la primigenia educación CTS.

Lo anterior sugiere no solo la necesidad de tomar conciencia de las complejidades y desafíos que supone la implementación de ambos enfoques en el aula, sino también la de reconocer que su mayor efectividad educativa precisa que el alumnado piense y aprenda sobre *cómo funciona la ciencia, tanto internamente como en su interacción con la sociedad*. De hecho, la literatura recoge diversas propuestas y perspectivas, tanto para la educación CTS (e.g., Spector *et al.*, 1998; Yager, 1998) como para la ECBI (e.g., García-Carmona, 2012, 2021; Schwartz y Crawford, 2006), que sugieren integrar de forma explícita la comprensión de aspectos de la NDC como un objetivo educativo central en su implementación.

En lo que respecta al enfoque CTS, es difícil entender, por ejemplo, ciertas prioridades, competitividades o barreras en la investigación científica sin atender al contexto socioeconómico, político y cultural en el que esta se desarrolla (Vázquez-Alonso *et al.*, 2004). En relación con la ECBI, es ingenuo esperar que el alumnado desempeñe prácticas científicas escolares de manera adecuada y significativa, si desconoce los rasgos identitarios, epistemológicos y sociológicos que las caracterizan o subyacen en ellas (García-Carmona, 2021; García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018; OECD, 2023). Difícilmente el alumnado podrá, por ejemplo, formular hipótesis científicas, elaborar argumentos o construir modelos científicos sin entender qué son, y cómo se configuran epistémica y socialmente. Lo mismo se puede decir de las prácticas científicas no-epistémicas, como la elaboración de un presupuesto para llevar a cabo una indagación científica escolar o el establecimiento de normas de organización, funcionamiento y *buenas prácticas* en los equipos de trabajo. La comprensión de la naturaleza de las prácticas científicas constituye, además, un requisito fundamental para el desarrollo del pensamiento científico y crítico; dos procesos intelectuales indispensables para analizar y afrontar cuestiones relacionadas con la ciencia (García-Carmona, 2025).

En ambos enfoques didácticos es esencial, por tanto, adquirir una comprensión básica e informada de los comportamientos y dinámicas sociales que tienen lugar en las comunidades científicas durante la construcción de conocimiento. En el marco de la educación CTS, dicha perspectiva permite analizar, por ejemplo, las reglas, los sesgos, los posicionamientos y las controversias entre científicos, así como la priorización de determinados debates y líneas de investigación en una comunidad científica concreta (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2017). En el contexto de la ECBI, estas dinámicas pueden inspirar en el docente el diseño de actividades de indagación escolar que emulen el desempeño de prácticas habituales de la comunidad científica (Abd-El-Khalick, 2013; García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018), cuya implementación en el aula favorezca la construcción colectiva de conocimiento.

En definitiva, para alcanzar una visión más completa, realista y humanizada de la ciencia (Mork *et al.*, 2022; Vázquez-Alonso *et al.*, 2005), en los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias es preciso traer a colación cuestiones de NDC. Asimismo, el abordaje de la NDC debe contemplar de manera integrada tanto los aspectos epistémicos —es decir, racionales o cognitivos— que determinan su desa-

rollo, como los de naturaleza no-epistémica (políticos, económicos, sociales, éticos, afectivos, etc.) cuya consideración resulta igualmente ineludible para entender las dinámicas de construcción de conocimiento científico (Erduran y Dagher, 2014; García-Carmona, 2021, 2025).

Papel competencial de la comprensión de la naturaleza de la ciencia

Llegados a este punto, conviene subrayar que, desde una lógica competencial de la alfabetización científica, lograr una comprensión informada de la NDC constituye, en sí misma, una condición necesaria y de gran relevancia, aunque no suficiente. En efecto, adquirir nociones básicas sobre la NDC es primordial y supone un reto educativamente ambicioso; sin embargo, lo verdaderamente trascendente es saber manejar y aplicar este metaconocimiento tanto en el propio aprendizaje de la ciencia como en el análisis y la toma de decisiones ante cuestiones en las que la ciencia desempeña algún papel. De acuerdo con lo discutido anteriormente, el potencial alfabetizador del conocimiento sobre la NDC se puede sintetizar en las tres perspectivas fundamentales que se presentan a continuación.

Comprensión de la naturaleza de la ciencia para el desempeño de prácticas científicas

Si se pretende que el alumnado *aprenda ciencias haciendo ciencia*, es esencial —como ya se ha adelantado— que comprenda los rasgos epistemológicos de los procesos y prácticas que deben manejar para su adecuado desempeño (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018; OECD, 2023). Asimismo, es necesario considerar las dimensiones sociológicas y axiológicas que subyacen a dichas prácticas, de forma que el alumnado pueda llevarlas a cabo mediante dinámicas organizativas, inclusivas, de discusión, de crítica y comunicación, ajustadas a reglas y valores éticos coherentes con los de la ciencia (García-Carmona, 2021, 2025). En suma, una comprensión de la naturaleza de las prácticas científicas ayuda a entender por qué, cómo y para qué se realizan en el marco de la construcción del conocimiento. Desde una perspectiva docente, ello implica plantear una enseñanza de las ciencias *con* NDC (Abd-El-Khalick, 2013).

Comprensión de la naturaleza de la ciencia para el análisis crítico de cuestiones sociocientíficas

Poseer conocimientos de la NDC es esencial para analizar críticamente cuestiones sociocientíficas (Karisan y Zeidler, 2017), especialmente en un contexto donde

circulan numerosos bulos y desinformación sobre temas relacionados con la ciencia a través de medios y redes sociales (Höttecke y Allchin, 2020; Osborne y Pimentel, 2022). Cuando el alumnado debe posicionarse sobre estas cuestiones, suele atender mucho más a valores personales o morales que a aspectos de la NDC (Bell y Lederman, 2003); mientras que quienes tienen una mejor comprensión de esta elaboran argumentos más sólidos (Khishfe *et al.*, 2017). Por ello, es fundamental que el alumnado sepa discernir en qué información confiar, evaluando la credibilidad de las fuentes y el consenso existente en la comunidad científica (Osborne y Pimentel, 2022). Para este fin es necesario fomentar la confianza en la evidencia científica (Erduran, 2021; García-Carmona, 2025) y promover una comprensión básica de la *naturaleza de la argumentación científica* (Driver *et al.*, 2000). Estas competencias son clave para contrarrestar a pseudocientíficos y negacionistas, que recurren a creencias infundadas, anécdotas o suposiciones no contrastadas y desacreditan la ciencia al señalar sus imperfecciones (McIntyre, 2021; Normand, 2008). Por tanto, comprender la NDC implica reconocer que, aunque el conocimiento científico es revisable a la luz de nuevas evidencias, es el saber más objetivo y fiable disponible, al estar sustentado en procesos de investigación rigurosos y en el escrutinio de la comunidad científica (García-Carmona, 2024).

Comprensión de la naturaleza de la ciencia para la participación responsable en asuntos sociocientíficos

Esta perspectiva está estrechamente relacionada con la anterior, pero supone ir un paso más allá. Implica utilizar el conocimiento de la NDC para participar y tomar decisiones en asuntos sociales relacionados con la ciencia (Sjöström, 2025), es decir, *una comprensión de la NDC orientada a la acción ciudadana*. Por ejemplo, ante el cambio climático, debería ayudar a la ciudadanía a comprometerse con soluciones basadas en evidencia científica, descartando aquellas que carecen de validez y fiabilidad. Esto incluye adoptar estilos de vida coherentes con las acciones climáticas fundamentadas en la ciencia o analizar las propuestas de los partidos políticos, al respecto, para decidir el voto. Lo mismo se aplica a otros temas controvertidos, como el uso de medicamentos homeopáticos o dietas milagro, cuya falta de validez científica está demostrada. En síntesis, se trata de participar y decidir con confianza en la ciencia (Erduran, 2022); lo cual requiere promover situaciones educativas donde el alumnado reflexione y debata sobre las fortalezas y límites de la ciencia frente a visiones no científicas, particularmente sobre la confiabilidad, incertidumbre, objetividad y revisabilidad en la ciencia (Cobern *et al.*, 2022; García-Carmona, 2024).

SELECCIÓN DE CONTENIDOS DE NATURALEZA DE LA CIENCIA

Al justificar la inclusión de la NDC en el currículo de ciencias se han señalado, de algún modo, diversos aspectos que convendría priorizar para avanzar hacia una alfabetización científica integral y acorde con los desafíos del mundo actual. No obstante, esa concepción de NDC que presenta una imagen holística y humanizada de la ciencia, no siempre ha sido asumida en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. La determinación de qué contenidos de NDC abordar en la educación científica básica ha sido uno de los asuntos más debatidos en la última década. Sería muy extenso exponer las posiciones y discusiones que han orientado este debate.² Si bien, de forma resumida, se puede decir que este ha propiciado el tránsito desde una concepción de NDC para uso escolar centrada principalmente en rasgos epistémicos del conocimiento científico³ (Lederman, 2006), que durante años predominó en el panorama internacional, hacia otras más globales que, además de integrar los aspectos de la concepción anterior, incorporan un mayor número de rasgos epistémicos y se enriquecen con la consideración de aspectos de naturaleza no-epistémica (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016; Allchin, 2011; Dagher y Erduran, 2014).

En la actualidad, hay dos marcos teóricos alineados con esa perspectiva integral de la NDC para la enseñanza de las ciencias: el *enfoque de parecido de familia para la NDC* [EPF-NDC] (Erduran y Dagher, 2014), y *la NDC desde la perspectiva de la tradición CTS* [CTS-NDC] (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016). El EPF-NDC parte de la premisa de que, si bien cada disciplina científica tiene sus particularidades, existe un conjunto de rasgos, normas y prácticas comunes a todas ellas (Irzik y Nola, 2011). Este marco se desarrolla en torno a dos dimensiones principales que integran tanto aspectos epistémicos como no-epistémicos de la NDC (Erduran *et al.*, 2019): (i) *cognitivo-epistémico* (objetivos y valores, prácticas científicas, métodos y reglas metodológicas, y conocimiento científico) y (ii) *social-institucional* (actividades profesionales, ética científica, certificación y difusión social, valores sociales de la ciencia, organizaciones e interacciones sociales, estructuras de poder político y sistemas financieros).

Por su parte, el CTS-NDC (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016) se apoya en un marco anterior al EPF-NDC⁴ y se ha desarrollado en el contexto español,

2. Para profundizar en ello, se sugiere la consulta de Acevedo-Díaz y García-Carmona (2016), Acevedo-Díaz *et al.* (2017) y García-Carmona (2025b).

3. La propuesta de Lederman (2006) consta de siete principios de la NDC, entre los cuales solo uno hace una breve y genérica alusión a la influencia mutua de la ciencia y la sociedad.

4. Precisamente, Acevedo-Díaz y García-Carmona (2016) sostienen que, ante el surgimiento del EPF-NDC, conviene revisar las aportaciones de la tradición CTS para comprobar que muchas de las ideas que las recientes tendencias en la enseñanza de la NDC presentan como «nuevas» ya habían sido planteadas desde el marco CTS.

aunque también ha alcanzado relevancia internacional. Toma como punto de partida la propuesta de Aikenhead y Ryan (1992) —posteriormente adaptada al español (Manassero *et al.*, 2001)— para la conceptualización de la ciencia y la tecnología, las relaciones y diferencias entre ambas, así como sus interacciones con la sociedad. Finalmente, el marco ha quedado aún mejor definido a partir de diversas aportaciones de la historia y la sociología de la ciencia (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2017; García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018).

El CTS-NDC organiza los rasgos que definen la NDC de manera distinta al EPF-NDC, pero mantiene una notable sintoniza con él. Asimismo, el CTS-NDC ha dado lugar a diversas investigaciones que evidencian su idoneidad para mejorar la comprensión de la NDC tanto en estudiantes de ESO y Bachillerato como en el futuro profesorado de ciencias (Acevedo-Díaz *et al.*, 2017). Se presenta, en definitiva, como una lista abierta de aspectos epistémicos y no-epistémicos que, de forma integrada y en proporciones equilibradas, busca caracterizar la esencia de la ciencia con fines educativos (Tabla 7.1). Cabe señalar, además, que el marco CTS-NDC ofrece un repertorio amplio de aspectos con la intención de que el profesorado pueda seleccionar aquellos que mejor se ajusten a su contexto y objetivos educativos en cada situación.

Tabla 7.1. Marco CTS-NDC para una enseñanza holística de la NDC (elaborado a partir de García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018).

ASPECTOS EPISTÉMICOS DE LA NDC	
<i>Naturaleza de los procesos y prácticas científicas</i>	<i>Naturaleza del conocimiento científico</i>
Pluralidad metodológica en la investigación científica	Características de las preguntas, hipótesis, leyes, modelos y teorías científicas, así como sus diferencias y relaciones
Influencia de las ideas, actitudes y habilidades de los científicos en sus investigaciones	Diferencias y relaciones entre ciencia y tecnología
Influencia de la especialización de los científicos en la planificación y desarrollo de sus investigaciones	Carácter dinámico y revisable del conocimiento científico
Creatividad e imaginación de los científicos en sus investigaciones (creatividad epistémica)	Coexistencia y/o dominio de unas teorías científicas sobre otras
Recogida de datos vs. interpretación de datos	...
Función de las pruebas en la argumentación científica	
Relevancia de las controversias científicas en el desarrollo de la ciencia (debate epistémico)	
Papel de los errores y la incertidumbre en el desarrollo de la ciencia	
Importancia de la experimentación en el desarrollo de la ciencia	
Naturaleza de las observaciones en la investigación científica	
Función de las preguntas e hipótesis en el diseño y desarrollo de la investigación científica	
Papel de la modelización en la investigación científica	
...	

ASPECTOS NO-EPISTÉMICOS DE LA NDC	
<i>Internos a la comunidad científica*</i>	<i>Externos a la comunidad científica</i>
Relaciones profesionales y personales entre los científicos	Influencias de los contextos históricos, sociales y culturales en el desarrollo de la ciencia
Personalidad y creencias de los científicos	Influencia de la ciencia en el desarrollo de la sociedad
Definición de reglas para la evaluación científica	Nacionalismo científico
Aplicación del principio de precaución cuando la evidencia científica es inconclusa	Financiación de la ciencia
Establecimiento de directrices para la organización y el trabajo de los equipos investigación	Conflictos entre ciencia y religión
Decisiones sobre la priorización de temas de investigación	Papel de los medios de comunicación y redes sociales en la difusión y discusión de temas científicos
Grupos de poder en la comunidad científica	...
Colectividad científica	
Competitividad científica	
Valores éticos y morales en la ciencia	
Políticas de género en la ciencia	
Habilidades retóricas y estrategias de comunicación científica	
Elaboración de presupuestos para hacer investigaciones	
...	

* Aquellos aspectos de esta subdimensión que constituyen actividades habituales de los científicos se conciben en este marco como *prácticas no-epistémicas*

ESTRATEGIAS PARA LA ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS SOBRE NATURALEZA DE LA CIENCIA

Consideraciones previas para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia

Al igual que sucede con otros contenidos de la ciencia escolar, existen concepciones inadecuadas sobre la NDC que están profundamente arraigadas en la sociedad y, en consecuencia, también en el propio contexto educativo. Un ejemplo paradigmático es la extendida creencia de que la ciencia se desarrolla mediante la aplicación de *El Método Científico*. La idea de que existe un procedimiento estándar, sistemático y universal, que siguen todas las personas dedicadas a la ciencia para construir conocimiento, aparece con frecuencia en los libros de texto, en las prescripciones curriculares de ciencias y en los medios de comunicación (Abd-El-Khalick *et al.*, 2008; García-Carmona, 2014; García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018; McComas,

1996). Incluso el propio profesorado de ciencias —con limitada formación en temas de NDC— puede contribuir a su difusión (García-Carmona, 2023).

Sin embargo, desde hace mucho tiempo, en el ámbito de la epistemología de la ciencia se reconoce que esa noción de “el método científico” es simplemente un *mito* (Feyerabend, 1975; Irzik y Nola, 2011; Popper, 1983; Woodcock, 2014). Los científicos siguen una amplia variedad de enfoques, métodos y prácticas para llevar a cabo sus investigaciones, dependiendo del área de estudio, las preguntas que se abordan, los marcos teóricos disponibles y la creatividad epistémica, entre otros muchos factores. Para advertir sobre esto durante la pandemia de la COVID-19, el historiador de la ciencia Henry M. Cowles escribió en *The Washington Post* lo siguiente:

A pesar de las afirmaciones de la televisión y Twitter, no existe “el método científico”, ni un conjunto de pasos o una solución única para los problemas a los que nos enfrentamos. Pregunte a cualquier científico: lo que hacen, individual y colectivamente, es demasiado diverso, demasiado dinámico, demasiado difícil como para seguir una sola receta. (Cowel, 2020; traducción propia)

Por tanto, concepciones ingenuas sobre la NDC, como la de que existe un *único* método científico que guía de manera lineal y paso a paso toda la construcción del conocimiento, transmiten una imagen idealizada y distorsionada de la práctica científica (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018; McComas, 1996; Woodcock, 2014). En consecuencia, el profesorado de ciencias no solo debe ser consciente de las creencias desinformadas más comunes acerca de la NDC, sino que también requiere una formación específica que le permita afrontarlas en el aula (Abd-El-Khalick, 2013; Acevedo-Díaz, 2010). Esta formación ha de capacitarlo para diseñar *situaciones de aprendizaje* contextualizadas y orientadas a diagnosticar las concepciones del alumnado sobre la NDC, provocar conflictos cognitivos que cuestionen aquellas inadecuadas y favorecer la progresión hacia comprensiones más fundamentadas (García-Carmona, 2021, 2024).

Cómo enseñar naturaleza de la ciencia: estrategias didácticas y recursos

Los resultados de la investigación educativa señalan que la mejor forma de favorecer el aprendizaje de la NDC es mediante un enfoque didáctico *explícito* y *reflexivo* (Abd-El-Khalick y Lederman, 2023; Acevedo-Díaz, 2009). Esto significa que su enseñanza debe plantearse con objetivos de aprendizaje específicos, el diseño de actividades contextualizadas que desafíen al alumnado a pensar y debatir sobre los aspectos de NDC pretendidos, y contar con un plan de evaluación apropiado para valorar el grado de comprensión alcanzado (García-Carmona, 2023).

No obstante, según la revisión de Acevedo-Díaz (2009) y un estudio posterior (García-Carmona, 2022), existen posiciones que sostienen que la comprensión de aspectos de la NDC puede lograrse también mediante un enfoque implícito; es decir, como consecuencia inherente a la participación del alumnado en actividades escolares de indagación científica. Sin embargo, esta idea resulta ingenua, pues equivale —permítase la comparación— a suponer que es posible comprender los procesos biomecánicos que explican el acto de caminar simplemente caminando. Si en la enseñanza de las ciencias, en general, ya es difícil lograr que el alumnado aprenda aquello que el profesorado planifica e implementa de manera intencional, todavía lo es más esperar resultados positivos en relación con un contenido complejo como la NDC sin una planificación y una acción docente deliberadas.

Posiblemente dicha creencia se deba a que, en el fondo, se está identificando la comprensión de la NDC con el mero desempeño de procesos científicos (García-Carmona *et al.*, 2011); lo cual desvirtúa el carácter metacientífico de este constructo. Por ejemplo, un estudiante puede desarrollar destrezas básicas para realizar observaciones de fenómenos naturales; pero, si no reflexiona y asimila que estas presentan limitaciones intrínsecas condicionadas por la pericia del observador, el grado de precisión de los instrumentos utilizados, así como por sus conocimientos previos y expectativas, no habrá alcanzado realmente un aprendizaje adecuado sobre la naturaleza de la observación científica. Esto mismo puede extrapolarse al resto de prácticas de la ciencia. De ahí la importancia de que el alumnado reflexione explícitamente sobre estas cuestiones metacientíficas mientras participa en indagaciones científicas escolares (García-Carmona, 2012, 2021).

Además de las actividades de indagación, existen otros recursos y estrategias que también han mostrado ser efectivos para favorecer que el alumnado piense y aprenda sobre la NDC. Entre ellos se encuentran la lectura y análisis crítico de controversias en la historia de la ciencia (Acevedo *et al.*, 2017), de problemáticas sociocientíficas contemporáneas (Karisan y Zeidler, 2017; Khishfe *et al.*, 2017) y de determinadas noticias relacionadas con la ciencia publicadas en los medios de comunicación (García-Carmona, 2014, 2021, 2024). Asimismo, pueden emplearse con ese mismo propósito la visualización de documentales científicos (Bloom *et al.*, 2015), las dramatizaciones mediante juegos de rol (McGregor *et al.*, 2019) o los denominados juegos epistémicos, como las cartas o las cajas negras (Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2024). La idoneidad de cada uno de estos recursos dependerá, en buena medida, de los objetivos de aprendizaje sobre la NDC perseguidos, de la edad y las necesidades educativas del alumnado, del contexto curricular en el que se desee integrar este contenido metacientífico y, sobre todo, de la preparación del profesorado para su adecuada implementación en el aula.

Por otra parte, la NDC se puede introducir en las clases de ciencias básicamente de dos formas: integrada con el resto de los contenidos del currículo de ciencia escolar o como una unidad didáctica independiente. Aunque la investigación no ha demostrado que una opción sea pedagógicamente más eficaz que la otra (Khishfe

y Lederman 2007), la integración progresiva de la NDC con los demás contenidos del currículo puede tener algunas ventajas. En primer lugar, supondría poca alteración de la programación de un curso de ciencias que, de por sí, suele estar sobrecargado; y, en segundo lugar, podría resultar más beneficioso porque sería un contenido transversal presente a lo largo de todo el curso, abordado en distintos contextos y situaciones de la ciencia escolar.

Cómo evaluar la comprensión de la naturaleza de la ciencia

Como se ha señalado, el enfoque explícito-reflexivo de la enseñanza de la NDC requiere evaluar los aprendizajes alcanzados específicamente sobre esta. En un contexto habitual de aula, esta evaluación puede hacerse mediante rúbricas que permitan categorizar las reflexiones del alumnado sobre distintos aspectos de la NDC en niveles de logro progresivos (Acevedo *et al.*, 2017; García-Carmona, 2024). No obstante, en la literatura existe también una amplia variedad de instrumentos de evaluación cuya validez y fiabilidad han sido contrastadas. Entre ellos se encuentran el COCTS (Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad) (Manassero *et al.*, 2001), que valora creencias acerca de aspectos tanto epistémicos como no-epistémicos de la NDC; el VNOS (*Views of Nature of Science*) para examinar ideas sobre la naturaleza del conocimiento científico (Lederman *et al.*, 2002); y el VASI (Views About Scientific Inquiry), centrado en ideas sobre la naturaleza de la indagación científica (J. Lederman *et al.*, 2014). Más recientemente se han desarrollado instrumentos como el Cuestionario RFN (*Reconceptualised Family Resemblance Approach to Nature of Science*), que evalúa las dos dimensiones del EPF-NDC (Schofield *et al.*, 2023), o el de Xiao *et al.* (2024), enfocado exclusivamente en la comprensión de aspectos no-epistémicos. Por tanto, se dispone de una amplia variedad de instrumentos para evaluar aprendizajes relativos a la NDC.

COMENTARIO FINAL

Hace varios años, Perales Palacios (2018) situaba su visión del estado de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en España a medio camino entre la tribulación y la esperanza. Si bien reconocía logros y manifestaba cierto optimismo respecto al futuro de esta área, también mostraba su preocupación por factores diversos que obstaculizan el progreso deseable. Algo similar podría decirse en relación con la enseñanza de la NDC, aunque en este caso existen más motivos para la desazón que para la expectativa.

Después de décadas de investigación y consenso sobre la importancia de integrar la comprensión de la NDC en la alfabetización científica básica, la situación del panorama educativo español dista mucho de ser la deseable. A lo ya expuesto para

fundamentar esta afirmación, cabe añadir un dato reciente: en el *12º Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias* (Cantó y Osterman, 2025), celebrado en Valencia, algo menos del 3% de los trabajos se centraban en la NDC, pese a existir una línea temática específica para ello; y de estos, menos de la mitad correspondían a investigadores españoles. Posiblemente, ello sea consecuencia de un círculo vicioso que, en algún momento, deberá romperse. Si la NDC no se concibe como un contenido fundamental en las prescripciones curriculares para la enseñanza de las ciencias, resulta comprensible que el profesorado no se plantee abordarlo en sus clases ni demande una formación docente adecuada para ese fin. Esta situación repercute, a su vez, de manera directa en la determinación de intereses y prioridades de la investigación didáctica.

En la actualidad, el abordaje de la NDC en las aulas depende en gran medida de la sensibilidad e interés que cada docente tenga por este tema. Sin embargo, incluso en esos casos no está garantizada una enseñanza adecuada al respecto si el profesorado carece de la formación pertinente. Como se ha señalado, en la enseñanza de las ciencias siempre se transmiten ideas acerca de qué es y cómo funciona la ciencia; otra cuestión muy distinta es que dichas ideas estén bien informadas y fundamentadas en la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia.

Aun así, no debe perderse la esperanza. En algún momento, los responsables de las políticas educativas deberán asumir la comprensión y enseñanza de la NDC como un pilar esencial de la alfabetización científica —su atención nuclear y explícita en los marcos de PISA para la competencia científica puede ser un elemento persuasor relevante—. Y, en efecto cascada, este reto debería convertirse en un aspecto ineludible en los planes de formación del profesorado de ciencias, así como en las programaciones y situaciones de aprendizaje que se desarrollan en las aulas. Con el ánimo de contribuir a este propósito educativo mediante orientaciones didácticas, se ha elaborado este capítulo.

Capítulo 8. Retos actuales en la educación científica

Marta R. Ariza, Antonio Quesada, María Martín-Peciña, Francisco Javier Muela, Diego Airado,

Fátima Aguilera y Ana María Abril

Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Jaén

Contacto: mromero@ujaen.es; amabril@ujaen.es

INTRODUCCIÓN

Algunos autores proponen orientar la Didáctica de las Ciencias hacia los grandes retos actuales (Sadler *et al.*, 2025). La Real Academia de la Lengua Española define la palabra reto como un “objetivo o empeño difícil de llevar a cabo, y que constituye por ello, un estímulo y un desafío para quien lo afronta”. En general, se afirmaba que en la dificultad reside la oportunidad, y la historia de la ciencia nos muestra repetidamente cómo los grandes problemas de la humanidad han estimulado ingeniosos inventos y la generación de brillantes soluciones. Confiamos en que los retos que actualmente afronta la enseñanza de las ciencias están contribuyendo a una mejora de la educación científica de la ciudadanía, lo que capacitará a la sociedad a afrontar con éxito los desafíos contemporáneos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente capítulo afrontamos con ilusión la construcción de una panorámica crítica sobre algunos de los actuales retos, desde el punto de vista del profesorado y el alumnado de ciencias. Las temáticas se han seleccionado por plantear importantes desafíos y por considerarse prioritarias, es decir, por ser retos cuya relevancia e impacto se manifiestan en el ámbito académico y social con un incremento significativo en el número de trabajos publicados o en la cantidad de fondos y recursos destinados a su investigación.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados, este capítulo analizará cómo se están afrontando las grandes prioridades europeas relacionadas con la sostenibilidad, inclusión y digitalización desde la enseñanza de las ciencias. En concreto, se analizarán y discutirán los retos identificados en las siguientes líneas de trabajo: 1) enseñanza de las ciencias para la sostenibilidad; 2) la educación científica inclusiva sensible al género y 3) inteligencia artificial y enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

Cada apartado se inicia con una reflexión sobre la relevancia de la temática y las principales aportaciones desde la Didáctica de las Ciencias, identificando necesidades no resueltas, con el objeto de proponer futuras líneas de trabajo que permitan un adecuado abordaje de los retos pendientes. Por tanto, cada una de estas líneas se discutirá de acuerdo a los aspectos representados en la Tabla 8.1.

El análisis de las temáticas elegidas no se ha llevado a cabo como una revisión exhaustiva del estado de la cuestión, ya que eso se reserva a otros capítulos monotemáticos del libro. Por el contrario, se ha procedido a una selección intencionada de publicaciones especializadas y evidencias de investigación, que nos permitan discutir cuáles son los principales retos desde el punto de vista de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, identificando buenas prácticas y líneas prometedoras de trabajo en cada ámbito. A continuación, procedemos a discutir cada una de las temáticas seleccionadas.

Tabla 8.1. Aspectos desarrollados en el capítulo para cada temática analizada en relación a la mejora de la educación científica.

PRIORIDAD	RELEVANCIA	AVANCES	RETOS	PROPUESTAS FUTURAS
SOSTENIBILIDAD Y EDUCACIÓN CIENTÍFICA	• Superación de los límites planetarios con riesgo para la sostenibilidad del planeta. • Papel fundamental de la ciencia y la educación científica en la construcción de un mundo sostenible. • Conexiones entre la educación para la sostenibilidad y la enseñanza de las ciencias. • Necesidad de la implicación, tanto individual como colectiva.	• Creación de revistas especializadas. • Estudios de creencias, actitudes y conciencia de sostenibilidad en alumnado y docentes. • Propuestas de metodologías y recursos para educar en sostenibilidad. • Marcos competenciales de educación en sostenibilidad para docentes y estudiantes.	• Del conocimiento al verdadero cambio de valores y hábitos. • Estrategias metodológicas basadas en investigación conducentes al cambio en valores y conductas. • Formación docente específica inicial y continua. • Integrar los marcos competenciales en la formación del profesorado y los centros educativos.	• Estudios rigurosos sobre el efecto de intervenciones en la conciencia, los valores y las conductas sostenibles de las personas. • Estudios que aumenten nuestra comprensión acerca de cómo superar los actuales retos y avanzar en formación de profesorado y de alumnado para la sostenibilidad. • Investigaciones que permitan establecer principios de diseño para una educación en sostenibilidad transformadora.
BRECHA DE GÉNERO EN CIENCIA Y EN EDUCACIÓN CIENTÍFICA	• Disminución de vocaciones científicas, especialmente en chicas. • Identidad científica diferencial según género. • Problemática epistemológica. • Disfunción social.	• Modelos de identidad científica y capital científico. • Consideración de diversidad de género y sexual, superando la visión binaria. • Influencia en políticas educativas. • Desarrollo de iniciativas de educación científica inclusivas en cuanto al género.	• Persistencia de estereotipos de género y visión distorsionada de la ciencia. • Falta de referentes femeninos. • Desajuste entre legislación, práctica y formación de profesorado. • Escaso desarrollo empírico y conceptual desde la Didáctica de las Ciencias Experimentales.	• Análisis de la evolución de la brecha de género en las vocaciones científicas. • Traducción de marcos teóricos a diseño didáctico desde la didáctica de las ciencias. • Estudio del papel de los referentes femeninos, mentorías y redes de apoyo. • Investigación sobre formación de profesorado y currículum.
INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y EDUCACIÓN CIENTÍFICA	• Cambio en las formas de producción del conocimiento científico mediante IA e IAG. • Necesidad de que la educación científica y la formación de profesorado inicial y permanente refleje y aproveche las prácticas contemporáneas mediadas por IA.	• Uso creciente de la IAG en ciencia y en educación científica. • Desarrollo de marcos conceptuales integrados para la alfabetización en IA. • Investigaciones STEM centradas en beneficios, tensiones y oportunidades educativas de la IA.	• Brecha persistente en formación inicial y continua del profesorado en IAG. • Riesgos éticos. • Sobre-dependencia de la IA y necesidad de interacción humana crítica y creativa. • Retos en validez, fiabilidad y procesos de evaluación complejos.	• Desarrollo de repositorios de buenas prácticas en uso de IAG en ciencias y educación científica. • Alfabetización en IA de profesorado y alumnado. • Diseño de propuestas didácticas y evaluación rigurosa del efecto de la IAG en productos y aprendizajes.

ENSEÑAR CIENCIAS EDUCANDO PARA LA SOSTENIBILIDAD

Han pasado tres décadas desde que más de 1700 científicos firmaron el informe *World Scientists' Warning to Humanity* denunciando la severidad de los problemas ambientales. En 2017, un grupo aún mayor de científicos y científicas avaló un informe, mostrando que la situación había empeorado, haciéndose insostenible y requiriendo un replanteamiento de las estrategias utilizadas (Reid *et al.*, 2021).

La ciencia y la educación científica juegan un papel clave en el afrontamiento de estos problemas por diversas razones. Por un lado, el desarrollo científico y tecnológico es responsable de gran parte del impacto ambiental y por otro, gran parte de la investigación actual se destina a la creación de avances y soluciones sostenibles. La enseñanza de las ciencias es clave para formar a científicos capacitados para enfrentar dichos retos, así como para generar una ciudadanía capaz de comprender la complejidad de los fenómenos relacionados con las problemáticas ambientales y actuar consecuentemente (Tytler *et al.*, 2025). Además, la educación científica y la educación para la sostenibilidad están fuertemente vinculadas al compartir objetivos y estrategias (Arias-Arce *et al.*, 2025).

Sin embargo, después de décadas denunciando los problemas ambientales sigue amenazada la sostenibilidad de nuestro planeta. La crisis ambiental sólo se podrá afrontar con éxito aunando los esfuerzos individuales y colectivos. Las dimensiones y la complejidad del desafío no se pueden abordar únicamente con regulaciones y acciones políticas. Además de un cambio del modelo productivo predominante, es necesaria una transformación profunda de los valores y prioridades sociales que permeen la cultura de las empresas, los gobiernos y las personas. Es esencial que cada individuo tome consciencia de su huella ecológica y de cómo sus decisiones y acciones diarias impactan en el entorno. Por ello no hay solución sin educación y sin un profesorado consciente de las limitaciones de una enseñanza centrada únicamente en el conocimiento, que no atiende al cambio de conductas y al compromiso personal con la sostenibilidad. Se requiere, por tanto, de una educación transformadora que capacite al alumnado y a la futura ciudadanía para ser parte de la solución, abordando acciones competentes e informadas.

Una vez justificada la relevancia de este reto para la humanidad en general y para la Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE) en particular, procedemos a comentar algunos de los avances más significativos, para identificar retos pendientes y sugerir futuras líneas de trabajo.

La implicación de la DCE en la educación ambiental se remonta a los inicios de los años 70 del siglo pasado, con la creación del *Journal of Environmental Education*, la revista *Environmental Education Research* en los noventa, o *International Journal of Sustainability in Higher Education* en el año 2000, estas dos últimas, ubicadas en el primer cuartil del JCR, en la categoría de investigación educativa. A nivel nacional, desde la DCE se respondió a esta necesidad con varios monográficos dedicados a la sostenibilidad en la *Revista Educación* en 2009, en la *Revista*

Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias en 2010 y en la publicación *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado* en 2012.

En relación con las publicaciones en el área, existen trabajos sobre el efecto de distintos recursos o enfoques metodológicos, por ejemplo, las actividades al aire libre (Cano-Ortiz *et al.*, 2024) o el aprendizaje por proyectos (Ayerbe y Perales, 2020). Otras investigaciones se centran en el estudio de las actitudes del profesorado (Corres *et al.*, 2020; Guerra *et al.*, 2024) o sobre las concepciones acerca del desarrollo sostenible en profesorado en formación inicial (Gómez-Gómez y García-Lázaro, 2023). Otros trabajos investigan la incorporación de la sostenibilidad en la formación del profesorado en ciencias, bajo diferentes perspectivas, por ejemplo, Calero *et al.* (2019) o Martínez-Valdivia *et al.* (2023).

Resulta también relevante mencionar los marcos competenciales creados por diversos organismos internacionales. La UNESCO propuso una serie de competencias para desarrollar una visión holística, visualizar posibles futuros y materializar una transformación educativa desde un cambio en la identidad, las prácticas docentes y las instituciones educativas (UNECE, 2013). Este mismo organismo define objetivos de aprendizaje para cada uno de los ODS y 8 competencias en sostenibilidad: pensamiento sistémico, anticipación, competencia normativa, competencia estratégica, colaboración, pensamiento crítico, autoconciencia y resolución de problemas (Rieckmann, 2017). Por su parte, la Comisión Europea ha apoyado el desarrollo del marco conceptual de las competencias verdes en cuatro áreas competenciales —incorporar la sostenibilidad en el pensamiento, empatizar con el futuro, actuar de forma responsable y colaborar para el cambio. Además, la OCDE incluyó en su Brújula del Aprendizaje 2030 que los estudiantes deben ser capaces de navegar en un mundo incierto hacia el bienestar individual y colectivo, creando nuevo valor, fomentando la innovación para encontrar soluciones socio-ecológicas, gestionando tensiones y dilemas y asumiendo la responsabilidad personal (OCDE, 2019). En 2022 la OCDE publicó el informe *The Environmental Sustainability Competence Toolbox*, que enfatiza la importancia de la educación para la sostenibilidad a través de la competencia global en las pruebas PISA (Bailey *et al.*, 2023).

Una vez mencionadas algunas de las aportaciones más relevantes en el ámbito, cabe plantearse los retos no resueltos, con especial énfasis en la enseñanza de las ciencias comprometida con la educación para la sostenibilidad, para lo que el profesorado juega un papel clave (Li *et al.*, 2025). En este sentido, algunos autores proponen convertir a los docentes en agentes de cambio, capacitándolos con el conocimiento, las estrategias y las destrezas necesarias para formar a una ciudadanía alfabetizada ambientalmente y comprometida con la sostenibilidad (Alkaher *et al.*, 2024). Sin embargo, la investigación especializada en el ámbito nos muestra que existe una carencia de preparación en el profesorado, tanto en formación inicial como continua (Ivorra-Catalá *et al.*, 2024). Por lo tanto, es necesario desarrollar una mejor comprensión acerca de cómo capacitar a los y las docentes para ir más allá de la mera información y sensibilización y catalizar el cambio en valores y conductas

que conducen a la generación de una ciudadanía ambiental (Onel, 2024). Una de las carencias está asociada a la ausencia de formación específica en este ámbito y al hecho de que los marcos competenciales de referencia para la educación en sostenibilidad no están suficientemente incorporados en la formación inicial, ni en el desarrollo profesional del profesorado. Estudios como los de Cebrián Bernat *et al.* (2024) destacan la importancia de que la formación docente incorpore perspectivas inclusivas y críticas sobre sostenibilidad, mientras que Velasco Martínez *et al.* (2025) insisten en la necesidad de itinerarios formativos que capaciten a los docentes para diseñar experiencias participativas y vinculadas a problemas reales. Asimismo, revisiones sistemáticas como la de Valencia *et al.* (2025) confirman que la sostenibilidad se ha convertido en un eje prioritario en la investigación didáctica, especialmente en relación con la biodiversidad y los ecosistemas, lo que refuerza la urgencia de que la formación inicial del profesorado integre estos enfoques de manera estructural.

Consideramos que es necesario un cambio paradigmático que sitúe la sostenibilidad como eje vertebrador de la enseñanza científica y de la formación docente e incluya los marcos competenciales internacionales como el *GreenComp* (Bianchi *et al.*, 2022), que ofrecen una estructura clara para integrar la sostenibilidad en la educación científica, impulsando la creación de currículos que fomenten el pensamiento sistémico, la empatía intergeneracional y la acción colaborativa. Todo ello supone un verdadero reto metodológico para la DCE. En segundo lugar, se subraya la importancia de la formación inicial del profesorado como espacio clave para la innovación en DCE. Se quiere una preparación docente no solo en contenidos científicos, sino también en competencias que les permitan diseñar experiencias de aprendizaje transformadoras. Así, Morales-Aguilar *et al.* (2025) analizan cómo la formación docente en el contexto del cambio climático debe transformarse hacia modelos que integren la acción crítica y la resiliencia, situando a los docentes como agentes de cambio. Fischer *et al.* (2022) destacan que la educación para el desarrollo sostenible en la formación inicial constituye un campo emergente que requiere metodologías activas y currículos innovadores. De manera complementaria, Grobler y Dittrich (2024) señalan que la calidad educativa en sostenibilidad depende de estrategias transformadoras que empoderen a los formadores de docentes y a los futuros profesores para actuar como mediadores de procesos de aprendizaje orientados a la acción. Finalmente, Cano-Ortiz *et al.* (2024) muestran que las estrategias de aprendizaje experiencial en contextos naturales son especialmente eficaces para integrar la sostenibilidad en la formación inicial, reforzando la necesidad de metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos y la indagación. En tercer lugar, se plantea la necesidad de reforzar la interdisciplinariedad en la investigación didáctica. La sostenibilidad no puede abordarse únicamente desde las ciencias experimentales, sino que requiere un diálogo con las ciencias sociales, la ética y la economía. Revisiones internacionales han señalado que la educación para la sostenibilidad exige superar enfoques transmisivos y avanzar hacia modelos

transformativos basados en la innovación pedagógica y curricular (Lozano *et al.*, 2017). Finalmente, se vislumbra como propuesta de futuro la incorporación de la digitalización como herramienta para la sostenibilidad, para favorecer aprendizajes más interactivos, contextualizados y orientados a la acción sostenible. Diversos estudios han mostrado que las tecnologías digitales permiten al alumnado comprender mejor la complejidad de los sistemas socioecológicos, al tiempo que facilitan la integración de los ODS en el currículo (García-Hernández *et al.*, 2023; Hajj-Hassan *et al.*, 2024) y permiten el co-diseño con inteligencia artificial de propuestas didácticas que integran la educación científica y la sostenibilidad (Kim, 2025).

En cualquier caso, es fundamental tomar consciencia de que preparar al profesorado adecuadamente para integrar la sostenibilidad en la enseñanza de las ciencias, supone desarrollar una comprensión profunda de las causas y consecuencias de los problemas ambientales, de las dificultades educativas específicas asociadas a su aprendizaje, así como de las estrategias didácticas que conducen a una verdadera educación transformadora. Entre las dificultades específicas asociadas a la educación para la sostenibilidad cabe destacar algunos los aspectos vinculados con la complejidad de las problemáticas y del conocimiento necesario para su comprensión, el lenguaje, la escala, el papel de las emociones, el escepticismo o la dificultad de modificar valores y conductas, en especial cuando estos van en contra de la moda o algunos referentes sociales. En la tabla 8.1, se recogen algunas líneas de trabajo que pueden ayudar a afrontar los retos pendientes.

Tras analizar la relevancia de integrar la educación para la sostenibilidad en la enseñanza de las ciencias, discutir los principales avances en los últimos años y analizar los retos pendientes con objeto de orientar futuros trabajos, procedemos a discutir el siguiente reto relacionado con cómo afrontar la brecha de género desde la educación científica.

LA BRECHA DE GÉNERO EN CIENCIAS DESDE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

La disminución de vocaciones científicas entre el alumnado, especialmente entre las chicas, evidencia la necesidad urgente de promover una educación científica inclusiva y sensible al género. Ante esta situación, la identidad científica, entendida como la sensación de pertenencia al ámbito científico, se construye de forma compleja y cumple una función diferencial según el género, siendo especialmente determinante para que las chicas apuesten por opciones científicas (Vincent-Ruz y Schunn, 2018). No obstante, esta identidad puede verse afectada por estereotipos persistentes que asocian la ciencia con personas de género masculino, caucásicas y altamente brillantes, lo que limita la autoidentificación de muchos sectores de la población, especialmente las chicas, incluso desde edades tempranas (Bian *et al.*, 2017). A su vez, esta reducción de vocaciones científicas en chicas genera una disfunción social; los intereses de investigación, los modelos generados, las aplicaciones

de las investigaciones, etc., están directamente relacionados con las personas que los producen, y el género es una condición intrínseca de las personas que guía y permea en toda su actividad profesional.

Consciente de esta brecha de género en ciencia, la legislación educativa en España reconoce la igualdad de género como un elemento transversal del currículo, subrayando la responsabilidad del sistema educativo y del profesorado para abordar prejuicios y sesgos desde etapas tempranas. No obstante, persisten carencias en la formación, tanto inicial como continua, de docentes en perspectiva de género aplicada a las ciencias, lo que dificulta la construcción de entornos de aprendizaje verdaderamente inclusivos (Hasenhütl *et al.*, 2024). Esta laguna formativa refuerza la importancia de preparar al profesorado para detectar desigualdades, trabajar sin reproducir estereotipos y diseñar prácticas de aula que fomenten identidades científicas diversas y representativas.

En conjunto, todas estas aportaciones están en la línea de que integrar la perspectiva de género en la educación científica no es solo una cuestión de equidad, sino una condición indispensable para ampliar la participación, fortalecer las identidades científicas del alumnado, avanzar hacia una alfabetización científica socialmente justa y representativa y permitir que la ciencia revele todo su potencial como herramienta de progreso social.

En esta línea, desde la investigación educativa se están aunando esfuerzos por descifrar esta brecha de género en ciencia y contribuir a su reducción. Así, la evolución de los modelos de educación científica inclusiva en cuanto al género ha transitado desde enfoques amplios, sociológicos y epistemológicos, hacia perspectivas más complejas que incluyen identidades diversas y dimensiones interseccionales. Sin embargo, este desarrollo teórico no ha avanzado con igual fuerza en el terreno de la didáctica específica de las ciencias experimentales, donde aún falta investigación empírica que identifique qué metodologías y estrategias de aula resultan efectivamente sensibles o neutras en términos de género.

En sus orígenes, los estudios de género en ciencia se nutrieron del pensamiento feminista y de la sociología del conocimiento científico mostrando que la ciencia no es una práctica neutral, sino una construcción social históricamente construida sobre marcos masculinos, como evidencian las críticas al androcentrismo y el *efecto Matilda* en la ciencia (Rossiter, 1993). Estas aproximaciones fueron fundamentales para cuestionar las raíces socioculturales de la desigualdad de género en la participación en ciencia y en la educación científica. Estos enfoques se complementaron con perspectivas psicológicas y motivacionales como la Teoría de la Expectativa y el Valor (Wigfield y Eccles, 2000) y la investigación sobre identidad científica (Carlone y Johnson, 2007). Estos modelos evidencian que la participación en disciplinas científicas está profundamente condicionada al reconocimiento externo, competencia percibida e interés, dimensiones donde los sesgos de género operan de manera persistente en las aulas. En compatibilidad con este marco sobre identidad científica, se desarrolla el del capital científico (Archer *et al.*, 2015) explicando la

participación y persistencia en ciencia como un fenómeno profundamente influido por el capital familiar, social y cultural disponible para cada estudiante. Así, integrar el capital científico en la enseñanza permite reconocer que la equidad de género requiere transformar tanto el aula como los vínculos entre escuela y comunidad. Los últimos avances significativos en esta trayectoria lo representan trabajos como el de Wright y Delgado (2023) que incluyen un modelo teórico de educación científica inclusiva en cuanto al género integrando no solo la dimensión de género en sentido binario, sino también la diversidad de género y sexualidad. Esta ampliación conceptual subraya que la inclusión no puede limitarse a equilibrar la participación de niñas y niños, sino que debe considerar la diversidad de cuerpos, identidades y experiencias que atraviesan la vivencia escolar del aprendizaje científico.

Con todo, pese a los avances teóricos, la mayor parte de los modelos sobre género en educación científica siguen emergiendo desde la sociología, los estudios culturales o la psicología. Lo que falta, y es cada vez más urgente, es un desarrollo sistemático dentro del campo de la didáctica de las ciencias. En esta línea, Evagorou *et al.* (2024) apuntan hacia una educación científica inclusiva que vincula la indagación científica con problemáticas sociales relevantes para distintos grupos de estudiantes, así como hacia enfoques basados en controversias socio-científicas, tareas abiertas y pedagogías que fomenten la agencia del alumnado y el análisis crítico del rol social de la ciencia. Este tipo de aproximaciones se está convirtiendo en una referencia para políticas educativas europeas orientadas a la equidad, pero su transferencia a la formación de docentes es aún otro desafío pendiente.

Precisamente, como revisan Msambwa *et al.* (2025), son muchos los factores que afectan la participación femenina en ciencia, de los que emergen retos clave para que la educación científica se consolide como un espacio verdaderamente inclusivo y sensible al género. Entre ellos se encuentra la persistencia de estereotipos profundamente arraigados que asocian la ciencia con la genialidad masculina, lo que limita la identificación del alumnado, especialmente las chicas, con las disciplinas científicas. Por tanto, resulta fundamental revisar de manera crítica la imagen de la ciencia que se construye y transmite desde las aulas, incluso desde edades tempranas, dado su impacto directo en los procesos de identificación, motivación y proyección científica del alumnado. En este contexto, la falta de referentes femeninos y la escasa visibilidad de las aportaciones de mujeres científicas en los materiales educativos obstaculizan el sentido de pertenencia de las chicas al ámbito científico.

Estos imaginarios influyen de manera directa en la construcción de la identidad científica, un proceso complejo que requiere reconocimiento, percepción de competencia e interés, y cuya conceptualización teórica aún demanda un mayor desarrollo y clarificación en la investigación educativa. De hecho, la identidad científica se configura no solo a partir de las experiencias en el ámbito educativo formal, sino también desde la influencia de contextos no formales, familiares y comunitarios.

Por otro lado, a pesar de la existencia de una gran variedad de iniciativas destinadas a fomentar vocaciones científicas entre las chicas, persiste la falta de consenso

sobre su eficacia. La literatura aún carece de una sistematización clara que permita identificar qué estrategias son realmente sensibles al género, cuáles neutras y cuáles pueden, incluso de forma involuntaria, reforzar estereotipos.

Otro reto significativo reside en la formación del profesorado; en concreto, su preparación específica en materia de género y ciencia sigue siendo deficiente, lo que limita su capacidad para detectar sesgos, diseñar prácticas inclusivas y evitar la reproducción de estereotipos en el aula. Este desfase se ve reflejado también en la implementación curricular: aunque la legislación educativa incorpora la igualdad de género como principio transversal, la traducción de este mandato a las prácticas educativas cotidianas sigue siendo insuficiente.

Este diagnóstico de desafíos muestra que avanzar hacia una educación científica inclusiva y con perspectiva de género requiere no solo transformar representaciones y prácticas docentes, sino también garantizar entornos de aprendizaje que promuevan identidades científicas plurales, acceso equitativo y un currículo efectivamente comprometido con la igualdad.

Con todo lo anterior, y a pesar del avance realizado en las últimas décadas, persisten importantes brechas de género y desigualdades en la construcción de identidades científicas. Así, en primer lugar, es fundamental profundizar en la evolución de las vocaciones científicas y la aparición de la brecha de género. Se requiere analizar en qué momentos del desarrollo educativo emergen estas diferencias, así como identificar los factores estructurales, culturales y escolares que contribuyen a esta brecha. Esta línea de investigación permitirá comprender los mecanismos subyacentes a la falta de vocaciones y orientar estrategias de intervención temprana.

En segundo lugar, resulta prioritario explorar la efectividad diferencial de diversas metodologías de enseñanza-aprendizaje, incluyendo la integración de nuevas tecnologías, en la motivación y construcción de identidad científica en función del género. En esta línea, es necesario evaluar los efectos de programas mixtos frente a los exclusivos para chicas, identificando las condiciones que potencian su impacto en términos de participación, identidad y trayectoria académica. Por tanto, el encargo actual consiste en traducir los grandes marcos socioculturales y epistemológicos hacia principios de diseño didáctico concretos, basados en evidencia, que orienten la creación de ambientes de aprendizaje científico inclusivos en cuanto al género.

Otro ámbito crítico es el estudio de referentes femeninos y programas de mentoría. La investigación futura debería indagar cómo la exposición a científicas y la participación en redes de apoyo influyen en la autopercepción, la confianza y la identificación con carreras científicas, así como cuáles son los mecanismos que hacen estas intervenciones más efectivas.

Asimismo, la influencia de la familia y la comunidad constituye un área clave de estudio. Comprender cómo las expectativas familiares, la disponibilidad de modelos de referencia y el apoyo comunitario condicionan la elección de vocaciones científicas permitirá diseñar intervenciones contextualizadas que favorezcan la construcción de identidades científicas inclusivas.

Finalmente, la formación del profesorado y el currículo representa una línea prioritaria de investigación. Es necesario explorar prácticas docentes eficaces y modelos de desarrollo profesional que integren la perspectiva de género, evaluar cómo estas estrategias impactan en el aprendizaje y la motivación del alumnado, y determinar la manera de incorporar la igualdad y el lenguaje inclusivo en el currículo de forma efectiva y sostenible.

En conjunto y, aunque aún queda mucho por hacer, la literatura actual apunta hacia un escenario de líneas de investigación en rápida expansión para ofrecen un marco estratégico que oriente políticas, prácticas docentes y programas educativos hacia una educación científica más inclusiva, equitativa y sensible al género, contribuyendo a la formación de una sociedad científicamente alfabetizada y comprometida.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Las tecnologías emergentes, especialmente la Inteligencia Artificial (IA) y la Inteligencia Artificial Generativa (IAG), no solo están alterando los procesos de aprendizaje; están redefiniendo nuestra forma de interactuar con ellas, tanto en el ámbito educativo como en el científico. La integración de la IAG es ya una realidad que, con toda probabilidad, se intensificará a corto plazo (Giannakos *et al.*, 2025).

Si la IA está contribuyendo a modificar los modos en los que se realizan ciertas prácticas científicas y cómo se produce el conocimiento científico (Branda, 2025), resulta razonable plantear que la enseñanza de las ciencias también debe emular estas prácticas (Erduran, 2023). Estudios recientes en educación STEM (Erduran y Levrini, 2024) muestran un interés creciente en comprender tanto los beneficios de la IA como los obstáculos encontrados en su incorporación en la enseñanza y el aprendizaje. En este contexto, la generación de contenidos multimodales puede entenderse no sólo como una mejora instrumental, sino como un elemento que introduce nuevas oportunidades, pero también nuevas exigencias para la mediación docente en la enseñanza de las ciencias.

Desde una perspectiva epistemológica, la idea principal es que el uso de la IAG no debe implicar la renuncia a los valores esenciales ni a las prácticas de la educación científica. Entre estas últimas se incluyen el razonamiento, la indagación, el pensamiento crítico, la inclusión, la democratización del conocimiento y la comprensión de la ciencia como construcción humana y social. De hecho, desde la propia práctica científica se advierte del dilema que plantea el uso de la IA en procesos como, por ejemplo, la revisión de artículos científicos. De esta forma, dicha revisión podría realizarse casi íntegramente por IA, pero se ha de considerar que la intervención humana en ese proceso es insustituible. Esto no se debe a una limitación inherente de la IAG, sino a que el reemplazo supondría, entre otros aspectos, la pérdida de un componente esencial en los procesos de generación, evaluación y legitimación del conocimiento, un aspecto clave de la naturaleza de la ciencia.

Ante este escenario, se hace necesario analizar cómo puede integrarse la IA en la educación STEM de manera didácticamente fundamentada, es decir, partiendo de las evidencias de las que ya disponemos (León *et al.*, 2025). Pero surge una cuestión: ¿cómo hacerlo sin renunciar a los valores que sustentan la educación científica y son los pilares básicos del conocimiento científico validado? La literatura reciente pone de manifiesto, entre otros aspectos, que a pesar de los avances en la educación mediada por IA, la denominada “interacción humana en el bucle” sigue presentando grandes retos educativos para investigadores, docentes y estudiantes.

La alfabetización en IA y la integración de la tecnología (en su nueva componente integrada en el modelo de Shulman; AI-TPACK para la formación docente) condicionan la integración de la IA en los procesos de enseñanza y aprendizaje, ya que esta tríada está íntimamente relacionada. Las teorías de aceptación tecnológica deben ser consideradas también en este análisis. Estas han sido ampliamente utilizadas para comprender la disposición del profesorado ante la integración de nuevas tecnologías (Oh y Nurfaradilla, 2025). Sin embargo, su aplicación a la enseñanza de las ciencias plantea algunos desafíos específicos que remiten directamente a la formación docente y a la comprensión de las propias prácticas científicas escolares. Aunque la adquisición de competencias docentes integradas y de una comprensión sobre el papel del “human in the loop” no garantiza por sí mismo una integración adecuada de la IA, esto sí puede facilitar una mediación didáctica más fundamentada y alineada con los estándares actuales de la educación científica.

La capacidad de los modelos de IA, que pueden ofrecer retroalimentación inmediata y personalizada e incluso en algunos casos de analizar productos derivados de procesos complejos de razonamiento científico, se alinea con la necesidad de revisar los enfoques algo más tradicionales de evaluación. El papel que juega el docente en su rol de creador y profesional reflexivo pone de manifiesto la relevancia de modelos de desarrollo profesional que incidan sobre estos aspectos en beneficio de los procesos de enseñanza de las ciencias.

La revisión de la literatura pone de relieve varios obstáculos asociados a la incorporación de la IAG en la enseñanza de las ciencias (Lee *et al.*, 2025 y referencias allí citadas). Uno de los más relevantes es la persistente brecha en la formación inicial y en el desarrollo profesional del profesorado. La falta de experiencia y de conocimientos previos en relación con aspectos clave de la IA, como el funcionamiento básico del procesamiento del lenguaje natural o las capacidades de los modelos de lenguaje, puede generar dudas y entorpecer el uso y por lo tanto su integración activa y eficaz en las aulas.

También debemos destacar los riesgos éticos, sesgos y alucinaciones de la IA, en donde, por ejemplo, las respuestas incorrectas o inventadas y las posibles imprecisiones en la información generada pueden dar una falsa imagen de “conocimiento validado”, con el consiguiente riesgo para un aprendizaje basado en hechos o evidencias. Otros factores de riesgo son la sobredependencia, que deriva en una merma de ciertas habilidades, principalmente si se analiza desde el punto de vista

del alumnado, ya que el uso abusivo y no guiado de la IAG podría conducir a una reducción de la originalidad y la creatividad, así como al desarrollo insuficiente de habilidades fundamentales como el pensamiento crítico y el razonamiento profundo.

Igualmente, persisten considerables desafíos relacionados con la evaluación individualizada, la validez y la fiabilidad. La evaluación de constructos o productos complejos en STEM sigue siendo el talón de Aquiles. La evaluación del “knowledge-in-use”, conocimiento transferible o aplicado, los argumentos o la modelización científica pueden resultar en ocasiones laboriosa y compleja para el propio docente, amplificándose con la mediación de la IA. Aunque la IA ofrece la oportunidad de automatizar puntuaciones y proporcionar retroalimentación individualizada en tiempo real, la validez y fiabilidad de estos resultados sigue siendo crítica, especialmente para respuestas a tareas no estructuradas o abiertas.

Como respuesta a los desafíos o retos anteriormente mencionados, se presenta como una necesidad la adopción de un marco de buenas prácticas que asegure y garantice el uso seguro, ético, razonable y eficaz de esta herramienta en la práctica educativa. En este sentido, a continuación, se muestran algunos ejemplos de buenas prácticas relacionadas con la integración de la IAG en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Esta recopilación de ejemplos no pretende mostrar una visión reduccionista del asunto que nos ocupa, sino que se presenta como una muestra intencional de casos escogidos.

Precisamente en este momento, el papel del docente como guía es, además de una necesidad, una buena práctica en sí. Es el docente quien puede convertir la aplicación de la IAG en una materia concreta, en una oportunidad valiosa para trabajar en el alumnado competencias como, por ejemplo, el pensamiento crítico. La literatura recoge ejemplos de interacciones conversacionales con herramientas de IAG que ponen de manifiesto la aparición de ideas alternativas, errores conceptuales y omisiones de información relevante al ser interrogada sobre cuestiones del ámbito STEAM (Talanquer, 2023). En esta línea, desde un punto de vista didáctico podríamos identificar como buenas prácticas, aquellas intervenciones conducentes a dar a conocer al alumnado distintas herramientas basadas en IAG y recomendaciones para analizar críticamente los resultados generados, al objeto de poder identificar sesgos, imprecisiones o errores en los resultados proporcionados por los algoritmos.

La capacidad del alumnado para juzgar críticamente los resultados arrojados por la IAG puede considerarse una medida fiable de la eficacia de la intervención docente. La intervención docente podrá calificarse como eficaz cuando el alumnado se cuestione críticamente las respuestas proporcionadas por la IAG; sin embargo, cuando los estudiantes utilicen la IA simplemente como un “generador de respuestas”, dicha intervención necesita ser replanteada.

Esta no es la primera vez que la educación científica aborda cómo se puede utilizar la tecnología y cómo determinar su impacto basándose en evidencias de investigación, en relación con su incorporación en propuestas de enseñanza de las ciencias. En esta línea, no puede dejar de mencionarse la IAG como asistente para el

docente en la movilización de competencias instrumentales tradicionalmente alejadas del perfil disciplinar clásico del profesorado de ciencias. Un ejemplo es el caso de la programación y el lenguaje computacional. Existen antecedentes en la literatura que describen propuestas didácticas basadas en programación para la enseñanza de las ciencias (Roldán-Segura *et al.*, 2018). En este sentido, la IAG puede ser un buen aliado del docente en la generación de código, que de otro modo, en el caso de docentes poco experimentados en programación, podría suponer un aprendizaje inasumible a corto plazo, privándolos del uso de estas herramientas.

Por otro lado, en este escenario, los aspectos éticos en relación con el uso de la IAG ocupan también un papel protagonista, y los marcos normativos y éticos actuales se ven obligados a madurar a gran velocidad, ya que la adopción instrumental de estas herramientas en el entorno académico se acelera exponencialmente. De este modo, la inclusión de la IAG en el entorno académico requiere la formulación de principios éticos integrados en sistemas de supervisión y en marcos académicos. Es interesante mencionar, asimismo, la velocidad a la que los sistemas normativos actuales deben evolucionar para contemplar los riesgos asociados al uso de la IAG, una velocidad impuesta por la aceleración exponencial del uso de estas tecnologías.

Una vez más, volvemos al punto de partida: ¿proporcionarán las propuestas de enseñanza-aprendizaje STEM mediadas por IA beneficios medidos, contrastados y validados dentro de nuestro campo de investigación? La alfabetización en IA y el desarrollo de habilidades digitales avanzadas, tanto en el alumnado como en el profesorado, se perfilan como áreas de interés prioritario para la investigación educativa para analizar evidencias sobre la integración de la IA en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Desde una visión algo más crítica, la efectividad del uso de la IAG sigue estando en el aire, ya que no existen aún suficientes evidencias sobre los resultados educativos en términos de productos de aprendizaje, habilidades cognitivas, emociones, autoestima, autoeficacia, actitudes o aprendizaje autorregulado, por poner algunos ejemplos.

CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Este capítulo discute tres ámbitos seleccionados por su relevancia y los retos sociales y ambientales que generan, así como por el papel clave que la educación científica juega en nuestra capacidad de afrontarlas con éxito: la educación para la sostenibilidad, la brecha de género y la utilización de la IAG, en la enseñanza de las ciencias. Para analizar cada uno de ellos, se ha hecho una selección intencionada y crítica de los trabajos publicados en cada línea, con objeto de presentar los principales avances e identificar qué desafíos han de ser abordados y cómo podemos continuar avanzando desde el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. A continuación, se comparte una reflexión final estableciendo nexos comunes y proponiendo futuras líneas de trabajo.

En primer lugar, los tres casos contemplados cuestionan profundamente la educación científica, bien porque surgen nuevos objetivos formativos, o porque se requieren otras formas de enseñar. Al integrar la educación para la sostenibilidad en la enseñanza de las ciencias, además de facilitar la comprensión de las problemáticas ambientales, se busca un cambio en los valores y hábitos de consumo de las personas y también empoderarlas para participar activamente en el desarrollo de soluciones sostenibles. Respecto a la brecha de género, es necesario no sólo cuestionar los estereotipos en ciencia, sino ofrecer una enseñanza de la misma que implique y motive de igual forma a chicos y a chicas, con objeto de desarrollar su identidad en ciencia y evitar la pérdida de talento y perspectiva. Por último, se hace necesario integrar las herramientas de IAG en los procesos de enseñanza aprendizaje, reflejando su uso en ciencia, aprovechando su potencial y preparando a los individuos para hacer un uso crítico, creativo y ético de ellas.

En los tres ámbitos analizados se han hecho aportaciones tanto teóricas como prácticas, encaminadas a afrontar los retos planteados. Sin embargo, a pesar de los progresos llevados a cabo es necesario continuar avanzando. A la vista de lo discutido anteriormente, identificamos algunos aspectos en los que sería conveniente centrar futuros esfuerzos investigadores. El primero tiene que ver con la validación experimental de modelos teóricos que permitan entender la naturaleza de los desafíos particulares asociados a la sostenibilidad, género e integración de la IAG en la enseñanza de las ciencias. En segundo lugar, es necesario trasladar esos marcos teóricos a la formación docente y del alumnado en las distintas etapas educativas, aportando al profesorado destrezas específicas y un conocimiento didáctico del contenido especializado, que le permita trabajar adecuadamente estos aspectos desde la enseñanza de las ciencias, tomando también como referencia los marcos competenciales desarrollados. La tercera línea de trabajo propuesta estaría encaminada a medir de forma rigurosa el impacto de propuestas y recursos innovadores, en cada uno de los ámbitos, para aumentar el número de evidencias de investigación disponibles. Además, sería conveniente profundizar en la comprensión de qué funciona y qué no, a través de investigaciones cualitativas, con la finalidad de desarrollar principios de diseño específicos que permitan afrontar los retos discutidos desde la enseñanza de las ciencias. Esperemos que las reflexiones compartidas en este capítulo contribuyan a orientar nuevas aportaciones significativas desde la Didáctica de las Ciencias Experimentales, en un futuro próximo.

PARTE 2.
EL PROFESORADO Y EL ALUMNADO DE CIENCIAS

Capítulo 9. Los saberes profesionales para enseñar ciencias en las escuelas de hoy

Ana Rivero García¹, Soledad García Gómez², Emilio Solís Ramírez¹ y Soraya Hamed Al-Ial¹

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universidad de Sevilla; ² Departamento de Didáctica y Organización Educativa. Universidad de Sevilla

Contacto: arivero@us.es

*«El conocimiento es navegar
en un océano de incertidumbres
a través de archipiélagos de certezas»*

Edgar Morin

INTRODUCCIÓN

No vamos a redescubrir la rueda si afirmamos que los seres humanos, “no sabemos desde cuándo”, han intentado comprender la realidad para poder intervenir en ella. Taton (1988), en su Historia de la Ciencia refiere que, en el Neolítico, las orientaciones que se daban a los megalitos y menhires estaban relacionadas con la consideración de que la Estrella Polar estaba fija en el Universo. Podemos interpretar este hecho como una aproximación del momento a una interpretación del Sistema Solar. Esto les sirvió para utilizarlo a su favor en el desarrollo de la agricultura y la ganadería, ya que observaron que este hecho tenía implicaciones en el devenir de las estaciones, los ciclos climáticos, etc. Una interpretación parecida le da Sánchez Ron (2025) a las construcciones de Stonehenge en Salisbury (Reino Unido). A este tipo de intentos de comprender la realidad —bien sea a través del razonamiento, de la propia inteligencia, de la experiencia o de las pruebas empíricas—, los discursos filosóficos posteriores le han denominado Epistemología. Se trata de la disciplina que se ocupa de estudiar el conocimiento, su origen, límites y desarrollo.

Este capítulo, dedicado a los saberes necesarios para enseñar ciencias, es también un ejercicio “epistemológico”, pues en lugar de ofrecer un listado organizado de conocimientos y prácticas a dominar, se ha gestado con el propósito de definir cuál es la naturaleza del conocimiento que utiliza y/o debe utilizar el profesorado para afrontar la compleja tarea encomendada.

Son numerosas las líneas de investigación que se han ocupado de ello a lo largo de los años y desborda las pretensiones de este capítulo referirse a todas ellas. Por ello, presentamos las dos que han devenido en ser los marcos teóricos más influyentes en nuestro país: el Conocimiento Didáctico del Contenido (Shulman, 1986) y el Conocimiento Práctico Profesional (Porlán *et al.*, 1997). Ambos marcos resultan

poderosas herramientas, tanto para analizar cómo los docentes transforman los saberes provenientes de diversas fuentes en actuaciones profesionales, como para orientar una formación del profesorado basada en la interacción entre el conocimiento, la reflexión sobre la práctica y la mejora del aprendizaje de las ciencias. A pesar de lo cual, la investigación al respecto pone de manifiesto que sigue existiendo una brecha notable entre la teoría y la práctica. Consideramos que las recientes aportaciones del movimiento *Core Practices* (Grossman, 2018) a esta problemática pueden contribuir a reducir dicha brecha, motivo por el que le dedicamos algunas líneas.

Para que las perspectivas teóricas citadas sean realmente útiles, deben ponerse en constante conversación con las peculiaridades de los docentes y de los contextos en los que desarrollan su trabajo, pues solo así se podrá asegurar que estamos caracterizando un conocimiento genuinamente profesionalizado y funcional para la mejora de la enseñanza de las ciencias y el aprendizaje del alumnado. Este convencimiento nos ha llevado a incorporar algunas pinceladas de las peculiaridades del trabajo docente a partir de datos aportados por informes varios. No olvidamos que el contexto escolar está inserto en un contexto social más amplio, que en el momento actual plantea retos sin precedentes a la educación. Entre ellos podemos citar: la extensión del uso de las tecnologías y la irrupción de la inteligencia artificial, la expansión de la desinformación científica en entornos sociales y digitales, la creciente crisis ecológica y social, con sus enormes implicaciones en el aumento de las desigualdades, las injusticias y la violencia, etc. Finalizamos planteando algunas ideas y sugerencias acerca de por dónde y cómo puede continuar la investigación centrada en la definición de los conocimientos y prácticas profesionales docentes.

CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO

Esta línea de investigación impulsada por Shulman (1986, 1987) definió el Conocimiento Didáctico del Contenido (*Pedagogical Content Knowledge* [PCK]) como una amalgama especial entre el conocimiento del contenido y el conocimiento de la pedagogía necesaria para su enseñanza. Este enfoque fue muy bien acogido desde el principio por las Didácticas Específicas ya que las reconocía y valoraba.

El creciente interés por comprender la naturaleza de este conocimiento y su gestación dio lugar a la aparición de varios modelos. Uno de los más influyentes fue el concebido por Magnusson *et al.* (1999), quienes lo concibieron como un conocimiento personal, resultado de la transformación del conocimiento de otros dominios, desglosándolo en cinco componentes en el caso de la enseñanza de las ciencias:

- 1) orientaciones hacia la enseñanza (los fines de la educación científica, los enfoques o modelos generales de enseñanza y las creencias y valores de los docentes),
- 2) conocimiento del currículo de ciencias,

- 3) conocimiento de la comprensión de los estudiantes de ciencias,
- 4) conocimiento de la evaluación de la alfabetización científica, y
- 5) conocimiento de las estrategias de enseñanza.

Añadieron el componente “orientaciones”, no identificado por otros autores, para destacar que aquellas influían notablemente en las decisiones didácticas que el profesorado tomaba respecto al diseño de los contenidos, las actividades, la evaluación del aprendizaje del alumnado y el uso de los materiales curriculares.

La diversidad de conceptualizaciones del PCK en la literatura ha sido notable, hasta el punto de que Kind (2009) llegó a identificar nueve variantes. Los principales motivos de controversia venían siendo: las interacciones entre los tipos de conocimientos y sus resultados (que dieron lugar al modelo integrador y al transformativo); si se limitaba a ser un conocimiento tácito que se podía inferir a partir de la acción o incluía conocimientos explícitos; cuáles eran sus componentes; qué otros conocimientos y elementos influían en él y cómo lo hacían; cómo las prácticas de colaboración entre docentes sobre qué y cómo enseñar influían en su desarrollo; o, cómo el componente afectivo y la autoeficacia del docente lo conformaban. Todos estos debates motivaron que algunos autores se pronunciaran asegurando que no existía un problema de definición del PCK, sino que existían distintos tipos de PCK (Lee y Luft's, 2008).

Esta situación motivó a un grupo de académicos (Julie Gess-Newsome, Janet Carlson y April Gardner) a organizar la conocida como Cumbre del PCK, celebrada en 2012 en Colorado (Estados Unidos), para re-examinar el constructo. En ella se consensuó un modelo integrado de conocimientos y habilidades profesionales docentes para la enseñanza (*Consensus Model de Teacher Professional Knowledge and Skill* [TPK&S]) (Berry *et al.*, 2015; Gess-Newsome, 2015), entre los que se incluyó el PCK en una estructura de múltiples capas y flujos (Figura 9.1).

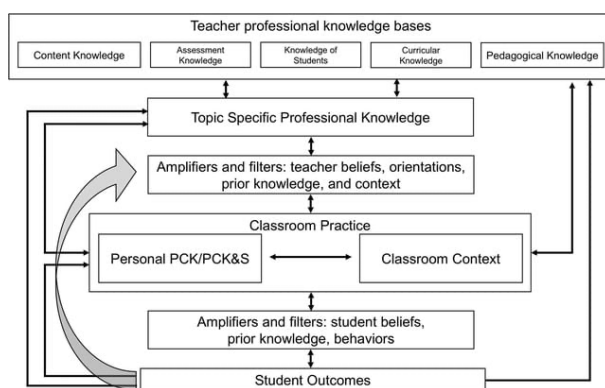


Figura 9.1. Modelo consensuado de conocimientos y habilidades profesionales docentes que incluye el PCK. Tomado de Gess-Newsome (2015, p. 86)

El *Teacher Professional Knowledge Bases (TPKB)* se consideró como el conocimiento general y público de la profesión docente, un conocimiento “para” los maestros, preparado por los expertos en Ciencias de la Educación.

El *Topic-Specific Professional Knowledge (TSPK)* se caracterizó como el conocimiento propio de la profesión docente en ciencias, resultado de la integración de los anteriores. Se definió en términos similares a como se entendía el PCK desde la perspectiva integradora, como un conocimiento distinto, susceptible de ser enseñado de forma diferente a los anteriores, pero codificado por expertos (lo que podríamos entender como el conocimiento de la Didáctica de las Ciencias).

El PCK fue situado más abajo en el marco de la práctica en el aula, siendo caracterizado por su carácter personal y estando conformado por conocimientos y habilidades. Se definió como “el conocimiento, el razonamiento subyacente y la manifestación de la enseñanza de temas específicos, con estudiantes particulares, por razones particulares para mejorar el aprendizaje de los estudiantes” (Carlson *et al.*, 2015, p. 24). Este modelo consensuado no se pronunció sobre si este PCK responde a un modelo integrativo o transformativo, dejando esta cuestión abierta a interpretaciones. Tampoco definió ni caracterizó cuál era su estructura interna, ni los conocimientos ni las habilidades que lo conformaban.

Al incluir dos conjuntos de “amplificadores” y “filtros” (creencias, orientaciones, conocimiento previo y contexto del profesorado, y creencias, conocimiento previo y comportamientos de los estudiantes), algunos de estos elementos perdían su condición de “componentes” del PCK (a diferencia de lo que habían propuesto otros autores en modelos anteriores). Se ha seguido discutiendo, entre otros asuntos, si el situar las “orientaciones” como filtro en lugar de como componente, es una declaración sobre el impacto relativo de las creencias y fines de la educación en general, y de la educación científica en particular, en las prácticas reales de los maestros. Se indica también que se reconoce la influencia de los aspectos afectivos y de autoeficacia, aunque no se llegaron a representar en el esquema, dejando pendiente una discusión más a fondo sobre el papel de tales amplificadores y filtros (Kind y Chan, 2019). Todo ello hace que el modelo, a pesar de tener fortalezas, mantenga aún algunas debilidades, siendo quizás la más relevante que de él no deriven orientaciones claras para promover su desarrollo.

Investigaciones empíricas posteriores utilizando este marco señalaron que el TSPK era un conocimiento distintivo y relacionado con el conocimiento de la materia y el conocimiento de las ciencias de la educación, el más influyente en la instrucción en clase. Sin embargo, no disponemos de resultados definitorios sobre si deben abordarse en la formación del profesorado en un orden determinado o no. También hay dudas acerca de si se puede caracterizar el PCK solo como personal o también como canónico (consensuado a partir de la interacción entre la teoría y la práctica profesional, acordado por un grupo de docentes que trabajan juntos); sobre si el PCK debe considerarse específico de un contenido concreto de ciencias o puede caracterizarse como específico de una temática o de una disciplina (Kind y Chan, 2019); y, si tiene o no una estructura interna.

Para tratar de dar respuesta a los interrogantes que surgían al hilo de los nuevos debates, se propuso el Modelo de Consenso Refinado (*Refined Consensus Model* [RCM]) (Carlson *et al.*, 2019). Este modelo sitúa la práctica docente en el centro y la rodea por "capas complejas de conocimiento y experiencias que conforman y transforman el PCK a lo largo de la carrera docente y, a su vez, median los resultados de los estudiantes" (p. 82). Comentamos brevemente las distintas capas (Figura 9.2):

- Capa más externa, conformada por las bases ampliadas de conocimiento profesional docente (TPKB): el conocimiento del contenido, el de los estudiantes, y el pedagógico general y específicamente relacionado con la enseñanza.
- Capas internas, donde se diferencian tres tipos interrelacionados de PCK: el *colectivo*, el *personal* y el *manifestado*, reconociendo formas compartidas y formas individuales conectadas entre sí, así como formas explícitas e implícitas de conocimiento. El *colectivo* se refiere al conocimiento relacionado con la enseñanza de las ciencias compartido y público (por tanto, explícito) y que se puede organizar a nivel de tópico, de dominio, o de disciplina. El elaborado por la Didáctica de las Ciencias se incluye en esta capa. El *personal* se refiere al conocimiento acumulado de un docente fruto de toda su experiencia, de la formación que recibe y del intercambio con compañeros o con investigadores, que se ve influido y moldeado por el contexto en el que desarrolla su enseñanza. En éste se referencian, como determinantes de la enseñanza y del aprendizaje que se lleva a cabo, las políticas educativas, las características y las identidades de los centros educativos o de los estudiantes (diversidad, condiciones de vida, etc.).

En el corazón del RCM se sitúa el PCK *manifestado*, entendido como los conocimientos y habilidades específicas utilizadas por el docente individual en un entorno particular, con un grupo de estudiantes concretos, con el objetivo de que estos aprendan un concepto, una colección de conceptos o un aspecto particular de la disciplina. De esta forma, en el momento de la enseñanza, un docente transforma elementos de su PCK personal en un PCK manifestado, que solo se vuelve visible (o que se puede inferir mejor) cuando se examinan sus acciones (Alonzo *et al.*, 2019).

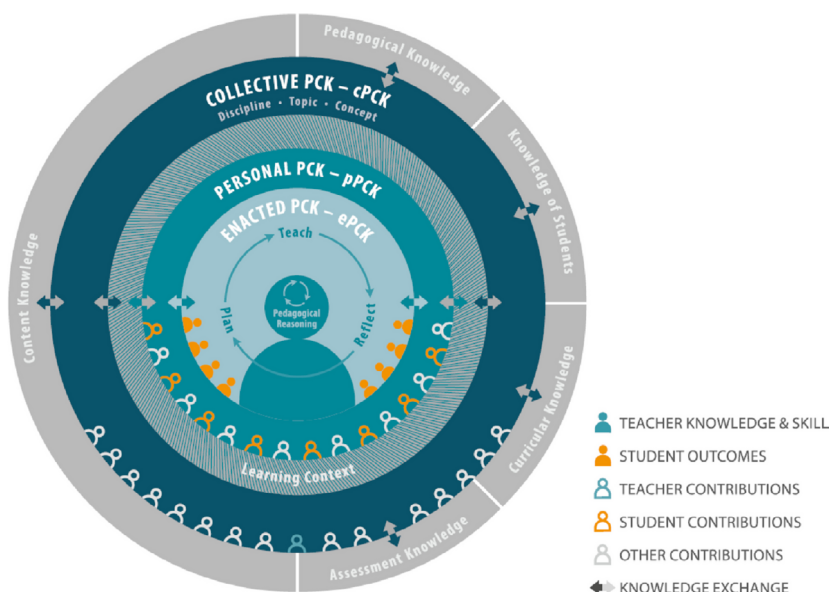


Figura 9.2. *Modelo de consenso refinado de PCK para la enseñanza de las ciencias*. Tomado de Carlson *et al.* (2019, p. 83).

En este modelo se subraya que el PCK es dependiente del contexto, que se fortalece cuando el profesorado participa en procesos de planificación, enseñanza y reflexión, en los que el razonamiento pedagógico opera como el mecanismo central que articula las transformaciones entre los diversos tipos de conocimientos considerados (Alonzo *et al.*, 2019). Las dobles flechas entre cada capa son importantes. Así, además de reconocerse las influencias de las capas externas en las más internas, se entiende que un profesor individual, a través de la conversación y el intercambio, puede contribuir al PCK colectivo en ciencias. Sería construido por un grupo de profesores participando en un proyecto de investigación de educación científica o una comunidad de aprendizaje profesional organizada la cual, en última instancia, puede informar las bases más amplias de conocimiento profesional. En cierta medida resuelve algunas de las deliberaciones de los debates sobre el PCK: su naturaleza tácita o expresa, su individualidad o colectividad, su adscripción a un solo tópico o a una disciplina, el papel de la colaboración entre docentes, etc. En cambio, continúa sin pronunciarse sobre si tiene una estructura interna y sobre el papel de las orientaciones en su formulación y desarrollo. Es una línea actual de investigación que sigue dando pasos en su propósito de clarificación conceptual y de traslación a experiencias formativas.

CONOCIMIENTO PRÁCTICO PROFESIONAL

En el ámbito nacional, a principio de la década de los noventa, un grupo de profesores y profesoras de la Universidad de Sevilla, a los que a lo largo de estos años se han ido incorporando colegas de distintos niveles educativos y lugares, constituyeron la red IRES (Investigación y Renovación Escolar) en torno a un proyecto de enseñanza y formación del profesorado. En el seno del mismo se realizaría una primera aproximación al constructo Conocimiento Práctico Profesional del profesorado (Cañal *et al.*, 1991).

El grupo de investigación DIE (Didáctica e Investigación Escolar) se ocupó, igual que se hizo en la línea expuesta en el anterior apartado, de definir qué y cuáles son los conocimientos profesionales necesarios para enseñar. Pero a diferencia de aquella, en la que el origen estuvo en intentar comprender mejor esa amalgama de conocimientos que se manifestaba en la acción de enseñar contenidos disciplinares concretos —que podríamos denominar perspectiva micro—, para ir pasando a otros conocimientos y sus relaciones, en nuestro caso se partió de un análisis muy influido por perspectivas transversales y generales, como el constructivismo, la complejidad y la perspectiva crítica —que podríamos denominar perspectiva macro— para, desde ahí, discriminar, organizar e intentar desmenuzar los saberes relacionados con la profesión docente y sus relaciones.

Fruto de este empeño, el Conocimiento Práctico Profesional (CPP) fue definido como aquel que resulta de tres fuentes principales de conocimiento de distinta naturaleza (Porlán *et al.*, 1997; Porlán y Rivero, 1998):

- Los saberes metadisciplinares, que incluyen conocimiento sobre la naturaleza del conocimiento —en general y del conocimiento de la materia en particular—, sobre la construcción de dicho conocimiento y sobre ideologías, finalidades y valores. Se pueden relacionar con las denominadas “orientaciones”, que aparecieron solo en algunas de las versiones del PCK, aunque allí se entendieron desde una perspectiva más reducida.
- Los saberes disciplinares básicos, que incluyen el conocimiento de la materia, el conocimiento psicopedagógico y el conocimiento aportado por la Didáctica de las Ciencias. Identificables con los conocimientos base en el PCK.
- Los saberes experienciales, que incluyen los saberes rutinarios, guiones, principios y creencias personales fruto del bagaje experiencial del docente. Desde el PCK se entienden como un filtro o amplificador, más que como un saber propiamente dicho.

Conjugando estas tres fuentes se plantea que el conocimiento profesional está compuesto por cuatro tipos de conocimientos organizados en torno a dos ejes: el racional-experiencial y el expreso-tácito (Figura 9.3).

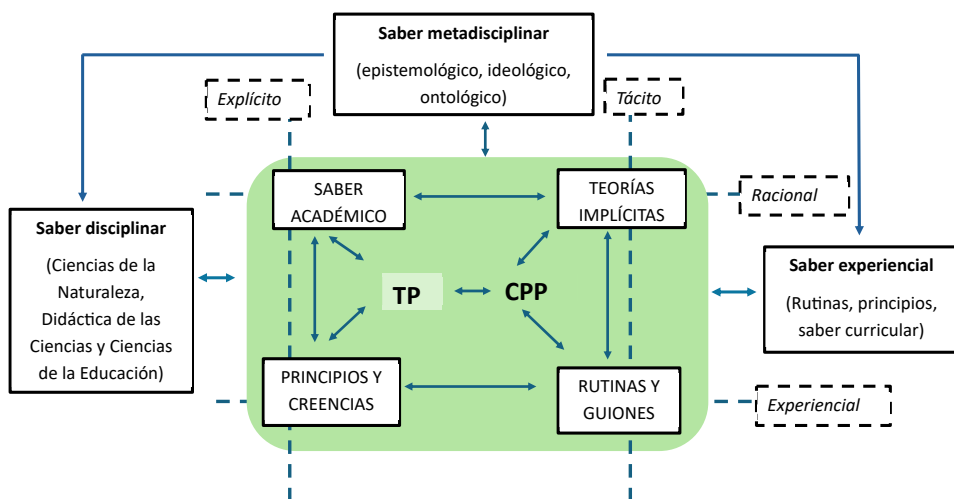


Figura 9.3. *Modelo de Conocimiento Profesional del Profesorado*. Reformulado a partir de la propuesta de Porlán *et al.* (1997).

En el eje racional se distinguen dos saberes

- El académico, que incluye lo que el profesor conoce de la materia y las ciencias de la educación, lo que aprende en los procesos de formación o autoformación. Es explícito.
- Las teorías implícitas, que incluyen todas las teorías que sustentan de forma no consciente las decisiones y acciones de los enseñantes (y que se sitúan en este eje porque son formuladas racionalmente por un observador externo). Es tácito.

En el eje experiencial se incluyen otros dos saberes:

- Los principios y las creencias sobre la enseñanza que el docente ha racionalizado a partir de su experiencia. Es explícito.
- Los guiones y rutinas que organizan la enseñanza, aunque el docente no sea consciente de ello. Es tácito.

Los saberes explícitos de los docentes pueden encontrarse de forma simplificada o de forma rica y compleja. Los implícitos pueden mantenerse como tales o, con ayuda y a partir de la reflexión sobre la propia práctica, pueden cambiar. Si se toma conciencia de ellos y se reformulan pueden llegar a integrarse en las formas explícitas. Por otro lado, estos conocimientos pueden estar presentes en el profesorado de forma yuxtapuesta, admitiéndose contradicciones entre ellos, o pueden mantener relaciones profundas y coherentes entre sí. Cuando esto ocurre aparecen las denominadas teorías prácticas.

Estas consideraciones llevaron a diferenciar entre dos tipos de conocimientos en un continuo: el “Conocimiento Dominante” y el “Conocimiento Deseable” (Tabla 9.1).

Como se puede observar en la Tabla 9.1, esta línea de investigación sí aportó una propuesta concreta acerca de cómo organizar internamente el Conocimiento Práctico Profesional. Se propusieron así los “Problemas Prácticos Profesionales” (PPP) (Porlán *et al.*, 2010), vinculados al desarrollo del currículum (tanto a nivel de planificación, como de acción y reflexión sobre la acción).

Tabla 9.1. Problemas Prácticos Profesionales y su relación con el nivel de desarrollo del profesorado.

Niveles de desarrollo profesional del profesorado		
PPP relativos a...	Conocimiento profesional dominante (Nivel de partida)	Conocimiento profesional deseable (Nivel de referencia)
El conocimiento		
¿Qué sabemos los docentes acerca de los tópicos del currículo de ciencias? ¿Qué deberíamos saber?	Visión enciclopédica	Visión relativa, evolutiva e integradora
Las ideas del alumnado		
¿Qué ideas tienen los alumnos en relación con los fenómenos que estudia la ciencia?	No existen o no son relevantes para la incorporación de conocimientos	Son conocimientos alternativos, a partir de los cuales se construye conocimiento
Los objetivos y finalidades		
¿Cuáles deben ser los fines de la enseñanza de las ciencias?	Adquirir conocimientos científicos	Complejizar y enriquecer el conocimiento cotidiano del alumnado a partir del conocimiento científico, pero considerando también otras fuentes relevantes, para que tenga más potencialidad explicativa y promueva una acción fundamentada en el medio
Los contenidos		
¿Cuál es la naturaleza de los contenidos escolares? ¿Qué tipos de contenidos existen?	Versión simplificada y enciclopédica de los contenidos científicos	Conocimiento escolar que integra saberes (disciplinares, cotidianos, ambientales, ...)

Niveles de desarrollo profesional del profesorado		
PPP relativos a...	Conocimiento profesional dominante (Nivel de partida)	Conocimiento profesional deseable (Nivel de referencia)
La metodología		
¿Qué metodología de enseñanza es más adecuada para favorecer la evolución de las ideas de los alumnos? ¿Cómo abordar la diversidad del alumnado?	Transmisiva (explicación más ilustración)	Investigación escolar de problemas significativos y relevantes
La evaluación		
¿Cómo evaluar de manera que sirva para mejorar el aprendizaje de los alumnos y la enseñanza del profesor? ¿Qué papel deben jugar alumnos y profesores?	Comprobatoria y finalista	Proceso de seguimiento de la evolución real del conocimiento del alumnado y mecanismo de reajuste de la enseñanza

La selección de estos problemas y la definición de los conocimientos dominante y deseable resultaron funcionales para analizar los resultados de las investigaciones empíricas y proponer progresiones orientadoras de la evolución del conocimiento profesional (Hamed, 2017; López-Lozano, 2017; Solís, 2005).

Podemos decir que la formulación de este CPP y sus componentes y relaciones ha permanecido estable desde principios de este siglo, si bien, en posteriores desarrollos se han tomado en consideración las emociones, reconociéndolas como un elemento potenciador o inhibidor del desarrollo profesional, analizando su influencia en dicho desarrollo (Jiménez Fontana *et al.*, 2024). También se ha otorgado más importancia al contexto general en el que se desarrolla la enseñanza de las ciencias, fundamentalmente con relación a la crisis ecosocial, dadas sus notorias implicaciones, que afectan tanto a los fines de la enseñanza de las ciencias como a los contenidos a enseñar y a los tipos de actividades y recursos a priorizar (Figura 9.4).

Para finalizar, se puede destacar que en esta línea de investigación, a diferencia de lo que ocurría en la anterior, no se ha hecho una diferenciación de distintos tipos de CPP. En futuros estudios se podría hacer una distinción más sistemática entre el conocimiento declarado y el conocimiento en la acción de enseñar, pues el análisis de las diferencias podrá orientar la comprensión de los procesos de desarrollo profesional.



Figura 9.4. *Modelo actualizado de Conocimiento Práctico Profesional*. Elaboración propia.

PRÁCTICAS CLAVE

Las dos líneas de investigación expuestas anteriormente ponen en juego tres grandes elementos: la teoría, la práctica y la reflexión —o razonamiento pedagógico—, en torno al desarrollo del currículum. Las reconocen como elementos promotores de la generación de un conocimiento profesional para la enseñanza, tomando en consideración múltiples saberes “teóricos” y “prácticos”. Sin embargo, los desarrollos de ambas líneas siguen enfrentándose a la referida brecha teoría-práctica, a la distancia y separación entre las producciones de la investigación y la práctica profesional real.

Como anunciábamos, para afrontar esta disociación consideramos de interés prestar atención a las aportaciones que se están realizando desde el movimiento *Core Practices* (Grossman, 2018). En nuestro país algunos autores han traducido esta expresión como Prácticas Clave, aunque reciben otros nombres en otros contextos.

Las prácticas claves se refieren a estrategias, rutinas y movimientos que los profesores despliegan para apoyar el aprendizaje. Se tiene en cuenta que diversos estudios muestran que saber algo no es sinónimo de saber hacerlo, de manera que la mejora y complejización del conocimiento profesional para enseñar no conduce necesariamente a enseñar mejor. Definir las prácticas coherentes con los conocimientos que se propugnan se valora como esencial para este fin. Se entienden como componentes identificables, que los formadores pueden enseñar y los docentes pueden aprender en los contextos de formación. Para ello es imprescindible desarrollar un lenguaje y una estructura para describirlas, lo que se ha denominado una *gramática de la práctica*.

La práctica de la enseñanza se entiende aquí como un trabajo que implica un pensamiento complejo, un juicio profesional y una reflexión continua en torno a

cómo se está apoyando el aprendizaje de los estudiantes y cómo se están consiguiendo los objetivos educativos. Se aspira a identificar, desglosar y definir cuáles son las más decisivas, de manera que no se pierda ni la complejidad inherente al acto de enseñar (no son simples técnicas o rutinas desconectadas de la teoría), ni la conexión con los objetivos de aprendizaje, que deben estar contextualizadas, ni con los enfoques de enseñanza adoptados.

Decidir cuáles son las prácticas clave es una tarea laboriosa. Para el caso de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias se han hecho propuestas ampliamente conocidas, como las de Windschtl *et al.* (2012) o la de Kloser *et al.* (2014). En el contexto español, Rivero y Jiménez-Liso (2021) hicieron una primera aproximación y las agruparon en torno al diseño, la implementación y la evaluación de la enseñanza de las ciencias. Más recientemente se ha presentado un simposio sobre ellas con trabajos de diversos autores en el 12º Congreso sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias.

Las prácticas clave están siendo exploradas más allá de su vinculación con disciplinas particulares. Por ejemplo, Pupik *et al.* (2023) han indagado acerca de cuáles son las prácticas clave a desarrollar para llevar a cabo una enseñanza basada en proyectos. Fruto de su estudio proponen un conjunto de ellas organizadas en relación con los objetivos básicos del aprendizaje basado en proyectos. En la Tabla 9.2 se presenta cada práctica clave vinculada a estrategias que los docentes utilizan, las cuales pueden ser diversas en función de los contextos concretos.

Tabla 9.2. Objetivos, prácticas clave y algunas estrategias para el aprendizaje basado en proyectos.

Objetivo	Práctica clave	Estrategias
Aprendizaje del área temática (disciplina)	Integrar los contenidos del área temática con el proyecto	
	Evaluar el progreso de los estudiantes a través de actividades de proyecto	Establecer metas al inicio de la clase y reflexionar sobre los logros al final de la misma
		Revisar el trabajo de los grupos mientras lo desarrollan haciendo preguntas de sondeo
Autenticidad del proyecto (auténtico)	Enfocar proyectos en problemas reales	Invitar a clase a expertos externos (miembros de ayuntamiento, asociaciones...) y conectar el proyecto con problemas reales de la comunidad
	Asegurarse de que los estudiantes encuentren significado en los proyectos	
	Conectar los pasos y actividades provisionales del proyecto con los objetivos del proyecto	Elaboración de rúbricas que analizan dicha conexión y promover su uso por parte de los estudiantes

Objetivo	Práctica clave	Estrategias
Retroalimentación, reflexión y revisión (iterativa)	Proporcionar retroalimentación	Círculo en la clase al final de la sesión impulsando a los estudiantes a reflexionar sobre su trabajo
	Desarrollar sistemas para el proceso de reflexión y apoyarlo	Planificar tiempos de “parada” en el desarrollo del proyecto para la reflexión
		Responder a las preguntas de los estudiantes con otra pregunta y/o sugerencia de cómo abordarla, en lugar de responderla directamente
	Desarrollar sistemas para apoyar el proceso de dar y recibir retroalimentación de otros	
Agencia en comunidades de aprendizaje (colaborativa)	Facilitar la revisión	
	Apoyar la elección y la apropiación del proceso de aprendizaje por parte de los estudiantes	
	Cultivar la capacidad de los estudiantes para trabajar en colaboración para alcanzar los objetivos del proyecto	

Integrando ambos aspectos (disciplina y enfoque metodológico), Delgado-Mayoral *et al.* (2024), a partir de la observación de las clases de cinco expertos formadores de maestros, han definido las prácticas clave —a las que han denominado “acciones docentes clave”— para una enseñanza de las ciencias mediante indagación basada en modelos. En la Tabla 9.3 se recoge su propuesta en torno a una de las fases con las prácticas clave asociadas y ejemplos de estrategias.

Tabla 9.3. Ejemplo de fase, prácticas clave y estrategias para la enseñanza de las ciencias mediante investigación basada en modelos.

Fase	Prácticas clave	Estrategias
Planificar el diseño de búsqueda de pruebas	Asegurar que la actividad es entendida	Presentar ejemplos de planificaciones
		Focalizar en contextos investigables
		Proponer trabajo individual previo al trabajo en grupo
	Fomentar la creatividad en los diseños experimentales	Favorecer la expresión de la planificación en distintos lenguajes (escrito, dibujos...)
	Gestionar los recursos y materiales	Aportar los materiales a petición del alumnado
	Favorecer la expresión/evaluación de la planificación	Puestas en común con la técnica del puzzle
		Valorar las planificaciones mediante preguntas: qué se quiere conseguir, qué se quiere medir, etc.

Los diversos esfuerzos que se están realizando desde esta línea de investigación nos parecen especialmente valiosos para apoyar el conocimiento en la acción, por lo que consideramos interesante seguir avanzando en esta dirección.

ALGUNOS DESCRIPTORES DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROFESORADO EN ESPAÑA

Diversos estudios coinciden en que el desarrollo profesional depende no solo del conocimiento que el profesorado posee o las prácticas que domine, sino de las experiencias profesionales, socioculturales y formativas que les permiten activar, cuestionar y refinar dichos conocimientos y prácticas en interacción con los estudiantes (Rivarossa y Perales-Palacios, 1998). Los procesos de desarrollo profesional del profesorado en activo acontecen en coordenadas concretas, delineadas en particular por las peculiaridades de cada centro educativo y por el contexto social donde se enmarcan. Así, compartiendo el mismo marco normativo podemos identificar prácticas de enseñanza diferentes en las aulas.

Dedicamos pues este apartado a enunciar algunas características de la profesión docente en la actualidad. Lo hacemos apoyándonos en datos ofrecidos por diversos informes, en lugar de hacerlo a partir de una revisión exhaustiva de la literatura, siendo conscientes de los sesgos atribuibles a aquellos. Por ejemplo, en la edición de 2024 del Estudio Internacional de Enseñanza y Aprendizaje —TALIS— (Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes —MEFPD—, 2025) se preguntaba a los docentes participantes cuáles eran sus necesidades de formación a elegir entre una lista de 15 temáticas.

Ninguna de ellas tenía relación con la educación para la sostenibilidad ni con herramientas educativas para afrontar la crisis ecosocial actual. Por ello, es probable que las conclusiones del informe acerca de cuáles son las áreas de formación que demanda el profesorado no reflejen fielmente la realidad. A pesar de lo cual pensamos que este tipo de informes aportan datos relevantes para conocer más y mejor al profesorado y sus prácticas docentes. Datos que habrán de ser contrastados y analizados con mayor profundidad a través de investigaciones específicas.

Sobre el acceso a la profesión docente

En la actualidad muy pocos estudiantes del Grado en Educación Primaria han cursado la rama de Ciencias en el bachillerato (Martín-García *et al.*, 2023), lo cual incide en su posicionamiento con respecto a la enseñanza de estas. Sabemos que un conocimiento adecuado de la materia es preciso para poder enseñarla (pues no incluye solo el conocimiento “de”, sino el conocimiento “sobre” los conceptos estructurantes o grandes ideas, su evolución histórica, etc.). Es imprescindible saber ciencias para llevar a cabo todas las actividades profesionales: seleccionar y organizar

los contenidos, relacionarlos con los contextos reales, comprender las dificultades de los estudiantes, diseñar actividades, etc. Es por tanto una limitación para quienes han de enseñarlas el partir de una actitudes y experiencias previas poco favorables, ya que les genera falta de confianza.

Un problema más perentorio es que, según un informe de la UNESCO (2023), hoy en día, a nivel mundial, se necesitan 44.000.000 de docentes adicionales de primaria y secundaria, siendo esta última etapa la más necesitada. En España aún no disponemos de datos oficiales al respecto, pero el déficit empieza a ser perceptible en algunas áreas de conocimiento y regiones (Tahull y Molina-Luque, 2025), siendo previsible su aumento dadas las numerosas jubilaciones que tendrán lugar en la próxima década. Los efectos de este hecho pueden ser importantes. En el periódico El País se publicó el 12 de noviembre de 2025 un artículo cuyo titular era: “Los profesores sin la formación obligatoria ya están dando clase en los institutos de Madrid”. Se hacía eco de la incorporación a las clases para ejercer como docentes de graduados universitarios sin el máster profesionalizante que exige la ley.

Atendiendo a los datos aportados por TALIS 2024 (MEFPD, 2025), se vislumbra otro fenómeno en paralelo: está al alza el porcentaje de docentes de secundaria que acceden a la profesión tras haber trabajado entre 6 y 20 años en otros ámbitos no relacionados con la enseñanza.

Acerca del trabajo docente

Los datos relativos a las tareas que desempeñan los docentes, según los datos del informe español de TALIS 2024 (MEFPD, 2025), son similares a los de otros países de la Unión Europea: 14% del tiempo se dedica a preparar clases, 45% a dar clases, 9% a evaluar, 5% a asuntos administrativos y 27% a otras tareas (coordinarse con los colegas, asesorar al alumnado, participar en la gestión escolar, formarse, comunicarse con las familias o participar en actividades extracurriculares). En primaria se dedican más horas a dar clases y menos a la evaluación. Por tanto, casi el 70% de su desempeño profesional está dedicado a tareas vinculadas directamente con la enseñanza y el desarrollo del currículum escolar. Se identifican dos estilos de enseñanza entre el profesorado encuestado: uno más estructurado y directivo (centrado en tareas como establecer los objetivos al inicio de la clase, señalar los aprendizajes esperados y relacionar los nuevos contenidos con los anteriores), y otro de carácter más activo y abierto (centrado en la realización de tareas sin solución obvia, el uso de enseñanza por proyectos y el fomento de la argumentación crítica en los estudiantes) (MEFPD, 2025). Este último, vinculado a las metodologías activas, tiene más presencia en España que en otros países europeos. De todas formas, no es muy frecuente. En esta línea resulta también significativo el dato que aporta el informe de la Fundación SM (2023): el 47% del profesorado no se considera libre

para usar sus propios materiales didácticos en pro del aprendizaje del alumnado, por lo que la falta de autonomía profesional es palpable.

Las tareas de evaluación y las administrativas son las peor valoradas por los docentes, estas últimas porque consideran que les restan tiempo de las clases y de la interacción con el alumnado. El profesorado lleva a cabo tanto prácticas de evaluación sumativa (exámenes finales y calificación normativa —que sitúan al estudiante en relación con el resto del grupo—), como de evaluación formativa (observación, retroalimentación y autoevaluación), no adhiriéndose plenamente a ninguno de estos dos enfoques. La observación directa, la retroalimentación y la evaluación final ligada únicamente a la calificación están ampliamente extendidas, mientras que la autoevaluación del alumnado es menos habitual. El enfoque de evaluación sumativa es más frecuente en secundaria que en primaria (MEFPD, 2025).

El uso por parte del profesorado español de las tecnologías se sitúa por debajo de los promedios internacionales. Sólo el 52% del profesorado de secundaria considera que las herramientas digitales mejoran el rendimiento académico y el 58% que ayudan a planificar y a hacer seguimiento del trabajo del alumnado. Tampoco confían ampliamente en su potencial para mejorar la motivación. En educación primaria los resultados son más positivos, sobre todo en relación con su papel para motivar al alumnado y aumentar su rendimiento académico. El uso de la inteligencia artificial por parte del profesorado no alcanza hasta la fecha valores altos en relación con los valores promedios, siendo la educación primaria la etapa donde es menos utilizada (28%). El profesorado no confía mucho en sus bondades para facilitar la planificación de la enseñanza, ni la adaptación de materiales, ni la atención al alumnado con necesidades específicas, ni siquiera para realizar tareas burocráticas. Su posicionamiento se sustenta en la falta de formación, en resistencias ideológicas y emocionales, y en la identificación de riesgos asociados a su uso (plagio y contenidos inapropiados) (MEFPD, 2025).

La gestión del comportamiento en el aula resulta difícil para el profesorado español, que recurre con mayor frecuencia que el promedio europeo a estrategias de gestión de dicho comportamiento. Aproximadamente 6 de cada 7 docentes de educación secundaria deben recordar en todas o en la mayoría de las clases las normas del aula y pedir al alumnado que atienda. De igual modo, 4 de cada 5 intenta calmar al alumnado disruptivo y 3 de cada 4 necesita poner orden al inicio de todas o la mayoría de las clases (MEFPD, 2025).

En el informe de la Fundación SM (2023) el profesorado también subrayaba como un escollo para su desempeño profesional la falta de motivación del alumnado, resaltando las dificultades que tiene para interesarle por las materias escolares.

Otra fuente de desasosiego identificada en TALIS 2024 es la atención al alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo. En el informe se declara que "el principal talón de Aquiles en España es la gestión de la diversidad y de las necesidades especiales, con coeficientes negativos en ambas etapas" (MEFPD, 2025, p. 182).

Acerca de la satisfacción profesional

Los datos previamente expuestos podrían trasladar una imagen pesimista de la profesión, sin embargo, TALIS 2024 sitúa a España entre los países con mayor satisfacción laboral, tanto en secundaria (95,1%) como en primaria (96,6%), superando los promedios de la OCDE y de la Unión Europea (MEFPD, 2025). Las profesoras manifiestan un nivel de satisfacción ligeramente superior al de los profesores.

A pesar de ello, según el informe de la Fundación SM (2023), las muestras de estrés, cansancio y/o desilusión van en aumento, estando detrás de los índices crecientes de abandono de la profesión: "el estado de ánimo más habitual del 38% de los docentes en su trabajo es el distanciamiento y la indiferencia" (p. 34), "uno de cada tres docentes ha padecido falta de ilusión y dos de cada cinco, agotamiento, ansiedad y depresión" (p. 44).

Si miramos las causas, el informe revela que el principal motivo de estrés es la posibilidad de ser intimidados o insultados por parte del alumnado y/o de sus familias. Es reseñable que el profesorado de secundaria más joven (menor de 30 años) declara niveles de estrés más elevados que quienes tienen más de 50 años (MEFPD, 2025).

La atención a la diversidad mediante la adaptación de las clases para el alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo es otra fuente de estrés referida. Aparte de la exposición a insultos e intimidaciones, el profesorado de secundaria señala que las situaciones que le generan más estrés son: estar al día de los cambios curriculares o proyectos de centro y ser responsable del bienestar del alumnado. En el caso de primaria, el trabajo burocrático y la variabilidad de los requisitos de la administración educativa también resultan problemáticos (MEFPD, 2025).

Acerca de la formación permanente

Los docentes españoles participan con cierta frecuencia en actividades formativas, predominando los formatos convencionales y a título individual (cursos, talleres o programas de titulación formal), en mayor proporción que sus colegas europeos, en los que la participación en actividades colaborativas y de mayor implicación (visitas a otros centros, asistencia a conferencias, reflexión sobre el aula) es más frecuente.

Aproximadamente, la mitad del profesorado (algo más en primaria y menos en secundaria) considera que la formación recibida ha tenido un impacto positivo en su enseñanza.

Las temáticas más habituales de la formación que reciben, a la luz de lo preguntado, giran en torno al fortalecimiento de las competencias curriculares y pedagógicas. Las tendencias son diferentes según las etapas: en primaria priman los enfoques inclusivos y organizativos, mientras que en secundaria se mantiene un foco más disciplinar y evaluativo. La inteligencia artificial, la atención a la diversidad y el

bienestar socioemocional del alumnado son temáticas que se abren camino, frente a aquellas centradas en los contenidos a enseñar (MEFPD, 2025, p. 234).

LA PROSPECTIVA DE LA INVESTIGACIÓN: ALGUNAS CONSIDERACIONES

Las características del profesorado que influyen en su desarrollo profesional son de diversos tipos: personales (edad, antecedentes familiares y culturales, etc.), profesionales (compromiso, colaboración, satisfacción profesional, etc.) y relacionadas con el proceso (confianza en el proceso, apertura al cambio, expectativas, etc.) (Sancar *et al.*, 2021). De ahí que los intentos de promover un desarrollo profesional como el que buscamos deban responder a las necesidades de los docentes y estructurarse en respuesta a sus conocimientos, preocupaciones, fortalezas, debilidades y deseos, siempre enmarcadas en contextos escolares reales. Esta perspectiva también la reflejan Arteaga *et al.* (2025) en la revisión sistemática que llevaron a cabo sobre las tendencias emergentes con respecto al PCK para la enseñanza de las ciencias.

Tras haber desarrollado, aunque con las limitaciones propias del espacio disponible, las características del conocimiento profesional deseable para la enseñanza de las ciencias, se puede apreciar que dista del que numerosos docentes particulares suelen manejar, sobre todo en los primeros años de ejercicio profesional, tal como ponen de manifiesto los informes consultados al señalar la diversidad de situaciones desde las que se accede a la profesión. Ello es, de una parte, porque son diversos (y complejos en sí mismos) los saberes y prácticas que pueden alimentarlo y, de otra, porque la formulación más rica de los distintos componentes requiere interacción y colaboración con otros, como se ha señalado. Esta dimensión compartida no suele estar tampoco presente, por lo que se reducen en gran medida las posibilidades de mejora del conocimiento y del desempeño profesional. Así, se vislumbran tentativas de cambio llevando a cabo propuestas innovadoras a título individual, en lugar de ser compartidas por los equipos docentes (García-Gómez y Gil, 2022). Por ello, sugerimos que las investigaciones procuren indagar en los procesos colaborativos de mejora profesional. También deberían analizar los logros y dificultades para la evolución del conocimiento profesional y su transformación en acciones de enseñanza tomando como unidad el colectivo, no atendiendo solo al nivel individual. Esto podría aportar información relevante para orientar los procesos de desarrollo profesional.

Por otro lado, la investigación destaca la necesidad de llevar a cabo un ciclo de diseño-implementación-reflexión sobre la enseñanza para promover el desarrollo del conocimiento profesional. Tanto el modelo del PCK, como las propuestas de otros autores que no hemos podido referir aquí por razones de espacio, destacan la idoneidad de tal enfoque. Nos referimos, por ejemplo, a las propuestas del Modelo ALACT (Korthagen, 2010), a los Ciclos de Mejora (Delord *et al.*, 2020) o a las Lesson Study (Pérez Gómez y Soto, 2022).

Estas propuestas requieren: a) una toma de conciencia explícita por parte de los docentes sobre su propia práctica al enseñar ciencias, así como la detección de los asuntos susceptibles de mejora, b) la creación de soluciones, y c) la implementación y análisis de un proceso “controlado” de experimentación de las mismas. En palabras de Porlán (2022), hablamos de ciclos de teorización de la práctica y de experimentación de la teoría, los cuales suelen precisar acompañamiento.

Sin embargo, según los resultados de los informes expuestos previamente, los docentes no suelen adherirse a una evaluación que les oriente en la toma de decisiones, además de la ya comentada escasa experiencia en procesos de formación de carácter colaborativo. Por ello, generar herramientas para andamiar los procesos de diseño, implementación y reflexión sobre la práctica es fundamental, tales como los conocidos Co-Re (Loughran *et al.*, 2004). En los últimos años se vienen haciendo otras sugerencias en este terreno, como las planteadas por Nilsson y Cederqvist (2025), y las que se desarrollan bajo el paraguas de la “Investigación Basada en Diseño”, en las que consideramos necesario profundizar.

Por último, es oportuno señalar que la investigación no ha resuelto aún cómo organizar internamente el conocimiento más directamente relacionado con la enseñanza (caso de la línea del PCK), o ha propuesto como organizadores los problemas prácticos profesionales (caso del CPP). Sin embargo, por un lado, estos problemas no son los que parecen preocupar a los docentes, que expresan problemáticas de otro tipo como, por ejemplo, conseguir la motivación de los estudiantes. Por otro, resulta llamativo que, aunque los docentes están participando en actividades formativas centradas en competencias curriculares y pedagógicas, sus demandas de formación aluden a otros asuntos (por ejemplos: la atención a la diversidad o el bienestar socioemocional del alumnado). Con ello parecen dar a entender que no vislumbran —o quizás no se proponen— la posibilidad de abordar estos asuntos conjuntamente, aspecto que nos resulta preocupante. Parece necesario, por todo ello, profundizar en la propuestas e investigación de vías que conecten las preocupaciones e intereses del profesorado con articuladores potentes del conocimiento profesional y de las prácticas profesionales a él asociadas.

Capítulo 10. Repensar la evaluación

Neus Sanmartí y Digna Couso
Universitat Autònoma de Barcelona
Contacto: digna.couso@uab.cat

INTRODUCCIÓN

Como aventuraba Perales hace ya 3 décadas (1996), la evaluación es un campo poco estudiado en la didáctica de las ciencias, porque siempre se ha asociado a la calificación y selección del alumnado y no con su finalidad de promover el aprendizaje.

Aun así, es evidente que, sin hablar explícitamente de evaluación, la didáctica de las ciencias ha incidido mucho en funciones y prácticas evaluativas. Por ejemplo, si analizamos su papel en toda la línea de investigación sobre las ideas previas del alumnado, deducimos que de hecho se habla de evaluarlas con finalidades formativas. Estas investigaciones se centraron (y se centran) en cómo obtener datos de dichas ideas (qué preguntas o demandas al alumnado son idóneas), en entender la lógica con la que los estudiantes formulan las respuestas, y en cómo ayudarles a revisarlas y conseguir que evolucionen. Así, el famoso principio de David Ausubel que orientó esta fructífera línea de investigación, *“El factor más importante que influye en el aprendizaje es aquello que el aprendiz ya sabe: averígualo y enseña en consecuencia”*, no era más que una llamada a evaluar las ideas de los estudiantes con el fin de mejorar su enseñanza. Hoy día esta capacidad, la interpretación o juicio profesional continuo del pensamiento de los estudiantes, sigue siendo parte inherente de las prácticas de enseñanza esenciales o de alto impacto (*high-leverage practices*, Ball y Forzani 2009).

Independientemente de la concepción de evaluación que tengamos y la importancia explícita que le demos, entrar en el aula es entrar en un espacio en el que observamos que no solo los docentes, sino también los alumnos, evalúan constantemente el proceso de enseñanza y aprendizaje. Por ejemplo, al empezar una clase, el docente observa a sus alumnos, valora si están en una buena disposición para aprender el objetivo que se había propuesto y decide si pone en práctica lo que había programado o reorienta la actividad. Si no hace esta evaluación, muchas veces en segundos, lo más probable es que la clase no funcione y el docente no consiga que sus estudiantes participen activamente. Y este tipo de decisiones rápidas se toman más de 100 veces al día, lo que contribuye al estrés docente. Paralelamente, el alumnado también evalúa continuamente. Ya a partir de las primeras verbalizaciones

y acciones del docente, valoran si la clase será interesante y si podrán hacer bien lo que se les propone, y deciden si merece la pena participar o ‘pasar’. Igualmente sucede en cada momento de la clase, cuando van tomando conciencia de lo que no entienden o no saben hacer bien. Por eso, ante una carga cognitiva tan alta, necesitan desconectar de vez en cuando.

Sea de manera más o menos consciente, en la toma de micro-decisiones inmediatas; o de forma más explícita y planificada, a través de conocidos instrumentos como exámenes y rúbricas, la investigación educativa lleva décadas mostrando que la evaluación condiciona qué y cómo se enseña y qué y cómo se aprende. Es por ello que resulta paradójico que en el ideario colectivo sigamos asociando la evaluación a algo que hacemos “después de aprender” básicamente para dar cuenta de hasta qué punto se ha aprendido. En evaluación observamos que pesan enormemente la historia y la tradición; la dificultad de compaginar diferentes funciones pedagógicas y sociales; y la complejidad de, y posiblemente también resistencia a, compartir la responsabilidad con otros, particularmente el alumnado.

LA EVALUACIÓN, UNA PRÁCTICA CON MUCHA HISTORIA

Se considera que los exámenes fueron un invento chino, de hace más de 2.000 años, que nació con la finalidad de seleccionar funcionarios en base al mérito académico y el dominio de **textos confucianos**, y no en función de sus referencias familiares o de patrocinios.

También en Roma se evaluaba las habilidades retóricas, militares y jurídicas de distintas personas, y en Grecia, Sócrates lo hacía mediante el diálogo, siempre con la finalidad de seleccionar y clasificar. Con el nacimiento de las universidades medievales (s. XII y XIII) empezaron los exámenes orales públicos (*disputatio*), y los criterios para la calificación dependían de la autoridad del maestro que valoraba si se repetía, memorísticamente, el conocimiento establecido.

Entre los siglos XVII y XVIII, con la expansión de la escolarización, fue necesario homogeneizar estos criterios y se introdujeron los exámenes escritos, las notas y las clasificaciones. La evaluación se vinculó al control institucional y nació la idea de que el rendimiento se podía medir. En el siglo XIX apareció la idea de objetividad en la evaluación y se empezaron a desarrollar pruebas estandarizadas y escalas de puntuación. Y ya en el siglo XX, Ralph Tyler relacionó la evaluación con los objetivos de los programas de estudio para comprobar a qué nivel se lograban. Además, se formularon pruebas (tests) de inteligencia, profundizando en la concepción de la evaluación como medida cuantitativa del rendimiento y cualidades individuales.

Fue en los años 60 del siglo pasado cuando se empezó a entender la evaluación como medio para mejorar el aprendizaje y no solo para calificar. Nació el concepto de evaluación formativa, formulado por Michael Scriven en 1967, separándolo del proceso de calificación o evaluación sumativa. En los primeros años esta nueva

idea influyó muy poco en cambios en las prácticas evaluativas y, de hecho, aun actualmente predomina entre el profesorado la idea de evaluación entendida como proceso para generar notas orientadas a la clasificación y selección del alumnado.

A partir de la pedagogía crítica (transformar la educación comporta transformar la evaluación) y del constructivismo (el conocimiento se va construyendo a partir de lo que ya se sabe), la visión de una evaluación centrada en su función formativa cada vez fue más objeto de investigaciones y propuestas de nuevas prácticas. Por ejemplo, Celestin Freinet defendió la necesidad de la participación del alumnado en la evaluación, y en su aula ya aplicaba una coevaluación colectiva con el fin de regular las producciones iniciales del alumnado.

En los años 80, aparece en Francia el concepto de evaluación formadora (Nunziati, 1990), que puso el acento en que ha de ser el propio alumno quien se evalúe y se investigó sobre las condiciones que favorecen que ello sea efectivo para aprender. Paralelamente, desde el ámbito anglosajón, Sadler (1989) también incide en que los estudiantes tienen que poder utilizar la evaluación desde su función formativa y a partir del metaestudio de Black y Wiliam (1998) se revisaron diferentes investigaciones y nacieron los conceptos de autoevaluación, autorregulación metacognitiva y retroalimentación (*feedback*), que son los que actualmente se consideran básicos en cualquier proceso de aprendizaje para que sea significativo. Ello no obsta a que haya un extenso debate sobre lo que se entiende por evaluación formativa debido a las distintas concepciones (y definiciones), y se hable también de evaluación para el aprendizaje (Wiliam, 2009).

Al mismo tiempo, la visión de una evaluación centrada en la calificación con finalidad clasificadora y seleccionadora va perdiendo su sentido en un contexto en que la formación básica se plantea como objetivo para todo el alumnado, objetivo al que no se puede renunciar. Esta función sólo es aplicable cuando es necesario seleccionar estudiantes para determinados estudios, más allá de las etapas de formación obligatoria. Pero sí que tiene otras funciones, como que el propio alumno reconozca cuánto ha aprendido y promueva su motivación interna (por lo que no debería aplicarse cuando no se ha aprendido, porque más bien conlleva frustración y abandono), y también la de compartir el progreso con las familias.

En los últimos años también ha surgido una nueva finalidad de la evaluación, concretada en las llamadas 'evaluaciones externas'. A través de ellas se pretende que, a partir de comparar las respuestas obtenidas a cuestionarios expresadas por estudiantes de distintos países o escuelas, los distintos tipos de instituciones puedan identificar sus puntos fuertes y débiles al compararlos con otras, deducir posibles razones que ayuden a explicarlos y, así, poder tomar decisiones de mejora. Es decir, su función se esperaba que fuera la de una evaluación con finalidades formativas para los sistemas educativos de cada país o escuelas. Pero hasta el momento, estas evaluaciones están cumpliendo poco con este objetivo, ya que la divulgación de los resultados se ha centrado en clasificar y ordenar países y escuelas, y se ha incidido poco en la búsqueda de explicaciones de las diferencias que ayuden a tomar decisiones útiles para avanzar.

Como se puede constatar, el significado del término ‘evaluación’ ha evolucionado a lo largo de los siglos, cambiando el para qué, cuándo, quién y cómo evaluar. Aun así, es cierto que entre una buena parte del profesorado y de la población en general aún se tiene una concepción más coincidente con las ideas y prácticas de hace más de 100 años que con las que se han ido generando a partir de las investigaciones sobre cómo promover buenos aprendizajes en todo tipo de estudiantes, algo en lo que socialmente hay acuerdo que es un objetivo irrenunciable.

LA EVALUACIÓN, MOTOR DEL APRENDIZAJE

No hay duda de que la evaluación condiciona qué y cómo enseñamos los docentes (y las familias), y qué y cómo aprenden los estudiantes. La selección de los objetivos, el tiempo que se dedica a cada uno y el tipo de actividades diseñadas para su aprendizaje, dependen en buena parte de lo que se evaluará para calificar, y los alumnos que tienen buenos resultados perciben qué considera el docente que es importante aprender y orientan su actividad en esa dirección. Se pueden realizar actividades muy interesantes, experimentos en el laboratorio, salidas al campo, debates..., pero a menudo no se relacionan con lo que ‘saldrá en el examen’, por lo que los estudiantes dedican el tiempo de reflexión y estudio a lo que intuyen que el docente evaluará para calificar.

Y sin evaluar es difícil aprender. Con solo unos pocos meses de vida, los bebés ya evalúan que a sus progenitores les gusta comprobar que sonríen o que empiezan a gatear, y deciden repetir estas acciones y mejorarlas. Si no reciben este *feedback*, su avance es más lento o no se da. Por eso se dice que la evaluación es el motor de cualquier aprendizaje, aunque es necesario profundizar en qué se entiende por evaluar.

Evaluar es un proceso en el que hay tres etapas clave (Sanmartí, 2007; 2020):

a) En primer lugar, se recogen datos, y para ello pueden usarse instrumentos e estrategias muy diversas.

Actualmente hay una gran cantidad de maneras de recoger datos¹. Pueden ser preguntas, exposiciones orales, escritos, videos, grabaciones... Es necesario que se relacionen con el objetivo de aprendizaje, porque han de ser útiles para identificar tanto buenas ideas y prácticas, como errores y dificultades, y poder avanzar a partir de ellos.

1. Ver, por ejemplo: <https://www.teachthought.com/learning-posts/things-students-can-create-to-demonstrate-what-they-know/> y <https://www.edutopia.org/sites/default/files/2018-01/edutopia-finley-53-ways-to-check-understanding-2016.pdf>

Muchas veces se recogen datos que no se relacionan explícitamente con el objetivo, por lo que es una pérdida de tiempo. Dos ejemplos prototípicos son los relacionados con el aprendizaje de la comunicación oral, o del diseño de experimentos. Son grandes objetivos para alcanzar al final de la enseñanza básica, y su aprendizaje requiere un proceso en clave de progresión a lo largo de los distintos cursos. Por tanto, en cada contexto o situación sólo se habrían de recoger datos con relación al objetivo específico que se pretende ayudar a lograr. Los alumnos habrán hecho una exposición oral o habrán diseñado un experimento, pero nos centraremos sólo en comprobar como empiezan la exposición o como plantean una pregunta de investigación, si es que son los objetivos y se le dedica el tiempo necesario para alcanzarlos. Serán datos que se recogerán en distintos momentos del proceso de aprendizaje: al inicio, para identificar el punto de partida; mientras se va aprende, para identificar las dificultades que surgen y cómo se interioriza lo que será necesario aplicar; o al final, para comprobar cuánto se ha avanzado.

Con el avance de la IA, el nuevo reto es decidir qué tipo de datos realmente recogen el pensamiento y formas de hacer y comunicar de los aprendices que pueda fomentar la personalización de la evaluación sin caer en una tecnificación artificiosa y excesiva.

b) En segundo lugar, estos datos se analizan, buscando entender las razones de los errores y dificultades que se constatan.

Este paso es muy importante (y difícil: no se trata de concluir con un bien o mal). A menudo, se tiende a pensar en razones relacionadas con causas externas al proceso didáctico aplicado como, por ejemplo, que el aprendiz no ha dedicado el tiempo o esfuerzo necesario, que no tiene determinadas capacidades, o que las condiciones de su entorno familiar no favorecen que realice determinadas tareas. Pero sin entender qué es lo que explica o podría explicar que el objetivo no se alcance en función de cómo se ha promovido la construcción del nuevo conocimiento y de cómo los estudiantes se van apropiando de él, a distintos niveles, es imposible que los docentes podamos ayudarles a mejorar y que puedan avanzar.

La principal finalidad del instrumento ‘rúbrica’ es precisamente la de ayudar a analizar los datos (y, en cambio, no necesariamente es útil para calificar). Si está bien diseñado, permite inferir qué es lo que aún no se hace o piensa suficientemente bien, y qué tener en cuenta para mejorar, porque en él se especifican posibles niveles de logro diferentes. Su uso requiere disponer de buenos datos, acordes con el objetivo de aprendizaje, que posibiliten evidenciar donde están las dificultades del alumnado y qué necesita para poder progresar. Criterios básicos en la era de la IA se relacionan con valorar si se es capaz de discernir entre respuestas dadas por distintos ‘chatbots’, contextualizar con ejemplos propios, cuestionar respuestas que parecen correctas, recombinar ideas, generar alternativas, formular contrapropues-

tas originales... y, por tanto, entender dónde están las dificultades para poner en práctica estas acciones.

Este análisis, de hecho, es la base del *feedback* para avanzar (*feedforward*), y es necesario que el propio alumno comprenda porque aún no ha logrado apropiarse de lo que el docente le propone aprender. Si no “*entiende porque no entiende*” una idea o no la aplica adecuadamente, no podrá continuar aprendiendo.

c) Finalmente, se deberán tomar decisiones.

La mayoría de ellas se relacionan con la aplicación de propuestas concretas para superar las dificultades y avanzar. Es la parte más compleja del proceso, dada la diversidad de ‘lógicas’, actitudes y aptitudes del alumnado, pero es clave. Si se ha dedicado tiempo a recoger datos y analizarlos, pero las decisiones que se toman son poco significativas, no habrá progreso y, de hecho, será un tiempo perdido (que es lo que sucede en la mayoría de las prácticas tradicionales de evaluación).

Algunas de estas decisiones pueden comportar que el docente revise-regule el diseño didáctico aplicado y, consecuentemente, promueva nuevas actividades, especialmente si comprueba que una buena parte de su alumnado no ha avanzado. En este sentido, consideramos la evaluación no sólo como una parte del diseño didáctico, sino también como generadora de este. Desde una perspectiva de Investigación Basada en el Diseño, la evaluación que nos sirve para entender las razones por las que buena parte del alumnado no ha aprendido como esperábamos es clave para orientar el rediseño del material educativo de manera profesional y confiable (Tena y Couso, 2023).

En la mayoría de los casos, quién tendrá que tomar decisiones serán los propios aprendices, orientadas a corregir sus formas de pensar o hacer, e incluso sus sentimientos con relación a lo que está aprendiendo. En esa línea es importante revisar el concepto de ‘corregir’. Sólo se puede corregir quien se ha equivocado y, en todo caso, los docentes podemos ayudarle a hacerlo mejor.

Es en esta línea que se habla y diferencia entre evaluación formativa y evaluación formadora u orientada a la autorregulación. Como se ha indicado, hay muchas definiciones y prácticas de evaluación formativa, pero la mayoría se centran en que es el profesorado el que recoge datos, los analiza y propone al alumnado qué hacer para avanzar. En cambio, desde la visión de autorregulación, la finalidad es que sea el propio alumno quien tome las decisiones, a partir de entender las razones de sus dificultades.

El objetivo es que la persona sea autónoma aprendiendo. Si su mejora depende siempre de que alguien le diga que está haciendo bien y no tan bien, y de que le explique el por qué y qué ha de hacer para mejorar, nunca será capaz de tomar decisiones por sí sola. En cambio, los estudiantes que tienen éxito se caracterizan porque cuando se equivocan, lo reconocen, saben encontrar razones que lo explican (he olvidado..., no he relacionado..., no he aplicado..., este aspecto aun no lo

entiendo o lo sé hacer bien...), y toman decisiones, ya sea rehaciendo el proceso aplicado inicialmente, ya sea pidiendo una ayuda específica.

También se habrán de tomar decisiones relacionadas con la calificación, y consecuentemente, con clasificar al alumnado en función de niveles de logro. Estas decisiones tienen un componente ético y emocional muy importante, al condicionar la vida del alumnado, por ejemplo, cuando conllevan repetir curso o seleccionarlo para poder realizar algunos estudios. En el contexto curricular actual, sólo se han de tomar estas decisiones en muy pocas ocasiones a lo largo del curso: una vez al trimestre y, especialmente, a final de curso. Y aunque estas decisiones formarán parte del expediente de cada estudiante, también las pueden tomar los propios estudiantes, contrastándolas con las del docente y compartiéndolas con las familias.

Muy a menudo preocupa ‘ser objetivo’ al tomar estas decisiones, y se opta por y recoger muchos datos y calificar constantemente, confundiendo la idea de evaluación continua con la de ‘nota continua’. Sin embargo, la objetividad en el campo educativo no proviene de tener muchos datos —está bien demostrado que ante ellos distintos docentes los valoran de forma diferente—, sino de la triangulación. Por un lado, ante la duda de que los datos sean idóneos, se pueden recoger de tres fuentes diferentes porque, por ejemplo, puede haber alumnos que se comunican mal por escrito y en cambio lo harán bien oralmente o dibujando. Por otro lado, diferentes personas han de acordar la valoración y, pueden ser, además del docente, el propio alumno y compañeros, otros docentes, e incluso familiares. Esta es la función de las ‘Juntas de evaluación’, que posibilitan llegar a acuerdos a partir de analizar datos conjuntamente.

EL CAMINO HACIA LA AUTORREGULACIÓN

Como se ha indicado, el gran reto es conseguir que los estudiantes sean autónomos autorregulándose. Pero es evidente que si los docentes les pedimos que se autoevalúen con la finalidad de autorregular sus errores y dificultades, la mayoría no sabrá hacerlo. Se ha investigado sobre las condiciones que se requieren para ello y, en general, hay dos que se consideran básicas:

*a) La primera es la de **representarse el objetivo de aprendizaje.***

La mayoría de los estudiantes realizan las tareas sin saber que han de aprender al llevarlas a cabo. Su objetivo es completar la tarea (¡y saben que la IA ya lo hace!), sin comprender que, en realidad, se trata de aprender a partir de ella. Y los docentes a veces propiciamos este error: por ejemplo, cuando sólo valoramos que los ejercicios para casa estén bien o cuando en el contexto de realizar proyectos el objetivo (aquello que evaluemos) sea el producto final, pero no lo que tendrían que aprender a partir de realizar las distintas actividades (Domènech, 2024; Pérez-Torres *et al.*, 2021).

Ante cada tarea de enseñanza y aprendizaje, cada estudiante se hace una representación propia de lo que está aprendiendo, y es lo que conecta en su memoria. Lo deseable es que el objetivo se lo lleguen a representar a nivel abstracto y general, y que, en consecuencia, a partir de la actividad concreta que realizan para aprender (sea un experimento, un problema concreto, un texto o un dibujo) sean capaces de generalizar y luego aplicarlo en otros contextos. Sin embargo, son muy pocos los alumnos que pueden hacer esta abstracción sin ayuda.

Algunos alumnos conectan el objetivo de aprendizaje con la acción concreta que están aplicando, es decir, con el experimento, el problema concreto, el texto o el dibujo, y cuando activan en su memoria lo que aprendieron, lo relacionan pensando en *“es como aquello que hicimos...”*. Y esto les permite transferir el aprendizaje a un nivel cercano al aplicado (Marchán, 2015). De hecho, los mismos estudiantes reconocen que lo que les es más útil para aprender, por ejemplo, a resolver problemas, es pensar *“de qué va”* y activar en su memoria el tipo de problemas que fueron objetivo de aprendizaje que se relaciona con el nuevo (Hinojosa y Sanmartí, 2016). Pero la gran mayoría son incapaces de reconocer qué aprenden, por lo que realizar bien determinadas actividades, e incluso repetirlas en exámenes, no garantizan que el aprendizaje sea significativo. Y tampoco ayuda anotar lo que creemos que hemos aprendido cada uno sin más (i.e ticket de salida) si no se comparan y analizan para que el alumnado vea que se identifican diferentes objetivos y que no todos son igual de importantes. Ante una actividad de flotación, por ejemplo, mientras algunos alumnos identificaron que la clase iba de aprender *“de que esto de flotar depende de la densidad”* otros anotaron que habían aprendido *“que las piezas de lego, al revés, se llenan de agua”* o *“que no hay que salpicar en clase”*.

Por tanto, dedicar tiempo a compartir objetivos y a ayudar a regular las representaciones iniciales es un tiempo necesario si se quiere que todos los estudiantes aprendan (y no sólo los que ya se los representan bien autónomamente). No sirve decirlos o, por ejemplo, escribirlos al inicio de la actividad que se propone realizar, porque cada estudiante hace una lectura diferente. Prácticas que se están demostrando muy útiles es ponernos los docentes como ejemplo de aprendices y compartir cómo nos lo representamos cuando aprendimos tal tema y fuimos revisando lo que pensábamos inicialmente, o en qué hemos pensado al preparar la clase para que les fuera útil para aprender tal idea, o incluso, a media clase, parar y pedir si creen que la actividad que están realizando les es útil para alcanzar el objetivo.

*b) La segunda es **representarse los criterios para evaluar** si se hace un buen aprendizaje y poder deducir en qué aún se puede mejorar.*

Las personas expertas, antes de realizar una tarea, dedican tiempo a pensar cómo llevarla a cabo, normalmente secuenciando los pasos. Pensemos en cómo anticipamos lo que pondremos en un escrito, o como planeamos los pasos a seguir al intentar resolver un problema. Los criterios para evaluar si hemos aprendido bien derivan de

esta anticipación y planificación de la acción, explicitando en qué hará falta pensar y qué hará falta hacer y como para poner en práctica el objetivo de aprendizaje.

En el caso de los estudiantes, como normalmente se les evalúa sólo por la calidad del resultado (lo que hacen) sin mencionar la planificación de la acción (lo que se plantean hacer y cómo), tienden a realizar las tareas propuestas sin anticipar en qué pensar para llevarlas a cabo. Por ello, cuando el resultado no coincide con el esperado, no pueden autorregularse pensando en qué aspecto no activaron o que paso no realizaron adecuadamente. Los estudiantes necesitan haber pensado cómo llevar a cabo la actividad para poder identificar los criterios para evaluar si la realizan bien y decidir cuál de ellos no está bien aplicado o lo está a un nivel bajo.

Por tanto, compartir criterios de evaluación no es decirlos o darlos por escrito, por ejemplo, por medio de una rúbrica, sino reflexionar conjuntamente sobre qué pensar y hacer para aplicar adecuadamente el nuevo saber y, a partir de ello, deducirlos. La dificultad para los docentes es que la lógica con la que cada aprendiz planifica es distinta. Todos hemos comprobado que cada persona anticipa como escribir un texto de forma distinta y dar 'recetas' hechas no sirve por igual para todos los estudiantes. De hecho, sirven para los que se parecen más al estilo del docente, y eso explica en buena parte que algunos se vean reforzados con lo que se les propone y otros no lo entiendan. Por todo ello, se requiere promover que cada estudiante haga su planificación y que, a partir de ella, se favorezca la autorregulación, comparando distintas propuestas, y buscando caminos para mejorar la propia o llegando a propuestas consensuadas.

Muchas veces el alumnado relaciona los criterios de evaluación con las 'manías' de cada docente, o lo que le gusta a cada uno, pero no con lo que realmente demuestra el aprendizaje realizado. Perciben que uno da mucha importancia a tal tipo de objetivo o de tarea, y otros no, y saben hacia donde orientar su esfuerzo de forma utilitaria: *"esta profesora mira mucho el dossier y esta otra no, por lo que al primero le dedico tiempo y al otro no"*. Estos alumnos acostumbran a tener buenos resultados académicos, pero no es una evidencia de haber aprendido con relación al objetivo de estudio.

Esta es una condición importante para definir unos criterios de evaluación: que sean coherentes con el objetivo consensuado. Muchas veces la primera columna de una rúbrica recoge las actividades realizadas, pero estas no necesariamente demuestran que se ha logrado el objetivo. Tampoco se deben confundir los criterios de evaluación con los criterios para calcular la nota. Por ejemplo, ser competente a nivel básico con relación a un objetivo exige serlo en todos los subcriterios incluidos en una rúbrica. Es decir, no tiene sentido que algunos de estos criterios aún no se hayan logrado, pero como en otros el nivel ha sido alto, el promedio decida que ya se es competente. De la misma forma, tampoco es una buena opción calificar aprendizajes a partir de los porcentajes dados a la calidad en la realización de cada actividad. La valoración de cuánto se ha aprendido se tiene que relacionar explícitamente con demostrar que se ha alcanzado el objetivo de aprendizaje.

Al igual que ocurre con los objetivos, compartir los criterios de evaluación, y de hecho, todo el proceso evaluativo, requiere tiempo. Así, por ejemplo, si para realizar un experimento se necesita una hora, se deberá planificar otra hora para integrar de forma efectiva la evaluación: al inicio, para comprobar si se apropian del objetivo de la experimentación e identificar los conocimientos de partida; mientras lo realizan, para regular el proceso, tanto el manipulativo como de pensamiento, expresado en palabras o dibujos; y al final, para revisar las ideas y conclusiones que se expresan y se ponen por escrito. No hay duda de que es difícil planificar cómo disponer de este tiempo, más aún teniendo en cuenta la diversidad del alumnado. De ahí la importancia de seleccionar, priorizar y definir bien los objetivos a los que no se puede renunciar que todos aprendan, unos a un nivel de logro básico y otros a niveles altos, y de desarrollar su capacidad para coevaluarse y autoevaluarse (con una finalidad autorreguladora), porque esto ayuda a distribuir la responsabilidad de esta tarea.

EL POTENCIAL DE LA AUTOREGULACIÓN: EVALUACIÓN PARA, CON Y DEL PENSAR *BIEN*

Evaluar para la autorregulación tiene consecuencias más profundas que orientar y promover el aprendizaje de contenidos o el dominio de competencias específicas de un área, porque, como suele decirse, “cambiar la evaluación lo cambia todo” (Perrenoud, 1993). Profundizando en el sentido de esta afirmación, en los apartados siguientes presentaremos cómo la evaluación formativa y formadora tiene consecuencias en la cultura de aula, la cultura docente y la cultura educativa en general, reorientándolas a uno de los objetivos finales más importantes de la educación: aprender a pensar *bien*. Esto es así porque la evaluación formativa y formadora es una evaluación que promueve y facilita pensar *bien*, que sólo puede ejecutarse pensando *bien* y que debe ser capaz de evaluar si estamos progresando en esto de pensar *bien*.

Para ejemplificar esta vinculación entre la evaluación formativa y formadora y el razonamiento sofisticado que esperamos sea producto del proceso de enseñanza y aprendizaje nos centraremos en un componente esencial e indiscutible del mismo: el pensamiento crítico. Así, en los siguientes apartados veremos como en el intento de evaluar formativa y formadoramente estamos movilizando, modelando y compartiendo, tanto los docentes como el alumnado, importantes dimensiones del pensamiento crítico, que es un pensamiento evaluativo (Lipman, 2016). De hecho, el pensamiento crítico requiere habilidades metacognitivas, y también cognitivas de orden superior, así como regulación afectiva, incluyendo la regulación de las propias disposiciones o emociones (Couso y Márquez, 2025). De forma análoga, también podría vincularse la evaluación formativa y formadora con otros componentes del pensamiento sofisticado altamente relacionados, como el pensamiento

creativo y cuidadoso (Lipman 2016), el pensamiento sistémico (Meadows, 2008) o el pensamiento computacional (Wing, 2006), entre otros.

La evaluación formadora requiere “ser crítico con mi propio pensamiento”

La relación directa entre evaluación formativa y pensamiento crítico (PC) no es fácil de encontrar en la literatura educativa, seguramente como consecuencia de la complejidad de delimitar, definir y medir el pensamiento crítico de forma directa y consensuada. Sin embargo, sí se encuentran en la literatura abundantes referencias a la relación entre los procesos que la evaluación formativa y formadora promueven, particularmente la autorregulación, y diferentes procesos mentales vinculados con el PC.

El objetivo final de la evaluación formadora es, como hemos ido compartiendo, que el alumnado sea capaz de autorregular el propio aprendizaje. Esto implica que se involucre en la planificación de la acción y autoevalúe el propio desempeño frente a criterios para tomar decisiones que le lleven a la mejora de este. En este sentido, el juicio evaluativo asociado a la autorregulación es funcionalmente equivalente al pensamiento crítico aplicado a uno mismo. De hecho, Facione (1990) incluye explícitamente la autorregulación como una habilidad nuclear del pensamiento crítico, definida como la capacidad de monitorear y corregir el propio razonamiento, y esto incluye la revisión explícita de las propias creencias (Ennis, 2011). Es decir, un componente esencial del pensamiento crítico es la capacidad metacognitiva de reflexionar sobre el propio proceso de conocimiento, evaluar la validez de los propios razonamientos y regularlos en función de criterios explícitos, de manera autocorrectiva. Esto permite establecer un paralelismo entre fomentar la autoevaluación para que se aprenda mejor alguna cosa en particular y hacerlo para enseñar a pensar mejor en general.

Reconocer este paralelismo implica entender la evaluación formativa como un marco didáctico privilegiado de apoyo al desarrollo del pensamiento crítico. En este sentido, debemos ser conscientes de que aquellas tareas de evaluación formativa que favorecen la autorregulación pueden también ser tareas de apoyo al desarrollo del pensamiento sofisticado. Ello se consigue orientando la toma de decisiones final producto de la autoevaluación no sólo a la regulación del propio aprendizaje sino también a la modulación de la propia acción crítica en el tema en cuestión. Dicho de otra forma, los procesos en los que el alumnado se involucra cuando se autorregula le sirven para tomar las riendas respecto a su aprendizaje (desarrollando la competencia de aprender a aprender), pero también le pueden servir para, siendo crítico con lo que sabe, decidir y actuar teniendo en cuenta como de seguro está de haber pensado bien. Así, si reconozco que no sé suficiente sobre cómo funciona la radioactividad e identifico lo que no sé, por ejemplo, esto no sólo me sirve para orientarme respecto a qué me falta aprender, sino también para autoexigirme opinar con cautela en este tema.

La evaluación formadora requiere “ser crítico con mi propia actuación docente”

Aprender a autorregularse requiere aprender a darse *feedback* a uno mismo de manera crítica, es decir, analizando el propio razonamiento, pero también las propias emociones y disposiciones. Esto incluye el análisis de la lógica o falta de esta en nuestros propios argumentos, identificando motivaciones personales, predisposiciones o falta de predisposición a cierta actuación y posibles sesgos, entre otros. En consecuencia, el núcleo de la autorregulación es el proceso de generación de *feedback* interno o autogenerado de calidad, es decir, en base a criterios y estándares compartidos que suelen ser mucho más sofisticados que los que aplicamos de forma espontánea. Así, para poder autorregularnos bien debemos internalizar criterios y estándares de evaluación consensuados por la comunidad de referencia al nivel deseable según la edad o madurez de nuestro alumnado.

Para que ocurra esta internalización de criterios y estándares de calidad, el alumnado debe estar expuesto a *feedback* externo de calidad (Butler y Winne, 1995), que regule desde fuera su forma de pensar y modelice una manera de hacerlo. Es decir, los docentes debemos ser la voz externa (el “Pepito Grillo”) que ayuda a configurar y modular una voz interna bien orientada. Para fomentar un *feedback* propio que no sólo ayude a aprender, sino que incorpore la perspectiva crítica, el *feedback* docente debe ser sistemático en la búsqueda de un pensamiento razonado e incluir explícitamente metarreflexiones orientadas a identificar los propios sesgos y disposiciones. Por ejemplo, incluir comentarios como: “¿os habéis fijado que siempre os pregunto en que os basáis para opinar así?”; “ante esta situación controvertida, vamos a diferenciar qué sabemos del tema de cómo nos hace sentir”; “en esta clase es importante estar abiertos a otras ideas y practicar la escucha activa...”; “todos podemos equivocarnos, yo también, sobre todo si juzgo ligeramente”. Este tipo de *feedback* puede sistematizarse con la inclusión de rutinas como las descritas en el proyecto Zero (*Harvard Graduate School of Education*, 2022), de corte general. Pero también puede enriquecerse con andamiajes propios del aula de ciencias, que ayudan a organizar el razonamiento y adquirir una disposición crítica. Así, plantillas como la de lectura crítica del CRITIC, la balanza de argumentos o la escala de fiabilidad, entre otras, constituyen ejemplos de herramientas didácticas que, en combinación con la autorregulación, tienen el objetivo de ayudar a internalizar como podemos pensar más críticamente (Couso y Márquez, 2025).

De manera análoga, cuando el docente se muestra y modela explícitamente a un pensador crítico en el aula, la evaluación que realiza del alumnado no le sirve sólo para orientarlo, sino sobre todo para orientarse (orientar su acción docente), autoexigiéndose la misma cautela que espera de su alumnado a la hora de, por ejemplo, tomar decisiones educativas informadas. Fomentar la autorregulación en el aula, tanto para docentes como para alumnos, cambia la cultura del aula, pero también del centro o la profesión. Actividades como la observación entre iguales, cuando se orientan desde marcos autorregulativos (por ejemplo, te observo para

pensarme) cumplen esta función de ayudar no sólo a mejorar la acción docente de hoy, sino a convertirnos en profesionales más críticos, y también creativos, cuidadosos y reconocedores de la complejidad inherente a nuestra profesión.

La evaluación formadora también evalúa “si mejoramos en esto de ser críticos”

Cuando analizamos estándares o instrumentos concretos de evaluación, resulta fácil constatar que a menudo aplicar el pensamiento crítico, así como otros pensamientos sofisticados objeto de aprendizaje, suele ser el nivel máximo de desempeño. Esto es observable en muchas de las rúbricas e instrumentos de evaluación que usamos, en los que, incluso cuando no se especifica que la acción que se espera sea crítica (o creativa, cuidadosa, sistémica, etc), los niveles más altos de desempeño suelen hacer referencia a aspectos que presuponen razonamiento altamente sofisticado. Por ejemplo, en rúbricas bien diseñadas, los niveles superiores suelen describir actuaciones donde se mencionan habilidades cognitivas de orden superior (análisis, evaluación y síntesis). También, dependiendo de la temática, se espera la inclusión explícita de consideraciones éticas, afectivas y valóricas; o se mencionan aspectos relacionados con la creatividad, por ejemplo, una aplicación novedosa o que haya un cierto punto de originalidad.

En resumen, cuando consideramos que se ha conseguido el objetivo de aprendizaje al nivel máximo esperamos del alumnado más que aplicar conocimientos: esperamos que los integre, los adapte al contexto y tome decisiones justificadas de forma rigurosa y atendiendo a criterios de calidad. Estos niveles superiores reflejan la aplicación conjunta de pensamiento sofisticado, incluyendo la aplicación del pensamiento crítico, creativo y cuidadoso, pero también algorítmico y sistémico, al tema en cuestión. Así, aunque las rúbricas no “midan” el pensamiento crítico (u otros pensamientos de alto nivel) como constructo aislado, sí evalúan desempeños en los que este se manifiesta de manera auténtica y situada. Dicho de otro modo, pensar críticamente sobre un tema (y también de forma creativa, cuidadosa, estructurada y sistémica) suele ser considerado el nivel superior de dominio de ese tema.

Sin embargo, en un aula que pretende fomentar el pensamiento crítico (y también el creativo, cuidadoso, sistémico...), su progresión debe poder evaluarse partiendo del estadio inicial en el que se encuentre el alumnado. Es decir, independientemente de que asociemos el pensamiento crítico aplicado a diferentes temas como el nivel superior de ese tema, es necesario pensar cual es el camino que nos lleva a ser críticos, en general, des de un punto inicial bajo y también cual es el nivel de criticidad esperable en cada etapa o ciclo educativo. Es decir, cuales son niveles de desempeño novel o incipiente en pensamiento crítico. Y esto es importante porque evaluar es guiar desde maneras de hacer, pensar y hablar incipientes a maneras de hacerlo más sofisticadas.

En este sentido, tanto propuestas clásicas ampliamente usadas (como la rúbrica holística de Facione 2010), como algunos estándares internacionales (por ejemplo las rúbricas de pensamiento crítico de la “Critical Thinking Assessment Rubric”, la rúbrica de pensamiento creativo y crítico combinado “Creativity and Critical Thinking Conceptual Rubric” de la OECD o a rúbrica VALUE de la AACyU) proponen un camino entre maneras de pensar significativamente débiles (un pensamiento crítico dormido) a maneras de pensar sobresalientes o fuertes. En propuestas más concretas, por ejemplo, sobre evaluación de las habilidades cognitivas del pensamiento crítico (Sanmartí, 2025), el camino entre el novel y el experto pasa por integrar y dominar progresivamente habilidades como claridad, exactitud, precisión, relevancia, profundidad, amplitud, lógica, significatividad, justicia, credibilidad, apertura, coherencia, suficiencia, autonomía, creatividad y, posiblemente, muchas otras. Nos hace falta más investigación educativa para acabar de determinar cuáles de estas son más significativas no solo en los niveles máximos de pensamiento crítico, sino sobre todo en todos los niveles de desempeño de otras competencias que queremos que empiecen a incorporar la perspectiva crítica.

Por último, Sanmartí también señala que, en general, la dificultad principal de evaluar el pensamiento crítico, particularmente cuando pensamos en las dimensiones más afectivas del mismo (como las disposiciones o la regulación emocional), es que *“son saberes que fundamentalmente «se atrapan» por el hecho de vivir en un entorno que los pone en práctica (grupo clase, grupos del tiempo libre, familia y, actualmente, incluso influenciadores de referencia, etc.[por lo que] es difícil de evaluar su progreso porque hay un fuerte componente de azar en su aprendizaje”* (p.44). Esta reflexión la podríamos extender a cualquiera de los pensamientos sofisticados que nos interesa desplegar en la educación, incluyendo el pensamiento creativo, cuidadoso, sistémico o computacional, entre otros. Dicho de otra forma, las diferentes componentes del pensar *bien* (y actuar mejor) se incorporan culturalmente, por inmersión y pertenencia, y por tanto, requieren de un aula donde, de forma explícita y sistemática, la cultura imperante sea la de regularnos en esa dirección.

REPENSAR LA EVALUACIÓN HOY

Los apartados anteriores nos invitan a repensar y sobre todo invertir tiempo de calidad en la evaluación. Y nada de lo presentado es nuevo: la investigación educativa hace tiempo que interpela a la comunidad educativa, llamándola a abandonar tradiciones obsoletas y apostar por prácticas evaluativas fundamentadas y de alto valor añadido, como la evaluación formativa y formadora. Pero las ideas de siempre toman hoy un nuevo cariz, porque seguramente nunca hemos estado en mejor posición para convencer de un cambio en la evaluación. Hoy existe consenso respecto al hecho de que ya no podemos evaluar como siempre ni lo de siempre. La rápida emergencia y expansión de la Inteligencia Artificial ha llevado a cuestionar

profundamente cómo, cuándo y cuánto evaluamos, incluso entre aquellos profesionales e instituciones más reticentes al cambio educativo. Si nunca estuvo bien evaluar reproductivamente, hoy no hay discusión respecto a la futilidad de esta orientación. Es posible que aquello que acabe llevando a las aulas a implementar una evaluación de corte más competencial e integrada con el proceso de aprendizaje no sea el convencimiento de que ésta es mejor para el aprendizaje, sino la constatación de que la evaluación tradicional ya no sirve para seleccionar bien.

También inclina la balanza hacia la mejora de la evaluación el hecho de que las expectativas de aprendizaje nunca han sido más altas. No sólo la IA, sino sobre todo los enormes retos asociados a la crisis ecosocial a la que nos enfrentamos requieren el ejercicio de un pensamiento ciudadano altamente sofisticado, que nos permita pensar *bien* para lograr actuar mejor. Y como hemos visto los componentes del pensamiento sofisticado, particularmente el pensamiento crítico, pero también el pensamiento creativo, cuidadoso, sistémico o computacional, son de corte autocorrectivo y se benefician de una evaluación que fomente la autorregulación como parte de la cultura educativa. Esto apunta a una enseñanza de las ciencias ambiciosa centrada no sólo en la capacidad docente para escuchar, interpretar y responder a las ideas de los alumnos y apoyar cambios continuos en su pensamiento (Windschitl *et al.*, 2018), sino en desarrollar esa capacidad y transferir progresivamente esa responsabilidad al propio alumnado, que ya es ciudadano hoy y lo seguirá siendo mañana.

Por último, es importante entender que vivimos en un momento histórico en el que el aula compite con muchas otras formas de acceder a contenidos, generalmente más dinámicas y satisfactorias a corto plazo, como las redes sociales y los justamente denominados *influenciadores*. En esta situación, solemos achacar la “falta de interés” del alumnado por los contenidos que trabajamos en el aula a nuestra incapacidad de motivarles como lo hacen otros canales, con sus colores, sonidos y ritmos estridentes. Sin embargo, es muy importante comprender que la verdadera motivación del alumnado a aprender viene de su reconocimiento de que aprende (Couso y Sanmartí, 2022). Es decir, lo que motiva a aprender es aprender. En consecuencia, si queremos que el alumnado vea el valor y el sentido de *ponerse* (involucrarse, participar, intentar comprender, ...) en nuestra aula, tenemos que conseguir no sólo que aprenda algo, sino que sea consciente de que está aprendiendo. Es solo desde este reconocimiento personal del salto que les hemos ayudado a dar entre lo que eran capaces de hacer en el punto de partida y lo que son capaces de hacer ahora, después de aprender, que el aula de ciencias cobra sentido.

Agradecimientos. Esta investigación se ha financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2022-138166NB-C22b) y se ha realizado dentro del grupo de investigación SGR ACELEC, ref.2021 SGR 00647

Capítulo 11. La intervención sobre las emociones en el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias

Florentina Cañada Cañada y Vicente Mellado Jiménez
Facultad de Educación y Psicología. Universidad de Extremadura
Contacto: flori@unex.es; vmellado@unex.es

INTRODUCCIÓN

Hasta hace unos años, en la investigación en didáctica de las ciencias se incidía sobre todo en los factores cognitivos, descuidando los aspectos emocionales. En los últimos años la situación está cambiando: Romero (2022) ha realizado una revisión de las emociones en ciencias en revistas y congresos de didáctica de las ciencias y constata un interés creciente, señalando, además, que España lidera las publicaciones sobre el tema.

Los estudios sobre neurociencia (Mora, 2008) indican la importancia de las emociones para potenciar la creatividad, el compromiso y el aprendizaje. La emoción es fundamental en la toma de decisiones, algo que profesores y alumnos tienen que hacer constantemente en clase. Actualmente se considera que lo cognitivo configura lo afectivo y lo afectivo lo cognitivo y la idea de la enseñanza y el aprendizaje como una práctica emocional en la que intervienen procesos cognitivos y afectivos es aceptada por investigadores y educadores.

Para Bisquerra (2000) la emoción es una reacción subjetiva a los estímulos del ambiente acompañada de cambios orgánicos (fisiológicos y endocrinos) de origen innato, pero influidos por la experiencia individual y social. Damasio (2010) añade que las emociones no sólo son reacciones a los estímulos del presente, sino que también se producen por el recuerdo o evocación de hechos sucedidos en el pasado o por el anticipo de posibles situaciones futuras. Asumimos que la emoción tiene una parte psicobiológica, pero es también una construcción social, interconectada con el contexto y la cultura (Mora, 2008).

Contamos con muchas taxonomías complementarias para clasificar las emociones. Hay emociones primarias o básicas, con un origen más genético, y emociones sociales, que dependen más del contexto y de la experiencia individual y social. Entre las básicas o primarias se encuentran el miedo, la aversión, la ira, la tristeza, la alegría y la sorpresa, aunque esta última también tiene un fuerte componente social. Entre las sociales están la vergüenza, la culpabilidad, los celos, la turbación, el orgullo, la envidia, la gratitud, la admiración, la indignación o el desdén, entre otras. Las emociones también pueden clasificarse en positivas (la alegría, el orgullo,

el entusiasmo, etc.), negativas (el miedo, la ira, la aversión, la frustración, etc.) o neutras como la sorpresa. Una tercera clasificación combina en dos ejes las emociones positivas y el grado de activación de estas (Sánchez-Martín *et al.*, 2018), situando en la activación alta emociones positivas como la curiosidad y el entusiasmo; negativas como el rechazo, la frustración, la incertidumbre y la confusión; y neutras como la sorpresa. Entre las de activación baja se sitúan emociones positivas como la satisfacción y la tranquilidad, y negativas como la tristeza y el aburrimiento.

El programa de investigación que se lleva a cabo en la Universidad de Extremadura por equipos interdisciplinares de distintos niveles educativos pretende realizar un diagnóstico de las emociones en el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, la tecnología y las matemáticas, así como una intervención cognitiva y emocional en la enseñanza y el aprendizaje de estas materias y en la formación del profesorado (Bravo *et al.*, 2022; Mellado *et al.*, 2014). El objetivo no es sustituir el reduccionismo racionalista por el emocional, sino que emociones y razón se complementen. Como dice Damasio (2010), se trata de establecer un diálogo entre la razón y las emociones y de entender cómo se relacionan.

LAS EMOCIONES HACIA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Las emociones hacia el aprendizaje de las ciencias son positivas en la etapa de primaria y su recuerdo permanece a través de la escolaridad

Los estudiantes de primaria tienen emociones positivas hacia el aprendizaje de todos los temas de ciencias, siendo el mayor porcentaje de emociones positivas hacia la tecnología y los seres vivos, y negativas hacia la materia y energía (Del Rosal *et al.*, 2019). En este último bloque son la diversión y la alegría las emociones mayoritarias, pero también alcanza valores altos el aburrimiento, una emoción desactivadora que puede ser el preludio de lo que posteriormente ocurre en secundaria. También en áreas STEM los alumnos de primaria tienen emociones predominantemente positivas (Mateos-Núñez *et al.*, 2020).

Al analizar el recuerdo de las emociones de su etapa de primaria en maestros en formación inicial sobre distintos contenidos de ciencias, los resultados indican que tienen un recuerdo emocionalmente muy positivo de las asignaturas de ciencias (Brígido *et al.*, 2013), destacando curiosidad, entusiasmo o interés. En cambio, emociones negativas como frustración, odio o ansiedad, sólo son señaladas por una mínima parte de los encuestados.

Las emociones hacia el aprendizaje de las ciencias en secundaria son más positivas hacia la biología y geología que hacia la física y química, y su recuerdo permanece a lo largo de la escolaridad

En secundaria las emociones son en general más positivas hacia la biología y geología que hacia la física y química. En el primer caso son más positivas hacia la biología que hacia la geología (Muñoz *et al.*, 2023), y en el segundo más positivas hacia la química que hacia la física (Dávila *et al.*, 2021). Las emociones positivas disminuyen con la escolaridad y las negativas aumentan durante la etapa de secundaria obligatoria, en las áreas de ciencias y en general en las áreas STEM (Mateos *et al.*, 2020). En la mayoría de los casos la emoción negativa más señalada es el aburrimiento, una emoción desactivadora del aprendizaje.

El recuerdo de las emociones de los futuros maestros de primaria, hacia los contenidos de biología y geología en su etapa de secundaria es muy positivo (motivación, interés o curiosidad), independientemente del bachillerato cursado; en cambio el recuerdo de sus emociones hacia los contenidos de física y química en secundaria solo es positivo en los que cursaron el bachillerato de ciencias, tecnología o ciencias de la salud, destacando emociones negativas fuertes como miedo, tensión o desesperación en los que cursaron el bachillerato de humanidades, sociales o arte (Brígido *et al.*, 2010).

Hay diferencias de género en las emociones en el aprendizaje de las ciencias

En educación primaria se encuentran pocas diferencias en las emociones entre niños y niñas (Mateos-Núñez *et al.*, 2020), aunque las niñas tienen más emociones positivas, y menos negativas, que los niños hacia los temas de biología (Del Rosal *et al.*, 2019). En secundaria, los chicos tienen emociones más positivas hacia la física y la química y las chicas hacia la biología (Dávila *et al.*, 2021).

El recuerdo de estas emociones se mantiene durante el primer curso universitario en estudiantes de distintos campos: los hombres recordaron con mayor frecuencia emociones positivas en el aprendizaje de física, química tecnología y matemáticas, mientras que las mujeres recordaron con mayor frecuencia emociones negativas hacia estas materias; en cambio en biología las mujeres recordaron más emociones positivas que los hombres (admiración, alegría, amor, entusiasmo, felicidad), aunque también más nerviosismo, preocupación y miedo (Borrachero *et al.*, 2014). Estas diferencias son análogas a las encontradas en numerosos estudios sobre las actitudes hacia la ciencia: más emociones positivas en los chicos en física, química y tecnología, mientras que las chicas manifiestan más emociones positivas en temas de salud y de ciencias de la vida.

Hay causas de las emociones hacia el aprendizaje de las ciencias relacionadas con los propios estudiantes

Los estudiantes tienen emociones negativas hacia el aprendizaje de las ciencias cuando no sienten motivación o no se sienten capaces de aprender. La autoeficacia es la creencia en la propia competencia en la organización y realización de una tarea. En estudiantes de secundaria las emociones negativas están relacionadas con una baja autoeficacia hacia el aprendizaje de las ciencias (Muñoz *et al.*, 2023), existiendo también relación entre autoeficacia y autoestima, aunque ambas disminuyen con la escolaridad (Mateos *et al.*, 2020). La baja autoeficacia actúa como un predictor de mayor ansiedad, y en asignaturas como la física, la ansiedad hacia su aprendizaje, especialmente en las chicas, es un predictor de menor autoeficacia (Çalışkan, 2017).

Desde el punto de vista de la atribución causal, las emociones están relacionadas con el éxito o fracaso académico: los estudiantes sienten emociones positivas cuando obtienen buenos resultados y negativas cuando no (Dávila-Acedo, 2017). Las emociones positivas, y a la inversa las negativas, también se han mostrado como un predictor del rendimiento académico del alumnado de secundaria (Gil *et al.*, 2019). Para Pekrun (2006), las emociones sobre el aprendizaje están moduladas por el control sobre las actividades y por el valor esperado, de manera que los estudiantes de secundaria experimentan emociones positivas en las actividades prácticas cuando sienten que controlan la actividad y cuando les parece útil para su vida.

Para maestros en formación, Del Rosal *et al.* (2018) encontraron una relación estadísticamente significativa entre emociones y rendimiento académico. También Ochoa *et al.* (2019) con maestros en formación inicial, señalan que existe una asociación duradera entre las emociones experimentadas en las clases de ciencias durante la educación secundaria y el aprendizaje adquirido en esa etapa.

Hay causas relacionadas con el contenido de las asignaturas de ciencias

En algunos estudiantes el propio contenido de las asignaturas de ciencias puede ser causa de emociones negativas, como frustración o aburrimiento, porque no tienen control sobre su propio aprendizaje o no le encuentran utilidad. Los distintos estudios coinciden en que la física y la química son las que más emociones negativas aportan, especialmente la física, tanto en la enseñanza como en el aprendizaje. En asignaturas como la física el fracaso y las emociones negativas las atribuyen al contenido teórico de la asignatura y a la resolución de problemas teóricos (Dávila, 2018).

Popper estableció la teoría de los tres mundos: el primero es el mundo material; el segundo incluye tanto los procesos de aprendizaje individual como la construcción histórica de conocimiento; el tercero es el producto final del conocimiento, estructurado en teorías. En la física, más que en las demás materias de ciencias, se

ha abusado de la transmisión de la física como un conjunto de verdades acabadas e indiscutibles (mundo tres), alejadas tanto de las inquietudes de los alumnos, como de la emoción que supuso en su momento histórico la construcción del conocimiento (mundo dos). Esta forma de plantear el aprendizaje científico, centrado en la explicación del profesor, en el libro de texto y en la resolución de problemas cerrados de lápiz y papel, genera en muchos estudiantes actitudes y emociones negativas muy fuerte, como odio, tensión, frustración, miedo, que pueden transferirse posteriormente a las que tienen como profesores cuando tienen que enseñarlas (Bravo *et al.*, 2022).

La mayor influencia de las emociones está relacionada con las estrategias metodológicas del profesor

En la etapa de primaria, Del Rosal *et al.* (2019) señalan que los alumnos relacionaban las emociones positivas hacia las ciencias con estrategias metodológicas centradas en el alumnado, como trabajos en grupo, actividades prácticas, o salidas al medio natural; en cambio asociaban emociones negativas con las estrategias centradas en el profesor, como explicaciones orales o el uso de la pizarra y del libro de texto. Este resultado coincide con el de Mateos *et al.* (2020) con estudiantes de primaria, en los que las emociones positivas se asociaban a actividades experimentales.

También en la etapa de secundaria obligatoria las causas están, sobre todo, relacionadas con la metodología y la actitud del profesor (Dávila *et al.*, 2021): en el caso de la química las emociones positivas se asociaban al uso de actividades prácticas de laboratorio, o de las TICs, y en el de la física, las negativas a estrategias centradas en la explicación del profesor o el uso del libro de texto. Estos resultados coinciden con el recuerdo que tiene el profesorado en formación sobre las causas de las emociones hacia el aprendizaje de asignaturas de ciencias en secundaria (Borrachero *et al.*, 2014).

LAS EMOCIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

En el profesorado en formación, el recuerdo de sus emociones hacia el aprendizaje de las ciencias en su etapa de secundaria se transfiere a las que vaticinan que van a sentir y a las que realmente sintieron en la enseñanza de estas materias

En maestros de primaria en formación, las emociones como docentes hacia una materia de ciencias se corresponden con el recuerdo de sus emociones hacia esa misma materia cuando ellos eran estudiantes de secundaria. Esta concordancia se da tanto al vaticinar lo que sentirían hacia la enseñanza de estas materias, como con las que realmente sintieron cuando las enseñaron durante las prácticas de enseñanza

(Brígido *et al.*, 2010). Para las ciencias naturales las emociones fueron mayoritariamente positivas, aumentando éstas durante las prácticas y disminuyendo las negativas. En cambio, para física y química las emociones fueron mayoritariamente negativas, aunque al enseñar estas materias las negativas disminuyeron ligeramente y mejoraron las positivas. Para Ochoa *et al.* (2024) las emociones de los maestros en formación están influidas por sus experiencias previas de aprendizaje y aquellos con mejores conocimientos previos anticiparon más emociones positivas y menos negativas. De su etapa de secundaria recuerdan haber experimentado más emociones positivas en las clases prácticas que en las teóricas

También en futuros docentes de ciencias de secundaria se encontró concordancia entre las emociones que recordaban de su etapa de secundaria en las asignaturas de ciencias con las que vaticinaban que sentirían al enseñar estas materias (Costillo *et al.*, 2013), siendo positivas hacia la enseñanza de las asignaturas que se correspondían con su especialidad y negativas frente al resto, con dos excepciones: para la biología en la que la mayoría mostraron emociones positivas y para la física, en la que incluso los futuros profesores de la especialidad de Física y Química, mostraron casi en la misma medida emociones positivas y negativas. La concordancia también se manifestó entre el recuerdo de las emociones y las que sintieron al impartir contenidos de su especialidad.

Las emociones en el profesorado en formación están relacionadas con el género, siendo en los hombres más positivas hacia la física y química y en las mujeres más positivas hacia las ciencias naturales

En estudios con maestros en formación, Brígido *et al.* (2010) señalan que los hombres expresaron más emociones positivas que las mujeres hacia la enseñanza de la física y la química y las mujeres más emociones negativas que los hombres. Para Retana *et al.* (2020) las maestras en formación, al cursar asignaturas de didáctica de la biología, experimentan emociones positivas con mayor intensidad que los hombres (entusiasmo, asombro, satisfacción, etc.); en cambio los hombres expresaron emociones negativas con mayor intensidad que las mujeres (tensión, aburrimiento, frustración, etc.).

Estos resultados se agudizan en estudios con el profesorado de secundaria (Borrachero *et al.*, 2014) en los que las mujeres mostraron más emociones positivas que los hombres hacia la enseñanza de la biología, y los hombres más emociones positivas y menos negativas hacia la enseñanza de la física.

Las causas de las emociones hacia la enseñanza de las ciencias son complejas, atribuyéndose al profesorado, al contenido de las asignaturas y a sí mismos como estudiantes, aunque la mayor influencia está relacionada con las estrategias metodológicas

En los futuros maestros las atribuciones de causa de las emociones positivas son en mayor porcentaje hacia el profesorado (la metodología de enseñanza, la actitud y el sistema de evaluación), que hacia el contenido de la asignatura (la propia materia, la resolución de problemas y las actividades prácticas) y hacia sí mismos como estudiantes (los resultados académicos, la propia capacidad para aprender y la motivación). Las causas de las emociones negativas las atribuyen sobre todo a sí mismos como estudiantes, al propio contenido de las asignaturas, especialmente de física, y a la resolución de problemas de lápiz y papel (Bravo *et al.*, 2022).

En cambio, para los futuros profesores de ciencias de secundaria las causas de las emociones negativas las atribuyen fundamentalmente al profesorado y al propio contenido de la asignatura de física, mientras que las causas de las emociones positivas las atribuyen a sí mismos como estudiantes y a las actividades prácticas y de resolución de problemas (Borrachero *et al.*, 2014).

Existe relación entre la autoeficacia y las emociones hacia la enseñanza de las ciencias

Si un profesor se considera competente, con alta autoeficacia, en la enseñanza de una materia, tendrá más motivación y compromiso, considerando los retos como estimulantes, e intensificando los logros personales y sus expectativas de éxito. En cambio, los profesores con baja autoeficacia evitarán enseñar los conceptos que no dominan y les dedicarán menos tiempo.

Los resultados con el profesorado en formación, tanto de primaria (Brígido *et al.*, 2013) como de secundaria (Borrachero *et al.*, 2013; Costillo *et al.*, 2013), indican que, para la enseñanza de la biología, en la que mayoritariamente tienen emociones positivas, la autoeficacia tiene poca influencia en sus emociones. En cambio, la autoeficacia tiene mayor influencia en las emociones hacia la enseñanza de la física y la química, donde las emociones son más negativas: los que tienen una alta autoeficacia hacia la enseñanza de estas materias experimentan más emociones positivas y menos negativas, en comparación con los que tienen baja autoeficacia. Los profesores en formación que, ante una situación problemática de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, la afrontan y no la abandonan, expresan más emociones positivas hacia estas materias.

Las emociones forman parte del conocimiento didáctico del contenido (CDC) del profesor

Shulman (1986) consideraba que además del conocimiento de la materia y del conocimiento psicopedagógico general, entre otros, los profesores desarrollan un conocimiento específico sobre la forma de enseñar su materia, que denominó el Conocimiento Didáctico del contenido (CDC). Las emociones forman parte del CDC del profesor (Garritz, 2010). El propio Shulman (2012) reconocía que el olvido de la parte afectiva fue una de las debilidades de las formulaciones iniciales sobre el CDC y defendía que las emociones deberían incorporarse al mismo. La emoción puede considerarse un componente más del CDC o integrar lo cognitivo y lo afectivo, actuando las emociones como una lente través de la cual el profesor percibe las demás componentes del CDC y su propio proceso de desarrollo. Retana *et al.* (2025) analizaron por métodos etnográficos a una experta formadora de profesores, y concluyen que las emociones se incorporaron a la planificación y la reflexión del CDC, e influyeron en todo el conocimiento profesional.

Melo *et al.* (2017) analizaron las emociones en el desarrollo del CDC sobre el campo eléctrico, en dos profesores de física de secundaria con 5 y 7 años de experiencia, y encontraron que en cada profesor las emociones influyen de forma personal en el desarrollo del CDC. En uno de los profesores la combinación de emociones positivas y negativas hacia el currículo, la metodología y el contenido fueron catalizadoras de sus cambios hacia estrategias más centradas en los estudiantes. En cambio, el otro profesor mostró durante el primer año muchas emociones positivas sobre el currículo y la metodología tradicional, que le dieron una estabilidad afectiva al tener más control de la clase, y reducir aparición de emociones negativas, lo que le hizo sentirse satisfecho y conforme con lo que hacía, y no tener necesidad de cambiar.

Las emociones afectan al cambio de los modelos didácticos del profesorado

Como señalaba Day (1999), el cambio es un asunto de la cabeza, pero también del corazón y difícilmente el profesor realiza cambios en sus modelos didácticos si éstos no le compensan afectivamente y contribuyen a darle más satisfacción personal en el trabajo. Los obstáculos al cambio del profesorado son en muchos casos de naturaleza emocional y social (Bell y Gilbert, 1994). Las emociones afectan a la puesta en práctica de las reformas educativas, ya que los profesores filtran las nuevas propuestas, para ver si coinciden con sus metas y expectativas sobre la enseñanza, generándoles emociones positivas o negativas, que influyen en su identidad y en sus roles, y condiciona la puesta en práctica de las reformas. Las metáforas personales tienen un fuerte componente emocional y se utilizan para caracterizar el cambio del profesorado de ciencias, de modelos transmisivos centrados en el profesor a modelos centrados en el alumno y el aprendizaje (Mellado *et al.*, 2017).

La empatía, las emociones y las expectativas del profesor influyen en las emociones y en el aprendizaje de sus estudiantes, y también las emociones de los estudiantes influyen en el profesor. Los maestros en formación, participantes en una actividad medioambiental de indagación (Retana *et al.*, 2021), incrementaron sus emociones positivas y disminuyeron las negativas, a causa de la habilidad de la formadora para establecer vínculos afectivos en el clima de aula, que estimularon la motivación y la confianza, así como la regulación emocional a través de metáforas, auto instrucciones y sentido del humor.

En maestras de infantil con experiencia, el recuerdo emocionalmente negativo de su propio aprendizaje en secundaria hacia la física y la química hizo que evitasen enseñar estos contenidos (Pradeiro *et al.*, 2024). En una investigación longitudinal, con una profesora de física de secundaria con experiencia (Peme *et al.*, 2008), la profesora tenía dificultades para implementar estrategias innovadoras, por la angustia que le causaba implementarlas a contracorriente de la "cultura" educativa del centro y de las formas socialmente asumidas.

El exceso de emociones negativas, sin alternativas viables, puede llevar al profesor a la parálisis y a la frustración, pero también las emociones positivas pueden llevar al profesor a una zona de confort y a una falta de estímulos para realizar cambios (Melo *et al.*, 2017).

LA INTERVENCIÓN SOBRE LAS EMOCIONES EN EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La intervención se realiza con contenidos concretos de ciencias, a través de actividades y tareas propias de la actividad científica

Damasio (2010) señalaba que lo que acarrea emociones negativas sólo puede ser contrarrestado generando emociones positivas aún más fuertes. Esto significa que a través de estrategias científicas es necesario provocar emociones positivas activadoras hacia la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias que, contrarresten las emociones negativas. El reto es, a través de actividades científicas creativas y estimulantes, conseguir sustituir las emociones negativas por la pasión, la curiosidad, la sorpresa, la determinación, y tantas emociones positivas, que a lo largo de la historia han hecho de la actividad científica una aventura del pensamiento y una empresa profundamente humana

Si la mayor influencia de las emociones está relacionada con las estrategias metodológicas del profesor, los programas de intervención cognitiva y emocional tienen que incorporar actividades científicas sobre situaciones problemáticas abiertas, que incluyan los diferentes procesos de la metodología científica. Davidson *et al.* (2020) señalan la noción de emociones epistémicas, en el sentido de aprender a sentirse como lo hacen los científicos en la construcción del conocimiento y consideran

que estas emociones deben formar parte de las experiencias de los estudiantes y profesores de ciencias. En su investigación con maestros de primaria, estos sintieron emociones epistémicas en la construcción del conocimiento, tales como la perseverancia y el orgullo.

También las estrategias generales de enseñanza influyen en las emociones. Comparando un curso de maestros en formación con metodologías tradicionales, con otro con metodologías invertidas en asignaturas de didáctica de las ciencias (flipped-classroom), en el curso con metodologías invertidas aumentaron las emociones positivas y disminuyeron las negativas como el aburrimiento y el miedo, especialmente en los que tenían menos formación científica (Jeong *et al.*, 2021).

En la intervención hay que partir de las emociones y del perfil de cada persona

Las emociones se generan a lo largo de la escolaridad y son diferentes para cada persona, por lo que la intervención emocional debe tener en cuenta la historia y el perfil personal. Sánchez-Martín *et al.* (2017) se basaron en la teoría de las inteligencias múltiples de Gardner y realizaron una intervención con estudiantes de tecnología de secundaria, con actividades adaptadas a los diferentes perfiles, encontrando que los participantes alcanzaron un mayor rendimiento cognitivo y emocional que los del grupo control, especialmente los del perfil lógico-matemático. También Hernández del Barco *et al.* (2021) en una intervención con maestros en formación, encontraron que en los que predomina la inteligencia lógico-matemática tuvieron una mayor predisposición hacia las ciencias y una mayor autoeficacia, especialmente hacia la física y la química, y más emociones positivas.

Hay estudiantes de primaria y secundaria que tienen emociones negativas hacia las ciencias porque obtienen malos resultados, o porque tienen una baja autoestima y autoeficacia y se sienten incapaces de aprender. En estos casos la intervención tiene que ir dirigida a aumentar la propia autoeficacia y la confianza en la realización de las tareas. Del Rosal *et al.* (2025) lograron que el alumnado de educación primaria incrementara sus emociones positivas, su autoestima y su autoeficacia, además de mejorar sus conocimientos, mediante actividades prácticas de gamificación sobre las propiedades de la materia. Asimismo, Marcos *et al.* (2019), mediante prácticas de indagación con maestros en formación, observaron un incremento de las emociones positivas, una disminución de las negativas y una mejora en los resultados de aprendizaje.

En una investigación etnográfica, Dos Santos y Mortimer (2003) analizaron la respuesta emocional de dos grupos de estudiantes de secundaria, en los que una profesora de química llevó a cabo una enseñanza basada en actividades prácticas innovadoras: el grupo con mejor rendimiento académico sintió rechazo hacia las estrategias innovadoras, porque era sacarlo de su zona de confort con la metodología tradicional, con la que obtenían buenos resultados; en cambio el grupo con

peor rendimiento y mayores problemas sociales aumentó sus emociones positivas, ya que percibió las actividades como un desafío y una oportunidad de aprender.

En la intervención hay que tener en cuenta las emociones activadoras, que estimulan los cambios, y las desactivadoras, que los bloquean

Para la intervención, tanto como las emociones positivas o negativas, es necesario considerar el papel de las emociones activadoras o desactivadoras. Agen y Ezquerria (2021), en un estudio de indagación sobre la "caja negra" con maestros en formación, destacan la importancia de las emociones activadoras, tanto si son positivas como negativas. Sabemos que las emociones influyen de forma diferente según su intensidad: un poco de nerviosismo o frustración, pueden activar, pero el exceso puede paralizar; que hay emociones positivas activadoras, como el entusiasmo, y desactivadoras como el placer o la satisfacción, que no animan a salir de la zona de confort; que hay emociones negativas desactivadoras, como el miedo o el aburrimiento, o activadoras como la preocupación o el nerviosismo, o una emoción tan presente en los descubrimientos científicos como la sorpresa, que puede fijar la atención y la curiosidad (Ochoa *et al.*, 2024).

En las actividades prácticas de indagación con maestros en formación, Ochoa *et al.* (2019) destacan el aburrimiento y la frustración, a las que hay que prestar especial atención en la intervención por su efecto modulador sobre el resto de las emociones y sobre el aprendizaje. Dado que el aburrimiento, que es una de las emociones más desactivadoras, a menudo surge de una baja percepción de control o de una baja valoración de la tarea, en la intervención hay que destacar la utilidad y la accesibilidad de las actividades (Ochoa *et al.*, 2024).

En la intervención hay que utilizar habilidades metacognitivas que favorezcan la autorregulación

En la intervención hay que utilizar habilidades metacognitivas, que favorezcan el conocimiento de los propios procesos cognitivos y emocionales, así como la toma de conciencia de las causas de las dificultades del aprendizaje o, en el caso del profesorado, de la práctica docente y de los obstáculos para el cambio, para de este modo posibilitar la autorregulación y el control de los mismos.

Las actividades socio-científicas o CTS, trabajando en grupo, tienen un gran potencial, tanto para aumentar la motivación y las emociones positivas, así como para estimular la autorregulación de las emociones y del propio aprendizaje. Con estas actividades King *et al.* (2017) encontraron que, al conseguir resultados conjuntamente, los estudiantes de secundaria aumentaron emociones positivas como la determinación y el orgullo, y fueron capaces de autorregular emociones negativas,

como la frustración y la ira, que disminuyeron con las interacciones con otros estudiantes y el profesor.

Disponemos de múltiples ejemplos de estrategias de intervención, en todas las materias, basadas en la resolución de problemas abiertos, el pensamiento crítico y el aprendizaje cooperativo, que han supuesto un mayor desarrollo cognitivo y emocional de los participantes (Bravo *et al.*, 2022, Hernández del Barco, *et al.*, 2021). Citamos textualmente el comentario final de uno de los participantes en la experiencia del péndulo simple, porque sintetiza un profundo cambio de emociones: "*El final fue algo sorprendente, empezamos pensando que no éramos capaces y terminamos averiguando nosotros solos la gravedad de Badajoz, increíble de verdad. Yo personalmente sentí una gran satisfacción y la autoestima me subió. Salí de allí con otros pensamientos totalmente opuestos a cuando empecé*" (Borrachero *et al.*, 2019)

La intervención tiene que incluir la dimensión ética y la defensa de los valores universales

Finalmente, no hay que olvidar que la educación es una empresa ética que tiene que transmitir los valores universales reconocidos por las Naciones Unidas. Camps (2012) advierte de la necesidad de que las emociones estén gobernadas por la razón y por la ética, ya que la historia nos enseña que desde las emociones se pueden justificar las mayores barbaridades.

Desde una base sociocognitiva Dos Santos y Mortimer (2003) señalan que las emociones actúan como mediadoras entre el pensamiento y el contexto social, destacando los factores motivacionales para el aprendizaje y las atribuciones de causa efecto. Intervenciones como las de Franco (2025) incorporan la sostenibilidad y la dimensión ética, en la que se produce un choque emocional que conciencia a los participantes del impacto del ser humano en la naturaleza. En la misma línea, en el marco de la sostenibilidad y la promoción de valores éticos, con una metodología mixta de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y Aprendizaje-Servicio, se ha realizado una intervención con maestros en formación, consistente en el diseño y construcción de un filtro de arena, y tras la intervención aumentan las emociones positivas (alegría, diversión, entusiasmo, satisfacción y sorpresa) y disminuyen las negativas (aburrimiento, miedo, preocupación y rechazo, señalando los participantes que haber realizado esta intervención influirá de forma decisiva en la manera en la que enseñarán ciencias cuando sean maestros en activo (Hernández-Barco *et al.*, 2022). En otro estudio reciente, Gutiérrez-García *et al.* (2024) emplearon la etnobotánica para el estudio de contenidos fisicoquímicos, en un grupo de maestros en formación. Los resultados obtenidos en este trabajo indicaron que el uso de la etnobotánica como herramienta didáctica transversal, integrada en temas de física y química, repercutió en un aumento de la automotivación, mejora de la autoeficacia de los futuros docentes e incrementó su conciencia sobre la sostenibilidad.

Capítulo 12. Actitudes e investigación en didáctica de la ciencia: las actitudes relacionadas con la ciencia

Ángel Vázquez-Alonso y María-Antonia Manassero-Mas
Instituto de Investigación e Innovación Educativa, Universidad de las Islas Baleares
Contacto: angel.vazquez@uib.es; ma.manassero@uib.es

INTRODUCCIÓN

Los estudios de actitudes en didáctica de la ciencia suelen empezar ofreciendo las citas del tema propias del área. Este enfoque es legítimo, pero olvida que las actitudes son un concepto nómada, importado de la psicología social (fuente primaria), donde la investigación sobre actitudes es más ingente, antigua, amplia y básica. Esta auto referencialidad causa diferentes sesgos y desviaciones, teóricos y prácticos, de modo que el objetivo de este capítulo es presentar la investigación sobre actitudes desde una perspectiva dualmente innovadora, incluyendo ambas representaciones. La exposición conjuga la perspectiva de la psicología social y los desarrollos en didáctica de la ciencia.

Puesto que los potenciales contenidos y bibliografía correspondientes serían enormes respecto al espacio de este capítulo, los autores renuncian a una imposible exhaustividad bibliográfica en aras de una mayor clarificación conceptual de cada tópico. Además, se renuncia también a abordar las actitudes específicas de disciplinas (física, química, etc.), grupos (raza, género, cultura, rendimiento, etc.) y otras variables.

Finalmente, he aquí algunas precisiones terminológicas: el título opta por una denominación concreta, extendida y aceptada para nombrar las actitudes en didáctica de la ciencia (actitudes relacionadas con la ciencia, ARC), entre otras posibles (actitudes científicas, actitudes hacia la ciencia, etc.), por ser la más neutral e inclusiva de todas. Además, el término ciencia, escueto por economía de lenguaje, debe interpretarse también en un sentido lato e inclusivo de todas las disciplinas de base científica, y que podría alcanzar incluso la popular descriptiva STEM (ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas).

LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ACTITUD: PIEDRA ANGULAR DEL CONSTRUCTO

Desde su nacimiento hacia 1930, las actitudes han estado en el centro de la investigación en psicología social y aún hoy siguen siendo relevantes. El concepto

de actitud nació a partir de la observación de ciertos problemas agudos de tipo social (controversia sobre la pena de muerte) y político (intención de voto electoral), teñido ya de la hipótesis central que conecta las actitudes como determinantes de las conductas personales (Allport, 1935).

La trascendencia de esta hipótesis para otros campos junto a la posibilidad de cambiar las actitudes (para modelar conductas) extendieron la investigación actitudinal a otros ámbitos, en una relación mutua fructífera para todos. La investigación sobre actitudes proporciona información valiosa sobre una amplia gama de temas y fenómenos cruciales para la sociedad y la existencia humana, tales como la educación, donde la relación actitud/conducta y el cambio actitudinal son cruciales para el aprendizaje. Otras extensiones incluyen la comprensión de valores (e.g., valores de la ciencia), la toma de decisiones (elección de estudios), las conductas de aprendizaje (interés por asignaturas/temas curriculares), el consumo de contenidos (visitar sitios científicos), etc.

Las personas pueden tener actitudes hacia cualquier cosa, de modo que tienen también un papel fundamental en las interacciones entre individuos o grupos. Así, las actitudes ayudan en la comprensión de las relaciones interpersonales, la atracción, la pertenencia, los prejuicios y las conductas individuales de cuidado de la salud (e.g. practicar ejercicio, alimentación saludable, vacunarse, etc.). En suma, las actitudes son relevantes no solo para la investigación, sino también para la vida cotidiana de las personas.

La esencia del constructo actitud es describir preferencias y rechazos, opiniones favorables y desfavorables, apoyo, oposición o incluso neutralidad de las personas ante un tema y expresar el grado de esa percepción positiva/buena o negativa/mala. Numerosos psicólogos sociales han ofrecido diversas definiciones convergentes de actitud. Según Eagly y Chaiken (1993) las actitudes son tendencias psicológicas que se expresan evaluando una entidad con un cierto grado de aprobación o desaprobación. Para Fazio (1995) son asociaciones evaluadoras de objetos que se almacenan en la memoria y varían en su intensidad. Petty y Cacioppo (1986) las definieron como sentimientos generales y duraderos, positivos o negativos, hacia una persona, objeto o tema. Petty y Wegener (1998) las sintetizan en la evaluación global sobre personas, objetos o temas.

Las definiciones anteriores confluyen en señalar un elemento común y esencial: la valoración global del ente evaluado, caracterizada por su valencia, positiva, negativa o neutral (indiferente o ambivalente) y su intensidad (débil o fuerte). El rasgo evaluativo se menciona en todos los estudios y sitúa a las actitudes próximas al ámbito de los valores y las connotaciones ideológicas y motivacionales, con capacidad de influir en la conducta.

El objeto o ente evaluado puede ser otras personas, ideas, objetos, temas, lugares, etc.; y su evaluación puede basarse en diversos rasgos del objeto, tales como pensamientos, creencias, sentimientos, recuerdos y/o percepciones de la conducta propia o ajena.

Otro rasgo de las actitudes es ser relativamente duraderas, porque pueden almacenarse en la memoria. Sin embargo, no se consideran inmutables, sino que presentan diferencias individuales en su estabilidad y cambio, que determinan su potencial de formación, desarrollo y modificación, y está influido por numerosos factores (Petty y Cacioppo, 1986).

La extensa investigación actitudinal realizada desde sus inicios ha contribuido a desarrollar el constructo teórico, pero también a replantearlo, resaltando la centralidad del componente evaluativo de las actitudes, sugiriendo que pueden ser mucho menos estables de lo supuesto, que su relación con la conducta es muy compleja y que cambian.

BASES ESTRUCTURALES DE LAS ACTITUDES: COGNITIVAS, AFECTIVAS Y CONDUCTUALES

Las actitudes pueden variar según la información o los contenidos subyacentes que forman su base. La mayoría de investigaciones han distinguido entre actitudes cognitivas, basadas principalmente en cogniciones, y actitudes afectivas, basadas en emociones o afectos. Las primeras manifiestan la coherencia lógica entre pensamientos y creencias y actitudes: las personas razonan sobre sus creencias para obtener conclusiones, de modo que un cambio de creencias implica cambio de actitud. Las segundas se fundamentan en los sentimientos y emociones de las personas, que suelen ser anteriores en el tiempo e independientes de los procesos cognitivos. Esto subraya que se pueden desarrollar actitudes hacia algo sin tener conocimiento, deliberación o memoria previos.

El modelo clásico propone tres bases principales de la actitud: afecto (sentimiento favorable o desfavorable), cognición (conjunto organizado de creencias) y conducta respecto al objeto (Eagly y Chaiken, 1993). Estos tres componentes (ver un ejemplo para las ciencias en la Figura 12.1), que suelen estar correlacionados, tienen distinta influencia en actitud y conducta, de modo que la actitud es un continuo, resultante de la diferente contribución de los tres. Los componentes afectivo y cognitivo explican una varianza única en la predicción de actitudes generales y tienden a predecir diferentes resultados conductuales. Si el componente afectivo es más relevante, aumenta la correlación con conductas afectivas, pero si el componente cognitivo es más relevante, aumenta su correlación con conductas cognitivas.

Las creencias, compuestas por múltiples cogniciones, son la base cognitiva de la evaluación afectiva del objeto de la actitud, por lo que Eagly y Chaiken (1993) consideran a las creencias como los bloques constituyentes de las actitudes. La naturaleza dinámica de las creencias las convierte en su componente más flexible y el principal objetivo de los modelos de cambio de actitudes: los procesos, formales o informales, de interacción entre persona y entorno modifican las creencias (cogniciones), alterando las creencias originales y las actitudes. La educación, como proceso

interactivo formal e intencional, desempeña un papel decisivo en la modificación de las actitudes, y viceversa (Figura 12.1).



Figura 12.1. Ejemplo de potenciales elementos actitudinales asociados a la entidad clase de ciencias: afectivos (amarillos), cognitivos (verdes) y conductuales (azules). La forma de las flechas y los cuadros indica diferentes aspectos de la fuerza de cada elemento en la actitud (ver el epígrafe “Función de guía de la conducta”). Mayor proximidad al ente indica más información; mayor anchura de la flecha, más intensidad; mayor degradación del color de la flecha indica menos relevancia; mayor degradación en el cuadro del elemento, menor certeza y el marco rojo indica valencia negativa.

La naturaleza amplia y dinámica de la actitud hace que se suele confundir la actitud con otros conceptos similares (conocimientos, creencias, hábitos, valores, opiniones, intereses, emociones, etc.) con los cuales guardan una relación importante, pero su confusión debe evitarse. Las creencias son los bloques cognitivos básicos de las actitudes (un componente de la actitud), pero la actitud es algo más y diferente del mero conocimiento sobre el objeto (componente cognitivo), pues las actitudes poseen el componente afectivo y motivacional para la acción, que puede no aparecer en el conocimiento. Aunque toda actitud tiene una base cognitiva (creencias sobre el objeto), no toda creencia genera necesariamente tendencias específicas evaluativas y de acción. En la misma línea, los hábitos son conductas frecuentes de las personas, que pueden corresponder o no con actitudes, pero, como conductas, son solo una parte de la actitud.

Los valores son principios amplios y transversales (e.g., libertad, honradez, justicia, etc.) que guían la vida personal y social de las personas y pueden estar en

la base de la formación y la expresión del componente valorativo actitudinal. La motivación es un impulso a actuar de determinada manera, consecuente con valores, fines, decisiones, energía, necesidades, expectativas, control y regulación (motivos), y esta descripción anota ya coincidencias (componente conductual) y diferencias importantes respecto a la actitud.

La opinión es un juicio de valoración sobre algo o alguien, que, por tanto, es muy próximo y casi sinónimo de la actitud, que se podría considerar un referente coloquial del término más técnico de actitud. Asimismo, el interés se puede considerar otra expresión concreta de actitud como una inclinación hacia algo porque tiene un valor utilitario (cognitivo, afectivo o material). Las emociones son respuestas fisiológicas, conductuales, subjetivas, automáticas y flexibles (e.g., felicidad, orgullo, sorpresa, vergüenza, miedo, ira), que implican valencias de satisfacción o insatisfacción, priorizan fines y están en la base afectiva de la actitud, pero son constructos psicológicos diferentes a la actitud.

La revisión de Hill *et al.* (2024) ejemplifica bien estas superposiciones entre conceptos cuando identifica como valores de la educación científica interés, diversión, relevancia y comprensión (actitudinales) y otros valores sociales menos actitudinales (intercambio de ideas y apoyo de compañeros y profesores). En suma, estos conceptos próximos que se usan en la literatura comparten similitudes y diferencias con la actitud, pero no se deben confundir: la actitud es el constructo más apropiado y racional para describir disposiciones estables que integran simultáneamente componentes cognitivos, afectivos y conductuales.

Las actitudes en la investigación de la educación en ciencias

La conceptualización de las actitudes relacionadas con la ciencia (ARC) en la investigación de la educación en ciencias ha sido y es motivo de controversia, porque aunque algunos estudios plantean definiciones adecuadas de actitud (Koballa y Glynn, 2007), otros definen el concepto de actitud de forma imprecisa (Osborne *et al.*, 2003).

Desde los primeros tiempos se propusieron diferentes entes y objetos para las ARC y de complejidad creciente: la ciencia, los científicos y el método científico (Aiken y Aiken, 1969), la ciencia (contenidos, trabajo de los científicos y logros de la ciencia) y las actitudes científicas (Gardner, 1975), las actitudes científicas desarrolladas como ideas, información, evaluación y compromiso con las ideas (Gauld y Hunkins, 1980) y la imagen pública de la ciencia, sus métodos, las actitudes científicas, las implicaciones sociales y ambientales y la enseñanza de las ciencias (Hodson, 1985).

Además, la literatura está plagada de definiciones inexactas porque como sinónimos de actitud se usan otros conceptos. Este sesgo podría atribuirse a falta de consulta de la literatura primaria de la psicología social, de modo que una

primera controversia es la atribución de significados diferentes al término actitud (Vázquez y Manassero, 2017). Tytler y Osborne (2012) mencionan los siguientes: actitudes relacionadas con la ciencia y los científicos, actitudes hacia la enseñanza de la ciencia en la escuela, disfrute de las experiencias de aprendizaje en ciencias, interés por la ciencia y las actividades relacionadas con la ciencia, e intenciones de seguir una carrera científica o relacionada con la ciencia. Asimismo, la referencia al reciente enfoque STEM en lugar de referir solo ciencia, añade otra complejidad al panorama conceptual.

La revisión de Potvin y Hasni (2014) analizó publicaciones entre 2000 y 2012 que utilizaban como eje el concepto de actitud, encontrando gran cantidad (58.7%) que no daban una definición explícita de actitud. Además, detectó también la confusión con otros constructos asociados con variables afectivas a través de lazos teóricos implícitos, por ejemplo, inducidos por algunas herramientas de medida, concluyendo que ello no solo dificulta la clarificación conceptual, sino que impide o limita la validez de las conclusiones y las relaciones con otras variables.

Para acoger la multiplicidad de los numerosos objetos de las ARC, diferenciarlas de nombres similares con distintos significados y evitar la confusión conceptual, Vázquez y Manassero (1995) propusieron la denominación global "actitudes relacionadas con la ciencia" y las sistematizaron en una taxonomía (Tabla 12.1).

Tabla 12.1. Taxonomía de potenciales entidades de ARC, integrando ciencia y tecnología (CyT) y sus relaciones con la sociedad como rasgos de la realidad actual de la ciencia.

Dimensiones	Subdimensiones
Enseñanza y aprendizaje	CyT en la escuela
	Productos de CyT escolares
	Relaciones C-T-S
Interacciones ciencia-tecnología- sociedad	Imagen social de CyT
	Aspectos sociales de CyT
	Características de científicos y tecnólogos
Características del conocimiento científico y tecnológico	Naturaleza de CyT
	Constructivismo social en CyT

En suma, la deficiente conceptualización del constructo actitud en relación con otros (sub)constructos similares o relacionados (autoeficacia, motivación, identidad, utilidad, aspiraciones, creencias, emociones, etc.) dificulta la validez y la síntesis de los resultados logrados por la investigación sobre actitudes en didáctica de la ciencia. Según el análisis conceptual anterior, la diversidad de significados de las "ARC" se precisa fijando con claridad el objeto de actitud y asumiendo el modelo triple de las actitudes, cuyo componente esencial es la valencia de aceptación/rechazo.

FACTORES DE LA FORMACIÓN Y EL CAMBIO DE ACTITUDES

La dicotomía entre procesos de formación y cambio de actitudes había sido tradicional en psicología social, pero hoy se considera innecesaria, porque los paradigmas de ambas líneas pueden aprovecharse mutuamente y se han integrado. La evidencia apunta a una durabilidad de las actitudes y a que algunas pueden construirse en presencia de un objeto de actitud, pero otras se pueden recuperar de la memoria donde se han almacenado.

La literatura sobre esta cuestión ha contribuido a identificar los tipos de factores que conforman actitudes (Tormala y Rucker, 2025): asociativos (vínculos automáticos entre objeto y estímulos positivos o negativos), reflexivos (procesos conscientes de pensamiento ligando actitudes e información) y biológicos (herencia, estructuras sensoriales, sexo, etc.).

Los factores asociativos incluyen el aprendizaje y la exploración (recibir información del objeto), la prueba social (observación repetida de conductas de otros), la exposición simple y repetida al objeto, el condicionamiento evaluativo (el objeto presentado junto a otro objeto que ya tiene valencia actitudinal) y el cebado evaluativo (el objeto es presentado junto a un estímulo adicional positivo o negativo).

Los factores reflexivos incluyen el uso de heurísticos o reglas simples para decidir la actitud (e.g., los expertos tienen razón), la disonancia cognitiva (las personas cambian su actitud para minimizar la aversión hacia cogniciones incoherentes), la autopercepción (actitudes inferidas por juicios atribucionales sobre la conducta propia), el equilibrio (cambio de actitud buscando consistencia en sus cogniciones) y la rectificación (cambio de actitud para corregir las influencias erróneas o sesgadas observadas).

En la literatura se denomina persuasión a los procesos de conformación de actitudes mediados por mensajes, comunicaciones o informaciones, proponiendo varios modelos. Los modelos de mensajes se centran en factores de la fuente (credibilidad), del mensaje (argumentación) y de la audiencia (emociones explicitadas). El modelo de juicio social explica el cambio actitudinal desde la asimilación y el contraste, sobre la base de la aceptación, el rechazo y el no-compromiso de las actitudes. Para superar algunos resultados contradictorios de los modelos anteriores se propusieron el modelo de la probabilidad de elaboración y el modelo sistemático-heurístico, que sugieren múltiples procesos persuasivos actuando en diferentes puntos del continuo de elaboración de la información por la persona. La teoría de la autovalidación añade la variable confianza de la persona en su propio pensamiento, modelada por sus emociones, su sentido de poder y la credibilidad de las fuentes, como clave para la persuasión.

Factores determinantes de las actitudes relacionadas con la ciencia (ARC)

La revisión de Osborne *et al.* (2003) describió bajas actitudes globales hacia la ciencia escolar y los factores que influyen en ellas. Por un lado, una gran influencia

de los factores socioculturales relativos al género, por la acción de los estereotipos sobre la ciencia y las mujeres, para crear diferencias de género. Por otro, la pequeña influencia del rendimiento escolar y la disminución de las actitudes con la edad y el grado escolar. Como factores de mejora propusieron mayor precisión en la formulación de los cuestionarios y sus ítems y una mayor contextualización de la ciencia escolar para mejorar las actitudes.

La revisión de Nieswandt (2005) señaló que la manipulación de una o dos variables no basta para alterar las actitudes y conductas y sugirió integrar el factor motivación con emociones y cogniciones y realizar un seguimiento de la dinámica que este trío puede generar, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos.

La revisión de Potvin y Hasni (2014), además de lo ya mencionado, analizó algunos factores y profundiza en la discusión sobre el impacto y la relación entre las actitudes, las variables socioeconómicas y la elección de carreras científicas.

La revisión de Mao *et al.* (2021) sobre 37 estudios y casi 40 años mostró que la correlación general entre las ARC y el rendimiento académico en ciencias es positiva, pero moderada (0.248) y que el tipo de actitud (autoeficacia, interés, relevancia social y mixtas) y el tipo de medida del rendimiento tienen efectos moderados sobre el tamaño de esta relación que otros estudios consideran poco lineal y compleja (Ma, 2022).

La evolución de las actitudes con la edad

Tytler y Osborne (2012) sostuvieron que muchos estudios indican que los estudiantes suelen tener ARC positivas hasta los 10 años, pero que estas tienden a disminuir durante la adolescencia. Osborne *et al.* (2003) no encontraron mejoras en las actitudes de los estudiantes a partir de los 9 años en estudios realizados en el Reino Unido. Otros investigadores constatan la importante disminución actitudinal con la edad (Aguilera y Perales, 2020; Vázquez y Manassero, 2008). En general, los investigadores reconocen la importancia de los últimos años de primaria y secundaria como etapas claves para el desarrollo de las ARC (Archer *et al.*, 2010). Complementariamente, estos hallazgos cuestionan la eficacia de la educación escolar para mejorar la tendencia negativa de las ARC en la adolescencia.

Género

El género mostró diferencias de ARC más estables y consistentes que otras variables personales desde los primeros estudios (Gardner, 1975; Schibeci, 1984). Si bien la magnitud de las diferencias de género varía de leve a moderada, el perfil de ARC es generalmente mejor en hombres que en mujeres y sigue planteando importantes preocupaciones educativas de equidad. Además, esta brecha de género

actitudinal parece estar relacionada con la menor autoconfianza de las mujeres en relación con la ciencia (Sjøberg y Schreiner, 2005).

Sin embargo, los estudios difieren ampliamente en cuanto a la evolución de las actitudes de chicos y chicas en primaria y secundaria, aunque el descenso parece más pronunciado y comienza antes en las chicas. Además, algunos estudios empiezan a informar desviaciones de esos patrones, ya que se reportan diferencias pequeñas o no significativas en las ARC de chicos y chicas, y a expresar preocupación por la forma inapropiada en que se presentan las diferencias de género en algunos estudios (Potvin y Hasni, 2014).

La interpretación de Osborne *et al.* (2003) sobre las diferencias de género planteó que los niños pueden sentirse más presionados a estudiar ciencias debido a la percepción general de la ciencia como una disciplina masculina (estereotipo masculino); por el contrario, esta marca masculina puede llevar a las niñas a no interesarse por las ciencias, por entrar en conflicto con su identidad. Otras interpretaciones consideran la influencia de las expectativas normativas, tanto propias como de otros (e.g., familia inductora del niño hacia la ingeniería y la niña hacia otras profesiones) y la composición curricular de la ciencia escolar, más inclinada hacia los intereses de los niños (física), que pueden afectar negativamente las actitudes de las niñas. El metaanálisis de Miller *et al.* (2024) concluyó que los estereotipos favorecedores de la capacidad masculina en STEM actuaban desde los 6 años, que siguen creciendo en intensidad en las niñas con la edad y que eran mucho más fuertes para la informática, la ingeniería y la física.

Algunos estudios confirman que centrarse en las preferencias, intereses o temas más específicos de los estudiantes dentro de una disciplina (biología o física), influye sobre las diferencias de género observadas (Potvin y Hasni, 2014). Archer *et al.* (2010) argumentaron que las diferencias biológicas por sí solas no pueden explicar las diferencias de género observadas, que serían el resultado de una realidad más compleja e interrelacionada, involucrando diversas influencias sociales y culturales (clase, raza, etc.).

Factores sociales y culturales

Según Nieswandt (2005) el nivel socioeconómico (NSE) y otros factores externos (disponibilidad de recursos) reciben poca atención en investigaciones sobre las ARC anteriores. Estudios posteriores afirmaron que el NSE y el entorno social de los estudiantes influyen en su interés por la ciencia y desempeñan un papel importante en la formación de actitudes (Archer *et al.*, 2010). Aschbacher *et al.* (2014) encontraron que el NSE predice mejor que el género o la etnia la variabilidad de la autopercepción de los estudiantes sobre su capacidad para aprender o practicar la ciencia.

Familia, compañeros y personas de referencia

Las primeras investigaciones consideraron la transmisión de actitudes y creencias de padres a hijos (Koballa y Crawley, 1985) y otros estudios han informado que las ARC de la familia influyen en las ARC de los estudiantes. Aschbacher *et al.* (2010) señalaron que muchos estudiantes de secundaria describieron que su interés inicial por la ciencia surgió cuando sus familiares los animaban a participar en actividades relacionadas con la ciencia, aunque reconocieron que este apoyo disminuía durante la secundaria.

No obstante, la influencia familiar sobre las actitudes de los estudiantes está mediada por diversas variables importantes del entorno familiar, siendo el nivel educativo de los padres uno de los más estudiados, y descubriendo que el impacto de los padres en el rendimiento, la actitud y el interés por las ciencias varía considerablemente según la raza/etnia o género (Gilmartin *et al.*, 2006). George (2000) informó que la participación de los padres en actividades extracurriculares científicas, como visitas a bibliotecas y museos, influye en las ARC de sus hijos y aumenta su interés, y que las ARC de los compañeros también es un indicador importante de las ARC de los estudiantes.

La didáctica de la ciencia: docentes y métodos de enseñanza y aprendizaje

La relación positiva de las ARC y el rendimiento en ciencias sugiere que mejorar las ARC de los estudiantes podría favorecer su aprendizaje (y viceversa), lo cual ha incentivado el análisis de los contextos de enseñanza más efectivos (Mao *et al.*, 2021). Desde hace años, algunos estudios han girado en torno a la escuela, el docente y la calidad de la enseñanza de la ciencia, como factores influyentes en las ARC (Osborne *et al.*, 2003). Otros estudios reportaron el impacto negativo de los métodos de enseñanza tradicionales en las ARC (Bennett y Hogarth, 2009). Potvin y Hasni (2014) propusieron que las variables didácticas y metodológicas en la enseñanza de la ciencia siguen siendo clave para la investigación por su influencia en las ARC de los estudiantes.

La influencia del docente en las ARC de los estudiantes se ha relacionado con su formación académica en ciencias y sus prácticas didácticas. El mayor efecto positivo en las ARC y el rendimiento de los estudiantes en ciencias proviene de los docentes con mayor experiencia, formación científica e interés por la ciencia y otras cualidades docentes asociadas con ARC positivas son el apoyo y motivación y la relación cercana y positiva con los estudiantes (George, 2000).

La influencia del entorno de aprendizaje en las ARC ha recibido gran atención y se han estudiado el aprendizaje colaborativo, la enseñanza en contextos auténticos y prácticas específicas, tales como actividades prácticas y experimentos de laboratorio (Aguilera y Perales-Palacios, 2020). La síntesis de Savelsbergh *et al.* (2016)

mostró que los enfoques del aprendizaje basados en determinados contextos (e.g., indagación, tecnología, colaborativo y actividades extracurriculares) podrían tener una influencia positiva y significativa en la actitud general de los estudiantes hacia la ciencia. El metaanálisis de Aguilera y Perales-Palacios (2020) mostró hallazgos similares: algunos métodos/enfoques de aprendizaje (e.g., cooperativo, proyectos, contexto y materiales tecnológicos y multimedia) podrían generar cambios positivos en las ARC del alumnado. Estas y otras estrategias de enseñanza emergentes, tales como el aprendizaje invertido, el aprendizaje basado en juegos, etc., pueden ayudar al alumnado a desarrollar ARC más positivas en el futuro (Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2024).

LAS FUNCIONES DE LAS ACTITUDES

La capacidad de formar y mantener una actitud almacenada en la memoria es crucial para el funcionamiento humano, pues evaluar algo como bueno o malo ayuda a decidir si acercarse o evitarlo y facilita una acción inmediata, coherente y económica. Las actitudes proveen síntesis que permiten a las personas desenvolverse eficientemente en su entorno, sin tener que evaluar cada nuevo estímulo, ni recordar toda la información o sentimientos asociados al objeto de la actitud (e.g., la actitud hacia la clase ahorra al estudiante reevaluar toda la información o las experiencias asociadas cada vez que va a clase). La activación automática de actitudes ante el objeto hace que las personas no necesiten gran parte de la información, creencias y experiencias que las sustentan facilitando la vida diaria (Tormala y Rucker, 2025).

Sin actitudes, la recepción de un estímulo supondría el esfuerzo en comprenderlo antes de actuar y las personas que no se esfuerzan podrían decidir indiscriminadamente acercarse o evitar todo. Esto haría insoportable y caótica la vida diaria, plagada de riesgos e incertidumbres, en el mejor de los casos; en el peor, las personas comprometerían sus posibilidades de supervivencia por no satisfacer sus necesidades o caer en peligros (e.g., acercarse a un depredador). Por el contrario, poseer actitudes es psicológicamente adaptativo, ya que ayuda a satisfacer necesidades a través de cinco funciones principales: utilitaria, conocimiento, defensa del yo, expresión de valores y adaptación social.

La función utilitaria (o de evaluación del objeto) es la más esencial, pues refleja el valor de guías de la conducta, ya que las actitudes almacenan asociaciones positivas y negativas respecto a los objetos, que aproximan hacia lo positivo y alejan de lo negativo. La función de conocimiento se refiere a organizar, comprender y predecir el entorno, simplificando, categorizando y dando sentido a su complejidad (Allport, 1935). La función de defensa del yo (o autoprotección) ayuda a las personas a defender su autoconcepto frente a las amenazas percibidas. La función de expresión de valores manifiesta y afirma los valores fundamentales y la identidad de las personas (funciones motivacionales).

La función de adaptación social sugiere que las actitudes pueden potenciar (y debilitar) las relaciones sociales. Las actitudes alineadas con el entorno mejoran relaciones y promueven vínculos grupales más fuertes, acercando las personas a quienes comparten opiniones similares (e.g., compartir el gusto por la ciencia con un compañero fortalece los lazos sociales). Por el contrario, las actitudes divergentes pueden distanciar y alejar, debilitando los lazos grupales con quienes tienen opiniones diferentes.

La activación de las funciones de una actitud depende de diversos factores individuales, situacionales o del propio objeto de la actitud, de modo que pueden tener distintas consecuencias e implicaciones para cada persona. Así, las actitudes de personas con alto-bajo control de la imagen personal estarían más orientadas hacia funciones sociales-utilitarias, respectivamente. Además, es más probable expresar actitudes en términos de apoyo que en términos de oposición, ya que aquellas son más convincentes como expresión de valores y adaptación social. Las actitudes con función de autoafirmación y las positivas se consideran más convincentes que las disonantes con el yo o las negativas.

La función de guía de la conducta

En general, las personas se acercan a lo que les gusta y evitan lo que no les gusta, y de este modo las actitudes guían e influyen en las conductas (e.g., prestar atención a temas de interés personal). Esta premisa ha recibido amplio respaldo empírico en psicología social, convirtiendo esta función en la más importante y el argumento clave sobre la importancia global de las actitudes (Ajzen y Fishbein, 2005; Eagly y Chaiken, 1993).

Sin embargo, muchos estudios encontraban que, a veces, las actitudes predecían mal la conducta, pero en vez de descartar la capacidad predictiva de las actitudes, los investigadores optaron por identificar los factores y condiciones que median la relación actitud-conducta, para determinar los que permiten predecir la conducta y los que no, mejorar las medidas de actitudes y conductas, considerar las actitudes hacia la entidad principal junto con otras actitudes y conductas, utilizar actitudes generales para predecir múltiples criterios de conducta e incluir otros factores clave como la fortaleza, las normas subjetivas, el control percibido y las intenciones conductuales (Ajzen y Fishbein, 2005).

La fortaleza de las actitudes es una de sus principales propiedades que influyen en la conducta y se refiere a estabilidad (persistencia en el tiempo) e impacto en la conducta (conductas, decisiones y procesamiento de información). La investigación asigna varias dimensiones a la fortaleza (Figura 12.2), que correlacionan e interactúan entre sí para determinar la fuerza de la actitud y, aunque operan independientemente, una mayor intensidad de las dimensiones causa mayor fuerza en la actitud (Tormala y Rucker, 2025).



Figura 12.2. Dimensiones que contribuyen a configurar la fortaleza de una actitud.

Las teorías de la acción razonada y de la acción planeada de Ajzen y Fishbein (2005) proponen un modelo donde las creencias determinan de forma razonable y coherente las actitudes, y junto a las normas subjetivas y a la percepción de control influyen en las intenciones y, finalmente, en la conducta (Ajzen y Fishbein, 2005). Esta teoría permite conectar los factores de contexto, investigados en la literatura sobre ARC, con las creencias conductuales, normativas y de control, que caracterizan e impactan en las conductas de los estudiantes (Crawley y Koballa, 1994).

Aspiraciones, participación y elección de estudios científicos

La investigación de la relación actitud-conducta ha sido una bandera recogida también en la educación científica, explorando los resultados conductuales deseables en esta área, tales como las aspiraciones, participación y elección de estudios científicos de los estudiantes, incentivada por la confluencia del bienestar social y económico que dependen de ello (Crawley y Koballa, 1994). Mucha investigación sobre las ARC ha desarrollado esta hipótesis: las ARC de los estudiantes influyen en sus decisiones, y, en particular, las decisiones de participar en ciencia (Tytler y Osborne, 2012).

Esta hipótesis se relaciona socialmente con el desarrollo económico y el bienestar social gracias al continuo crecimiento del conocimiento científico y el impulso

STEM. Sin embargo, este crecimiento proyecta una creciente necesidad de trabajadores cualificados en STEM que se traduce en una gran demanda sobre el sistema educativo, tanto de calidad como de aumento y provisión de profesionales STEM (National Research Council, 2007).

Diversos estudios evidencian las dificultades para satisfacer la demanda de profesionales STEM porque requiere cambios estratégicos para asegurar la formación de una fuerza laboral STEM suficiente y cualificada. De hecho, las tasas de enrolamiento de jóvenes en estudios STEM son más bien decrecientes y motivo de preocupación internacional porque ponen en riesgo la formación de suficientes profesionales STEM para mantener el bienestar (*National Science and Technology Council*, 2018; Osborne *et al.*, 2003).

El estudio de los factores que influyen en la elección de estudios STEM ha alcanzado un gran desarrollo y constituye una fecunda aplicación de las ARC para un objetivo interdisciplinar entre la educación y la sociedad: formar jóvenes y estimular su enrolamiento en estudios STEM. Koballa y Glynn (2007) afirmaron que predecir la conducta de los estudiantes es el objetivo principal de evaluar sus ARC, considerando que el concepto global de participación en ciencia incluye conductas específicas, como la matrícula en asignaturas, cursos o carreras de ciencias.

El interés económico, social e investigador del objetivo ha impulsado una gran efervescencia investigadora, uno de cuyos frutos es el nacimiento de dos nuevos constructos de naturaleza actitudinal y social, la identidad científica y el capital científico, inspirados también en la psicología social y que plantean nuevos retos para la investigación en didáctica de la ciencia y el estudio de las vocaciones STEM (Archer *et al.*, 2010; Carlone y Johnson, 2007; Manassero y Vázquez, 2025).

LA MEDIDA DE ACTITUDES

Un rasgo común de las actitudes es que las personas son conscientes de ellas y, por tanto, pueden expresarlas cuando son preguntadas y esto justifica las medidas de las actitudes por autodescripción explícita. No obstante, existen actitudes implícitas, generadas por influencias que las personas pueden no percibir completamente, que quedan inconscientes o que se muestran reacias a expresarlas y escapan a la detección usual, pero también hay métodos de medida para ellas (Hoyle *et al.*, 2025).

Los psicólogos sociales rutinariamente recogen respuestas de las personas que traducen en valores numéricos y puntuaciones de actitud, mediante cálculos directos o estrategias estadísticas avanzadas (e.g., análisis factorial). En general se admite que los juicios evaluativos en los cuestionarios de autoinforme dependen y están muy influidos por algunos factores contextuales, tales como el contenido, el orden o el formato de las preguntas (Eagly y Chaiken, 1993; Vázquez y Manassero, 1995).

Los datos recogidos evalúan actitudes con buen nivel de precisión y con funcionales interpretaciones, donde la cuestión central es que estas prácticas satisfagan criterios

metodológicos que justifiquen su uso como desarrollo real de una medida, donde el criterio clave de medida es la conexión entre las puntuaciones observadas y los constructos teóricos que pretenden representar. Esta conexión no puede afirmarse solo por vías metodológicas, sino que también requiere teorizar sobre el constructo; por ejemplo, precisar lo que distingue el término "actitud" y cómo sus referentes son relevantes para los resultados de la medida (Hoyle *et al.*, 2025).

El trabajo pionero de Likert (1932) ha generalizado en la psicología el uso de autoinformes multi-ítem ("escalas Likert") que no solo refieren el formato de opciones de respuesta sino un proceso global de la medida de actitudes: (a) generar ítems candidatos; (b) seleccionar el número de ítems que cumplan los criterios; (c) evaluar la fiabilidad y validez de la escala resultante.

Este proceso de respuesta Likert debe decidir el número ideal de opciones de respuesta de la escala Likert. Aunque muchas opciones de respuesta producirían más varianza (una justificación común), esa varianza podría no ser atribuible al constructo. Así, si los encuestados afrontan 15 opciones de respuesta podrían encontrar difícil distinguir valores intermedios próximos (por ejemplo, 4, 5 y 6), porque no ven claro cómo difieren para reflejar su posición en el constructo. El número ideal resulta del equilibrio entre la varianza principal (atribuible al constructo expresado en la pregunta) y la baja o nula varianza de error (atribuible a la incapacidad de diferenciar entre opciones adyacentes).

El proceso de especificación de respuestas Likert también debe decidir si ofrecer (o no) un punto medio (número impar o par de opciones), asignar (o no) etiquetas a las opciones y nombrar las etiquetas en coherencia con la conceptualización del constructo medido. Si las opciones de respuesta no están etiquetadas, los encuestados pueden ver el punto medio como una opción más dentro del continuo. Si las opciones están etiquetadas, la forma de etiquetar los puntos medios es otra cuestión adicional, pues si la etiqueta del punto medio es "ni de acuerdo ni en desacuerdo" expresa indiferencia, pero si es "de acuerdo y desacuerdo" expresa ambivalencia (Hoyle *et al.*, 2025).

Actualmente, la psicometría propone una especificación completa de los rigurosos criterios que deben cumplir los instrumentos de medida para garantizar y fundamentar su validez y fiabilidad. Muñiz y Fonseca-Pedrero (2019) dan una visión panorámica que concretan en diez elementos que facilitan una guía para las acciones y parámetros centrales para el desarrollo de instrumentos de medida válidos y fiables (Tabla 12.2).

Tabla 12.2. Criterios psicométricos que fundamentan la validez y fiabilidad de las medidas.

Elementos *	Criterios específicos de validez y fiabilidad*	Deficiencias frecuentes de los instrumentos de medida de ARC
Marco general teórico	Justificación, necesidad, contexto de aplicación, utilidad, etc.	Insuficiente base teórica del instrumento y contenido de ítems
Definición de la variable medida	Fundamentación operativa (semántica y sintáctica)	Imprecisión en la definición del objeto y la actitud medida
Especificaciones	Requerimientos, ítems, materiales, seguridad, etc.	Comprensión de ítems, hipótesis implícita de percepción inmaculada
Construcción de ítems	Elaboración, selección, adaptación, representatividad, relevancia, etc.	Estructura multidimensional (ausencia de unidimensionalidad)
Edición	Presentación, formato, normas de corrección y puntuación, etc.	Ausencia de estandarización
Estudios piloto	Cualitativos y cuantitativos	
Comparación con otros instrumentos	Contraste con otras medidas semejantes y diferentes	Infrecuente
Aplicación del test	Muestra, aplicación, control de calidad, etc.	Presencia de sesgos de respuesta que invalidan los datos
Propiedades psicométricas	Ítems, fiabilidad, evidencias de validez, baremos, factores, etc.	Escasa información o baja calidad de los parámetros psicométricos
Versión final del test	Texto del test y manual para aplicaciones y uso por otros.	

*Fuente: Adaptado de Muñiz y Fonseca-Pedrero (2019)

Otras limitaciones significativas de los autoinformes, pero menos reflejadas en la investigación, se refieren a la presencia de sesgos de respuesta, por incapacidad o rechazo voluntario de las personas a informar de sus propias cogniciones. Entre las posibles fuentes de sesgos están bien documentadas la deseabilidad social, la incapacidad para reconocer los ítems con puntuación inversa, el cambio del marco de referencia entre diferentes momentos de medida en estudios longitudinales y la incapacidad para recordar con precisión o fidelidad la información requerida. Otras dificultades adicionales son la difícil comprensión de los ítems en el caso de constructos complejos o en el caso de encuestados con bajo nivel de alfabetización (Hoyle *et al.*, 2025).

La medida de actitudes relacionadas con la ciencia

Los problemas conceptuales y las dificultades metodológicas de las medidas de actitudes generales son compartidos también por las medidas de las ARC, agravados en este caso porque las medidas de ARC se desarrollaron ignorando la experiencia psicométrica de medida de actitudes generales (Vázquez y Manassero, 1995).

La revisión temprana de Munby (1983) contabilizó ya 204 instrumentos para medir ARC en el período 1967-77. La mayoría son escalas tipo Likert, aunque también existen escalas de opción múltiple, de diferencial semántico o tipo Thurstone. Varios estudios enfatizan las deficiencias psicométricas de los instrumentos para medir ARC en la primera época (deficientes métodos y escasa validez y fiabilidad de los instrumentos), añadiendo que también pueden invalidar los resultados obtenidos con ellos (Gardner, 1975; Schibeci, 1984). Bennett (2001) los sintetizó en ausencia de marco teórico fundamental del instrumento, la carencia de definición precisa de ARC, el deficiente diseño de ítems, la incierta fiabilidad y validez de los instrumentos y la falta de adecuación estandarizada en interpretación y análisis de datos.

Revisiones más recientes de los instrumentos de medida de ARC añaden también el uso poco frecuente de instrumentos variados y diferenciados de los tradicionales, tales como inventarios de intereses y preferencias, técnicas proyectivas, entrevistas o recopilación de otros datos relevantes, como el rendimiento escolar o la elección de estudios científicos (Osborne *et al.*, 2003). Además, las evaluaciones de ARC siguen centradas en la cognición individual y frecuentemente olvidan perspectivas socioculturales y desarrollar interpretaciones funcionales dirigidas a aplicaciones de aula (Khine, 2015).

Blalock *et al.* (2008) revisaron exhaustivamente las medidas de ARC hasta 2005 y concluyeron que la mayoría de los estudios no proporcionan la evidencia psicométrica necesaria para justificar la validez y fiabilidad de los instrumentos. Posteriormente Toma (2020) analizó 15 instrumentos de evaluación de actitudes hasta 2016, sugiriendo conclusiones similares. En este aspecto psicométrico cabe añadir, en descargo de los investigadores, que las sofisticadas herramientas estadísticas de análisis confirmatorio, amables para los usuarios, no han estado disponibles hasta los últimos años.

El proyecto internacional La Relevancia de la Educación Científica (RoseS) ha contribuido a las ARC de estudiantes de 15 años mediante un cuestionario que indaga perspectivas actitudinales relativas con múltiples tópicos relevantes para aprender ciencias hoy, tales como un trabajo futuro, actitudes ambientales, clases de ciencia, imagen de CyT, uso de medios digitales, actividades extraescolares y aspiraciones hacia la CyT. El análisis psicométrico brinda evidencia que respalda la validez y fiabilidad del amplio instrumento para evaluar la percepción de los estudiantes sobre la relevancia de la educación científica, pues identifica una estructura de nueve factores con 45 ítems (Alfa ordinal .776-.903) robustos, replicables, interpretables y estables que se alinean bien con los fundamentos teóricos del instrumento (Jiménez-López *et al.*, 2025). RoseS actualiza la importancia de escuchar la voz de los estudiantes sobre sus aspiraciones y actitudes desarrolladas por la educación STEM recibida.

A MODO DE CONCLUSIONES

El estudio presentado en este capítulo analiza en paralelo la perspectiva de la psicología social sobre las actitudes generales y de la didáctica de las ciencias sobre las ARC y muestra una pléyade de desajustes en la segunda, que habrían podido evitarse mirando con mayor frecuencia a la primera, como fuente primaria de conocimiento. Consecuentemente, una primera conclusión de este análisis retrospectivo es que no debe olvidarse la psicología social como fuente de inspiración y enriquecimiento de las ARC.

Paralelamente, el estudio ha identificado varias áreas desarrolladas en psicología social (e.g. fortaleza de las actitudes, relación actitudes-conducta, análisis psicométrico y otras) que aún no tienen un correlato habitual en la investigación de las ARC. La segunda conclusión es prospectiva: considerar estas áreas de la psicología social, ya que pueden marcar productivas e innovadoras líneas de futuro en el desarrollo de las ARC.

Finalmente, una observación adicional también prospectiva sobre los conceptos de identidad científica, capital científico (Manassero y Vázquez, 2025) y valores (Hill *et al.*, 2024), que siguen impregnados de componentes actitudinales, y, aunque plantean retos importantes a la investigación en didáctica de la ciencia, le ofrecen también nuevas oportunidades.

Capítulo 13. Argumentación y pensamiento crítico

Blanca Puig, Beatriz Crujeiras-Pérez, Paloma Blanco Anaya y Lucía Casas-Quiroga
Instituto de Ciencias da Educación (ICE); Facultade de Ciencias da Educación. Universidade
de Santiago de Compostela (USC)
Contacto: blanca.puig@usc.es

INTRODUCCIÓN

La argumentación y el pensamiento crítico (PC) constituyen componentes esenciales de la educación científica hoy en día, tanto por su papel en la construcción del conocimiento como por su relevancia social en un escenario marcado por la desinformación y la posverdad.

Durante las últimas décadas, la investigación ha profundizado en formas de promover su articulación en el aula en contextos variados de indagación, resolución de problemas y modelización científica. En este sentido, ha sido de notable influencia el trabajo de investigadores pioneros como Javier Perales, quien defendía que en el aula de ciencias era necesario incluir problemas vinculados con la vida real para poder hacer el aprendizaje más situado y relevante. Su aportación supuso un punto de inflexión en la enseñanza de las ciencias al desplazar la concepción tradicional de problemas como mera práctica de rutinas o recetas, hacia una concepción de herramienta o método para el aprendizaje activo, creativo y significativo. Desde esta visión, que continúa nutriendo a la didáctica de las ciencias, se realiza un recorrido por las principales investigaciones centradas en la argumentación y el PC, entendidos como procesos que requieren un aprendizaje situado y orientado a la resolución de problemas y a la toma de decisiones fundamentadas.

En este capítulo se presenta un análisis de las principales contribuciones y avances en argumentación y PC, con énfasis en las realizadas en el grupo RODA (Razonamiento, Discurso, Argumentación), referente en este campo, y en el que desarrollan su investigación las autoras. Se pretende ofrecer una visión actualizada, de utilidad para docentes, investigadores/as y educadores/as científicos interesados integrar o en fortalecer el PC y la argumentación en la enseñanza de las ciencias.

ARGUMENTACIÓN Y PENSAMIENTO CRÍTICO. EVOLUCIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

La argumentación ha sido objeto de estudio en la investigación en didáctica de las ciencias desde hace más de treinta años. Deanna Kuhn fue una de las primeras

investigadoras en llamar la atención sobre su importancia. La autora proponía que, en el aprendizaje de ciencias, además de la experimentación, había que prestar especial atención a la argumentación. El estudio de la argumentación resulta especialmente relevante porque la construcción del conocimiento científico implica no solo la generación, sino también la justificación de enunciados orientados a comprender su naturaleza (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000).

En coherencia con estos planteamientos, desde su creación en 1994, el grupo de investigación RODA, dirigido por la Dra. María Pilar Jiménez Aleixandre en la Universidade de Santiago de Compostela (USC), ha desempeñado un papel decisivo en la consolidación de la argumentación como línea de investigación prioritaria en nuestro país. Este interés por la argumentación se vio respaldado por la LOE. En el currículo de educación secundaria, la argumentación y el uso de pruebas se incorporaron como componentes esenciales de la competencia científica y, de forma explícita, en los objetivos de las materias de ciencias (MEC, 2007). Asimismo, la evaluación internacional PISA 2006 (OCDE, 2006) integraba el “uso de pruebas” como una de las tres subcompetencias científicas a evaluar, enfatizando el papel de estas en la construcción de argumentos para apoyar o refutar conclusiones.

La relevancia atribuida al uso de pruebas como dimensión central de la argumentación se fundamenta en el libro *10 Ideas Clave. Competencias en Argumentación y Uso de Pruebas* (Jiménez Aleixandre, 2010), en el que la autora ofrece la siguiente definición de argumentación:

“Argumentar consiste en ser capaz de evaluar los enunciados en base a las pruebas, es decir reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, en otras palabras, sustentados en pruebas. La argumentación es una herramienta de la que disponemos para evaluar el conocimiento” (p.23)

Desde esta visión y considerando las contribuciones previas de campos como la psicología (Kuhn, 1992) y la filosofía (Toulmin, 1958), entre otros, la argumentación comenzó a estudiarse en el aula de ciencias como una práctica cognitiva de naturaleza social. Este enfoque compartía un objetivo central: mejorar la formación científica del alumnado, poniendo énfasis en los procesos de razonamiento mediante prácticas científicas para el desarrollo de una ciudadanía alfabetizada y crítica. La argumentación se enmarca así, desde el punto de vista teórico, en la noción de prácticas científicas (Jiménez Aleixandre y Puig, 2012).

Los primeros estudios en el aula de ciencias exploraban la construcción del conocimiento junto con otras dimensiones sociales de la argumentación (Jiménez Aleixandre, 2008). Durante la primera década de los años 2000, estas investigaciones comenzaron a diversificarse, incorporando aspectos vinculados al diseño de ambientes de aprendizaje orientados a promover la argumentación y el análisis de la calidad de los argumentos producidos por el alumnado (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007).

Sobre el diseño de ambientes de aprendizaje, en 2008 se presentaron los principios de diseño para promover la argumentación relacionados con la evaluación del conocimiento (Jiménez Aleixandre, 2008), de gran utilidad en los diseños e investigaciones en argumentación en el aula de ciencias.

En lo referente a los argumentos y a su calidad, estos comenzaron a analizarse desde el punto de vista de su estructura y contenido, adaptando para ello el esquema de argumentos de Toulmin (TAP) (e.g. Blanco Anaya y Díaz de Bustamante, 2017). También, se estudiaron las justificaciones o argumentos apoyados en pruebas, tanto escritos como orales, en contextos variados, como los de toma de decisiones (Brocos y Jiménez-Aleixandre, 2020) e ítems de PISA (Crujeiras y Jiménez Aleixandre, 2015). Dentro de esta línea, destacaron investigaciones centradas en el uso de pruebas, las cuales indagaron, entre otros aspectos, qué se considera como prueba, en qué niveles epistémicos se sitúan las pruebas, y su adecuación para evaluar un enunciado determinado, aspectos recogidos en Bravo *et al.* (2009).

Sobre el papel de las pruebas y los factores que afectan a su uso, se desarrollaron estudios clave en los que se evidenciaba la importancia de atender a los distintos contextos argumentativos e incluir consideraciones éticas en la argumentación sobre cuestiones socio-científicas. La evaluación de pruebas, según la investigación en argumentación, puede verse afectada por factores como las representaciones sociales de nociones construidas socialmente (Jiménez Aleixandre y Puig, 2010). Los sistemas de valores tienden a reproducir la ideología dominante expresada en el discurso, por lo que una de las principales contribuciones de la argumentación a los objetivos de la enseñanza de las ciencias, como sugieren Jiménez-Aleixandre y Erduran (2008), es el desarrollo del PC.

De acuerdo con la caracterización de PC de Jiménez Aleixandre y Puig (2012), esta noción engloba dos grandes series de componentes; una relacionada con la argumentación o el juicio deliberado; y otra serie de componentes relacionados con la educación para la ciudadanía, que integra: la capacidad para desarrollar una opinión independiente y para cuestionar ideas establecidas social y culturalmente, y analizar y criticar discursos que justifican las desigualdades sociales. Según las autoras, aunque la mayoría de las definiciones de PC consideran las dimensiones relacionadas con el compromiso con las pruebas (es decir, con la argumentación), las dimensiones asociadas con la participación y la justicia social no suelen estar presentes, al menos de manera explícita. Ser una persona crítica requiere no solo razonar integrando valores, sino también ser capaz de llevar a cabo acciones críticas basadas en un pensamiento racional e independiente al abordar problemas complejos que nos afectan (Puig *et al.*, 2023).

Esta visión de PC, aplicada en la didáctica de las ciencias, lo considera como una práctica dialógica (Kuhn, 2005), que implica, además, pensamiento autónomo. Desde esta perspectiva, se desarrollaron numerosos estudios centrados en cuestiones socio-científicas, consideradas contextos idóneos para el aprendizaje de PC (Franco Mariscal *et al.*, 2024). Destacan las aportaciones de Solbes (2013), quien justifica

desde la historia y la sociología de las ciencias la relevancia de estos contextos para poder apreciar la naturaleza crítica de la ciencia. Solbes aporta ejemplos concretos acerca de qué competencias críticas se pueden desarrollar (Solbes, 2013). La reflexión histórica que realiza, ¿es la ciencia pensamiento crítico? (Solbes, 2013), resulta de gran pertinencia en la actualidad, y enfatiza la importancia de atender al conocimiento epistémico, un componente del PC (Jiménez Aleixandre y Puig, 2022) a la que los diseños de argumentación han procurado atender. El uso de criterios para evaluar pruebas y para distinguir entre una opinión y una información científicamente fundamentada ha sido un tema central, que, en la era de la posverdad adquiere una mayor relevancia debido al auge de la desinformación, inmediatez digital e incremento de la desconfianza en la ciencia. El marco PISA 2025 (OCDE, 2023) hace referencia a la importancia de formar no sólo consumidores, sino también, productores críticos de ciencia, aspecto que integran trabajos recientes de PC.

Bajo este marco se impulsan nuevas líneas orientadas a la identificación de criterios de ambientes de aprendizaje para el desarrollo de PC, siendo de utilidad el enfoque de la investigación basada en el diseño (Cobo-Huesa *et al.*, 2021). Este creciente interés ha propiciado que, diversos grupos en nuestro país se interesen por el estudio del PC como una competencia multidimensional que integra tanto procesos cognitivos como metacognitivos, así como aspectos relacionados con la acción y las emociones (Couso y Márquez, 2025).

Avanzar hacia este modelo de enseñanza de PC requiere transformar las prácticas de aula y adoptar un enfoque reflexivo y metacognitivo que integre el PC en los objetivos de aprendizaje y evaluación. Así, los diseños han evolucionado hacia propuestas más dirigidas, explícitas y, en determinados casos, orientadas a la conciencia y acción crítica. Este enfoque responde a los nuevos retos educativos, especialmente aquellos vinculados al contexto de la posverdad, que demandan una formación ciudadana capaz de evaluar información, argumentar y tomar decisiones fundamentadas. Con el objetivo de ofrecer orientaciones concretas al profesorado, han surgido herramientas especialmente útiles para el diseño de propuestas didácticas centradas en el PC. Entre ellas destacan el Mapa Operativo del Pensamiento Crítico (MOPC) y el Esquema para Diseñar Actividades de Pensamiento Crítico (EDAPC) de Vila *et al.* (2023), que permiten planificar actividades coherentes con las dimensiones del PC, acordes a las demandas de contextos de aprendizaje actuales. A estas aportaciones se suman modelos integradores como el ENCIC-CT, presentado por Franco Mariscal *et al.* (2024), el cual engloba cuatro componentes clave para la enseñanza del PC: las cuestiones socio-científicas, los dominios y dimensiones del PC, las prácticas científicas y las estrategias de enseñanza.

El PC conlleva el desarrollo de una amplia gama de habilidades, conectadas con la disposición para buscar nuevas pruebas, valorarlas y usarlas para evaluar las ideas propias y ajenas, entre otras. Este énfasis en el uso de pruebas adquiere, de nuevo, especial importancia en el actual escenario social de posverdad. El marco PISA 2025 reconoce que la legitimidad de las afirmaciones científicas basadas en

pruebas ha experimentado un declive ante la opinión pública. Por ello, se vuelve a situar como un eje central de la competencia científica la capacidad de “Buscar, evaluar y utilizar información científica para tomar decisiones y actuar”, lo que evidencia y pone en valor la necesidad de atender a esta estrecha conexión entre la argumentación y el PC.

ARGUMENTACIÓN Y PENSAMIENTO CRÍTICO EN CONTEXTOS DE INDAGACIÓN CIENTÍFICA

La argumentación y el PC han estado presentes de forma implícita en los contextos de indagación científica desde los inicios de su estudio por parte de la didáctica de las ciencias, siempre que dichos contextos se ajusten a los estándares que se promueven desde esta área de conocimiento. Es decir, actividades auténticas que permitan al alumnado participar en las prácticas de la comunidad científica y aprender de forma activa desarrollando aptitudes de razonamiento (Chinn y Malholtra, 2002; Domènech Casal, 2013).

En sus inicios, la argumentación científica se estudiaba como parte de la línea de investigación centrada en el discurso de aula. Por ejemplo, investigando el discurso del alumnado al tratar de identificar una muestra desconocida al microscopio (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003) o el discurso docente en términos de andamiaje para la resolución de problemas en el laboratorio (Reigosa Castro y Jiménez-Aleixandre, 2007). Desde otra perspectiva, la argumentación se utilizaba en el análisis de los procesos de contextualización, es decir, en la construcción del significado de conceptos y su transformación en decisiones y acciones prácticas en el laboratorio escolar (Jiménez-Aleixandre y Reigosa Castro, 2006; Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2015b). En estos contextos, la indagación no parte de una ausencia de ideas, sino de hipótesis iniciales sobre posibles soluciones al problema. Estas hipótesis, a su vez, se elaboran partiendo de conocimientos teóricos o empíricos que permiten conectar datos y conclusiones mediante justificaciones.

Con la incorporación del enfoque de enseñanza por competencias, pasa a ponerse el foco en el uso de pruebas, especialmente aquellas derivadas de actividades experimentales realizadas por el alumnado (e.g. Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2012, 2017; Franco Mariscal, 2015; Monteiro y Jiménez-Aleixandre, 2016) o que combinan el uso de datos primarios con secundarios (Jiménez-Liso *et al.*, 2020). A modo de ejemplo, en el estudio de Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre (2012), el alumnado de secundaria diseñó y llevó a cabo un experimento para determinar qué pasta de dientes protegía mejor contra la caries, justificando sus decisiones, evaluando los diseños de otros grupos y elaborando una conclusión basada en las pruebas obtenidas.

A partir de entonces y en base a los resultados obtenidos en distintas investigaciones, se empieza a tomar más conciencia sobre la necesidad del abordaje

explícito de la argumentación en contextos de indagación, incorporando el metacognoscimiento. Una forma de llevarlo a cabo es a través del análisis de los datos anómalos obtenidos por el alumnado en sus propias investigaciones. Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre (2019), analizaron la capacidad de alumnado de secundaria para identificar la presencia de datos anómalos y controlarlos de forma razonada, identificando progreso a lo largo del estudio.

A su vez también surgen otros enfoques como el Argument-Driven-Inquiry (ADI) (Sampson *et al.*, 2011), los cuales abrieron el camino a incorporar la argumentación de forma más explícita en la indagación. Varios estudios realizados en el contexto español siguen este mismo enfoque, como el de Domènech Casal (2014), que presentaba varios contextos de indagación para abordar concepciones erróneas sobre magnitudes y unidades con preguntas de andamiaje dirigidas para que el alumnado argumente sus conclusiones. Pérez-Vidal y Crujeiras-Pérez (2019) examinaron cómo el alumnado de secundaria de distintos cursos evaluaba la calidad del diseño de una investigación llevada a cabo por ellos mismos y su capacidad para seleccionar la propuesta más adecuada entre dos opciones, así como de justificar su selección. Muñoz Campos *et al.* (2020) diseñaron e implementaron una propuesta sobre el consumo de yogur que integraba la indagación con la argumentación, pero también con la modelización, siendo las actividades relativas a la indagación las más valoradas por los y las estudiantes.

Los resultados de abordar la argumentación de forma explícita en contextos de indagación muestran la necesidad de incorporar otras estrategias o enfoques para conseguir mejores desempeños en el alumnado. De este modo, se integra el uso del conocimiento epistémico en el proceso de aprendizaje, motivado en parte por recomendaciones internacionales en didáctica de las ciencias (e.g. Berland *et al.*, 2016; Elby *et al.*, 2016), así como por su inclusión en el marco PISA 2015 centrado en la competencia científica (OCDE, 2017).

Siguiendo estas recomendaciones, surgen estudios en los que se examinan los desempeños del alumnado de secundaria, a nivel del conocimiento epistémico que utilizan, en contextos de indagación y argumentación. Por ejemplo, Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez (2024) estudiaron el conocimiento epistémico en el discurso del alumnado a través de un caso real sobre una intoxicación alimentaria que involucró a científicos, políticos, personal sanitario y medios de comunicación. En este trabajo, se analizó la utilización de dicho conocimiento en el diseño de un experimento para determinar el origen de la contaminación y en la evaluación de las medidas tomadas durante la emergencia.

En los contextos de indagación científica, como se ha ido describiendo, la argumentación está presente principalmente en los procesos de toma de decisiones. Estos procesos también requieren el uso del PC, ya que es necesario para formular preguntas relevantes, seleccionar procedimientos adecuados, interpretar resultados con rigor, evaluar la calidad de las pruebas e identificar sesgos o limitaciones.

El PC ha comenzado a abordarse en contextos de indagación de forma implícita, del mismo modo que la argumentación. por ejemplo, al tener que evaluar distintos diseños experimentales para seleccionar el más adecuado (Pérez-Vidal y Crujeiras-Pérez, 2019) o al reflexionar de forma crítica sobre los resultados de una investigación (Franco Mariscal, 2015). En la actualidad, los estudios se decantan por un abordaje explícito e integrado de la argumentación y del PC, tanto a nivel del tipo de preguntas que activan ciertas destrezas de PC (Bargiela *et al.*, 2022), como de actividades que introducen de forma explícita y gradual aspectos epistémicos como el uso de datos y pruebas, la fiabilidad y validez de dichas pruebas, a la vez que promueven el desarrollo de destrezas de PC (González-Rodríguez y Crujeiras-Pérez, 2024).

En los últimos tiempos, la indagación ha ido combinándose con el diseño ingenieril, como parte del enfoque STEM (Crujeiras-Pérez *et al.*, 2023; Pérez y Meneses-Villagrà, 2020). En este sentido, la argumentación y el PC también han ido de la mano para obtener desempeños adecuados en el alumnado, aunque los estudios que integren estas tres dimensiones son más escasos. Un ejemplo es el trabajo de Crujeiras-Pérez *et al.* (2023) en el cual alumnado de 4º de ESO estudia la reactividad en agua de varios productos para seleccionar el más adecuado para construir una bolsa de frío instantáneo.

En síntesis, la investigación evidencia un avance desde enfoques implícitos hacia un abordaje explícito de la argumentación y el PC en la indagación, apoyado en el uso de pruebas y el conocimiento epistémico. Modelos como el ADI y el diseño ingenieril amplían estas oportunidades, aunque aún son escasos los estudios que integran plenamente las tres dimensiones. Por tanto, se necesitan propuestas didácticas que articulen de forma coherente indagación, argumentación y pensamiento crítico para favorecer aprendizajes científicos más sólidos.

ARGUMENTACIÓN Y PENSAMIENTO CRÍTICO EN EL CONTEXTO DE LA MODELIZACIÓN CIENTÍFICA

El estudio conjunto de la modelización y argumentación científica ha resultado complejo por su estrecha relación, especialmente en los procesos de generación de explicaciones científicas. Siegel (1989) señalaba la importancia de la argumentación en la elaboración de explicaciones y modelos, considerándose esta una parte integral del proceso. De acuerdo con Toulmin (1958), el conocimiento básico o respaldo teórico constituye un elemento básico en la construcción de argumentos, que a su vez conecta modelos y conocimiento científico. A su vez, la argumentación permite la evaluación de modelos, proceso que implica su construcción y revisión, lo que se conoce como modelización (Justi y Gilbert, 2002; Oliva, 2019).

Böttcher y Meisert (2011) hicieron visible la estrecha relación de la argumentación y la modelización, especialmente en la fase de evaluación del modelo, en que la

argumentación adquiere un mayor protagonismo. Poco después, Passmore y Svoboda (2012) precisaron más dicha relación, mostrando el papel de la argumentación en la exteriorización del modelo al explicar un fenómeno, lo que permite evaluarlo. Sin embargo, han sido Mendonça y Justi (2013, 2014) quienes analizaron en detalle las interacciones entre la argumentación y la modelización confirmando que las operaciones de argumentación se llevan a cabo en todas las fases de la modelización (Justi y Gilbert, 2002).

Desde este marco, se desarrollaron estudios para poder profundizar en las interacciones entre la argumentación y modelización utilizando distintos enfoques. Puig *et al.* (2017) analizaron las operaciones de argumentación que ocurren en relación con los mundos de conocimiento propuestos por Tiberghien (2000). El estudio concluye que es necesario prestar más atención a las destrezas de criticar que elaborar conclusiones durante el proceso de modelización en el contexto de enseñanza del modelo de expresión de los genes.

Blanco-Anaya *et al.* (2019), analizaron el papel de la contraargumentación y refutación en la revisión de modelos empleados para explicar la formación de un sinclinal. Los autores identificaron que, para que se produzca un cambio en el modelo inicial hacia un modelo más científico, es necesario: 1) hacer explícitos los modelos, compartiéndolos con el grupo. Esto ayuda a modificarlos y completarlos, como se muestra en otros trabajos (Blanco-Anaya y Díaz de Bustamante, 2017); y 2) persuadir a los miembros del grupo aportando pruebas que refuercen sus argumentos, contraargumentos y, en consecuencia, sus modelos.

Otra aportación en esta línea, aunque desde una mirada centrada en el uso de modelos para la toma de decisiones, es el estudio de Uskola *et al.* (2021). Las autoras analizaron la relación entre el modelo de sistema inmune elaborado por el alumnado y el nivel de argumentación para posicionarse ante el dilema de la vacunación. Del estudio derivan implicaciones sobre la necesidad de atender a la mejora en el uso de modelos por el alumnado que logren respaldar sus argumentos.

Los estudios discutidos muestran que el trabajo conjunto de la modelización y la argumentación hace que se retroalimenten, mejorando los desempeños de los y las estudiantes (Blanco-Anaya *et al.*, 2019). Además, permiten definir puntos en común, como: 1) los modelos empleados se adecúan al conocimiento científico y a las pruebas disponibles (Böttcher y Meisert 2011; Gilbert y Justi, 2016), 2) el proceso de argumentación ayuda a evaluar si el modelo empleado en una explicación es acorde con esas pruebas. Esto requiere de destrezas como refutar, contraargumentar, o bien persuadir para llegar a consensuar qué modelo permite una mejor explicación del fenómeno (Blanco-Anaya *et al.*, 2019). No obstante, la crítica de modelos es una operación compleja que requiere trabajarse de manera dirigida (Puig *et al.*, 2017), lo que hace evidente que el PC es una competencia esencial de este proceso. Al igual que en el contexto de indagación, tradicionalmente el PC se ha abordado de forma implícita junto con la argumentación. En la actualidad

se empieza a prestar atención a esta competencia de forma más explícita, siendo todavía incipientes los estudios realizados.

En el marco para desarrollar el PC propuesto por Couso *et al.* (2024) se recoge que todo proceso que conlleve pensar científica y críticamente requiere el uso de modelos científicos.

El análisis explícito acerca de cómo el proceso de modelización va acompañado de habilidades propias del PC es un objetivo para cubrir en la investigación en el área. Villar López y Blanco-Anaya (2024), pudieron comprobar que las actividades centradas en la modelización no son las que más los llevan a activar el PC, según la autopercepción del alumnado participante en el estudio. Sin embargo, esto no sucede en la práctica. Villar López y Blanco-Anaya (2025) analizaron el discurso de estos mismos estudiantes a nivel de destrezas y disposiciones de PC aplicando el marco de Facione (1990) en cada una de las operaciones de modelización. Se identificaron una amplia variedad de destrezas y disposiciones en cada una de las fases de la modelización.

Los estudios anteriores sugieren que la argumentación y la modelización, cuando incorporan el PC de forma explícita promueve la capacidad de reflexionar y argumentar, así como la toma de decisiones razonada en base a modelos científicos.

CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado un breve recorrido por la investigación sobre argumentación y PC en conexión con la indagación y modelización en el área. Nos centramos en los trabajos desarrollados a nivel nacional y, específicamente, en aquellos del grupo de investigación RODA, por ser pionero en el abordaje de la argumentación en el aula de ciencias.

No obstante, esta línea de investigación sucede a otros trabajos previos que habían puesto de relieve la importancia de hacer pensar críticamente al alumnado en las clases de ciencias mediante la resolución de problemas. Son especialmente reseñables las aportaciones de Javier Perales, quien presentó una caracterización de los tipos de problemas que se pueden abordar en la enseñanza de ciencias, acompañada de pautas de diseño (Perales, 2000). Ya en aquel momento se pretendía acercar al alumnado a un aprendizaje de las ciencias situado y vinculado a los problemas cotidianos, enfoque que sigue siendo clave en las investigaciones del área. Si bien no se ponía un énfasis específico en los procesos de argumentación y PC, los trabajos de Perales contribuyeron a poner en valor el diseño de propuestas didácticas para implicar al alumnado en el uso y construcción del conocimiento científico para la resolución de problemas.

Agradecimiento. Esta publicación forma parte del proyecto SOS Con-ciencia (Pensamiento crítico para la acción ante desafíos socio-científicos emergentes en la educación científica), PID2022-138166NB-C21/AEI/501100011033/FEDER, UE.

PARTE 3.
ÁMBITOS, ENFOQUES, ESTRATEGIAS, ESPACIOS Y RECURSOS
PARA APRENDER CIENCIAS

Capítulo 14. Educación científica no formal e informal: el potencial de los museos de ciencia

José Eduardo Vílchez¹, Marta Ceballos¹, María de los Ángeles de las Heras² y Juan Luís Arsuaga³

¹Universidad CEU Fernando III, CEU Universities; ²Universidad de Huelva; ³Universidad Complutense de Madrid

Contacto: jvilchez@ceu.es

INTRODUCCIÓN

La interrelación entre educación formal, no formal e informal (Storsve, 2024) resulta clave para comprender cómo se produce el aprendizaje científico a lo largo de la vida y en diversos contextos. Estas categorías no solo definen espacios y metodologías, sino que reflejan la diversidad de experiencias, motivaciones y resultados. En una sociedad tecnológica con retos como la sostenibilidad y el desarrollo de una ciudadanía crítica, el aprendizaje trasciende las fronteras escolares. Por eso resulta relevante la integración de recursos formales con aquellos propios de la educación no formal e informal (“in-school” versus “out-of-school”, Eshach, 2007), una práctica cada vez más presente para desarrollar la competencia científica de los estudiantes y la alfabetización científica de la población.

En este sentido, múltiples investigaciones subrayan que los entornos de aprendizaje más allá del aula —museos, centros de ciencia, parques naturales, laboratorios abiertos o iniciativas comunitarias— favorecen experiencias significativas, emocionalmente ricas y contextualizadas (Bell *et al.*, 2009; Falk y Dierking, 2000). Estos espacios amplían las oportunidades para la indagación, el aprendizaje interdisciplinar y la conexión entre el conocimiento científico y los problemas del mundo real, ofreciendo al visitante mayor autonomía, exploración y construcción personal del significado. Además, la literatura reciente destaca que los aprendizajes producidos en contextos informales poseen un impacto duradero en la identidad científica, el interés por las carreras STEM y la participación ciudadana en asuntos sociocientíficos (DeWitt y Archer, 2017). De este modo, los museos de ciencia se consolidan como actores esenciales dentro del ecosistema educativo, funcionando como mediadores entre la cultura científica y la sociedad. Su potencial radica no solo en la transmisión de contenidos, sino en la creación de experiencias inmersivas que conectan emociones, conocimiento y acción (Pedretti y Lannini, 2020). Reconocer esta contribución implica avanzar hacia modelos educativos más permeables, colaborativos e inclusivos, donde la educación científica formal se nutra de las prácticas, narrativas y oportunidades que ofrecen los entornos no formales e informales.

En este capítulo revisaremos los conceptos de educación no formal e informal, sus potenciales beneficios, así como limitaciones y recomendaciones para su integración en la enseñanza formal de las ciencias. En otros capítulos de este libro se abordan recursos relacionados con estos ámbitos como huertos escolares o salidas al campo entre otros, así que en éste nos centraremos específicamente en los museos de ciencia. Repasaremos aportaciones de la investigación en Didáctica de las Ciencias sobre este recurso y presentaremos dos casos de estudio en los que han participado los autores de este trabajo.

EDUCACIÓN FORMAL, NO FORMAL E INFORMAL

Definiciones y diferencias

De acuerdo con el canon clásico (Eshach, 2007; La Belle, 1982; Malcolm *et al.*, 2003; Marques y de Freitas, 2017) se entiende como educación formal aquella sistematizada, planificada y acreditada por instituciones oficiales. Se basa en currículos, horarios y evaluaciones estandarizadas. Se desarrolla normalmente en las aulas de centros educativos y universidades. Tienen por tanto una elevada estructuración e intencionalidad de cumplir los currículos. La educación no formal sigue implicando un aprendizaje organizado y planificado, pero fuera del sistema escolar tradicional, en otros contextos socioculturales. Es más flexible que la educación formal y su intencionalidad es más contextual que curricular. En cambio, la educación informal no está estructurada, supone un aprendizaje espontáneo, basado en experiencias cotidianas vinculadas a interacciones sociales, medios de comunicación o actividades lúdicas. No tiene una intencionalidad determinada, pero debe ser tenida en cuenta y servir de complemento cuando se planifica la enseñanza formal.

No obstante, estos tres ámbitos no son compartimentos estancos, sino parte de un continuum de experiencias de aprendizaje. Sus límites son fluidos, de forma que, en actividades relacionadas con salidas al campo, visitas a centros de ciencia o en determinados proyectos colaborativos pueden integrarse aspectos formales, no formales e informales. En el caso de la educación científica, los espacios reglados como aulas y laboratorios que sustentan la educación formal pueden complementarse con otros vinculados a educación no formal e informal como medios de comunicación, museos, zoológicos, centros de ciencia, parques naturales o huertos escolares entre otros.

Beneficios y desafíos de la educación científica no formal e informal

La educación científica desarrollada en entornos no formales e informales ha adquirido una relevancia creciente en la última década debido a su capacidad para

complementar y enriquecer la enseñanza escolar. Entre sus beneficios más destacados está el que estos espacios fomentan un aprendizaje más profundo, motivador y participativo, pues ofrecen oportunidades de exploración autónoma, manipulación directa de fenómenos y participación en prácticas científicas auténticas (Bell *et al.*, 2009; Falk y Dierking, 2000). Este planteamiento se apoya en una línea de investigación previa que ya había puesto de manifiesto el valor educativo de las experiencias prácticas en museos para el aprendizaje de las ciencias, destacando su potencial para favorecer la comprensión conceptual y la implicación activa del alumnado (Griffin, 1998). Pero, además, los entornos informales destacan por su capacidad para promover la motivación, la curiosidad, el compromiso emocional y el desarrollo de identidades científicas positivas, especialmente entre jóvenes con menor afinidad inicial por la disciplina (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019). Asimismo, contribuyen de manera decisiva a la alfabetización científica de la ciudadanía al situar la ciencia en contextos sociales, facilitando la comprensión pública de problemas contemporáneos y fomentando actitudes críticas hacia la información científica (Allen, 2004; Griffin y Symington, 1997).

Sin embargo, a pesar de su enorme potencial educativo, la investigación reciente también ha identificado desafíos significativos. Uno de los más persistentes es la falta de integración sistemática con el currículo escolar, lo que dificulta la transferencia del aprendizaje informal al aula y reduce la continuidad pedagógica entre ambos entornos (Bevan *et al.*, 2013). Esta problemática coincide con resultados obtenidos en investigaciones del ámbito de la didáctica de las ciencias, que subrayan que la eficacia educativa de las visitas a museos depende en gran medida de su planificación didáctica y de su vinculación con el trabajo previo y posterior en el aula (Guisasola y Morentín, 2010).

La coordinación interinstitucional requiere tiempo, recursos y estructuras estables que permitan desarrollar proyectos conjuntos, algo que no siempre es viable en centros educativos con altas cargas administrativas o limitaciones organizativas. Otro desafío clave es la formación docente: aunque los entornos no formales ofrecen experiencias de gran valor, muchos docentes no disponen de la preparación necesaria para mediar el aprendizaje, conectar las experiencias con los contenidos curriculares o diseñar actividades previas y posteriores que potencien su impacto (Lucas-Palacios y Ponsoda-López de Atalaya, 2024). En este sentido, se ha señalado la necesidad de revisar y fortalecer la relación entre museos, escuelas y profesorado, incorporando programas de formación específicos que permitan aprovechar el potencial didáctico de estos espacios (Sánchez Mora, 2013). A ello se suma la dificultad de evaluar el aprendizaje en contextos informales, donde el conocimiento adquirido es complejo, situado y frecuentemente espontáneo, lo que exige instrumentos de evaluación flexibles, cualitativos y longitudinales que las escuelas no siempre pueden implementar.

También ocupan un lugar central en la literatura reciente los problemas relacionados con la equidad y la accesibilidad. Investigaciones de los últimos años subrayan que determinados grupos —como estudiantes de entornos rurales, familias con bajo

nivel socioeconómico, minorías étnicas o jóvenes en riesgo de exclusión— encuentran barreras significativas para acceder a museos u otras instituciones científicas, lo que reproduce desigualdades educativas (Dawson, 2014). Esto exige políticas activas de inclusión, modelos móviles o itinerantes (como los programas *museum-on-wheels*) y estrategias de coprogramación con las comunidades. Finalmente, los estudios también señalan la necesidad de avanzar hacia modelos de colaboración más profundos entre instituciones educativas formales y no formales, basados en la cocreación, la corresponsabilidad y la sostenibilidad a largo plazo.

Por tanto, la evidencia pone de relieve que la educación científica no formal e informal es un recurso extraordinario para promover la alfabetización científica, despertar vocaciones, fortalecer la motivación y establecer conexiones significativas entre ciencia y sociedad. No obstante, su impacto real depende de la capacidad de los sistemas educativos para articular una integración curricular sólida, apoyar la formación docente, desarrollar estrategias de evaluación adecuadas y garantizar la equidad en el acceso. Solo mediante una colaboración estructurada y sostenida entre escuelas y entornos informales será posible desplegar plenamente el potencial educativo de estos espacios en el siglo XXI.

Buenas prácticas, directrices y recomendaciones

Atendiendo a lo expuesto anteriormente sobre beneficios y desafíos y, al carácter propio de estos recursos, se pueden mencionar algunos puntos a considerar para una mayor eficiencia en su integración en la enseñanza escolar de las ciencias.

Es esencial que las experiencias de aprendizaje en entornos informales estén conectadas con el currículo formal. Esto puede incluir actividades previas a la visita, exploraciones guiadas por el docente y evaluaciones continuas para asegurar que los estudiantes puedan aplicar lo aprendido en contextos formales. Resulta óptimo que estas actividades puedan formar parte de proyectos que impliquen repetición y consolidación en el tiempo (Bevan *et al.*, 2013; Gumedé y Photo, 2024).

Otro aspecto importante es el diseño adecuado de las actividades. Es recomendable que se enmarquen en estrategias metodológicas de indagación, e impliquen trabajo previo y posterior a la interacción con el recurso no formal (Guisasola y Morentín, 2010). Un buen complemento a esta recomendación general es la combinación puntual con elementos de gamificación y cuando sea necesario, con recursos digitales.

La formación específica y permanente en este tipo de recursos es crucial. Para los docentes que tienen que integrar estas experiencias de aprendizaje informales y no formales en sus prácticas pedagógicas, este aspecto debe formar parte de su desarrollo profesional docente, tanto en formación inicial como a lo largo de la vida. Por otra parte, el personal de entidades externas que en esos ámbitos informales debe colaborar con los centros educativos, también debe tener una

adecuada formación. Un caso singular es el de los guías y facilitadores de los museos de ciencia.

Especialmente en el caso del ámbito informal, la colaboración de las familias, la comunidad y las organizaciones es fundamental para optimizar estas experiencias. Actividades formativas o indicaciones para los padres, pueden asegurar una continuidad, ayudándoles a entender y apoyar las actividades de aprendizaje que sus hijos desarrollen en casa.

LOS MUSEOS DE CIENCIA COMO ESPACIOS DE EDUCACIÓN NO FORMAL E INFORMAL

Las visitas a museos y centros de ciencia están cobrando cada vez más importancia como recurso educativo procedente del ámbito no formal pero que puede integrarse y complementar la educación formal en enseñanza de las ciencias. También deben ser tenidos en cuenta como recurso informal al que los estudiantes tienen acceso en visitas particulares o familiares, constituyendo por tanto una fuente de aprendizaje espontáneo. En etapas tempranas como Infantil y Primaria incrementan el interés y la motivación por la ciencia, mejoran el rendimiento académico y favorecen la retención de conocimientos, especialmente cuando las visitas se repiten en el tiempo (Bamberger y Tal, 2008; Shaby *et al.*, 2019). En etapas posteriores como Secundaria y Educación Superior, pueden mejorar la competencia científica y la percepción sobre cómo trabaja la ciencia, pero requieren una vinculación con el trabajo de aula (Chien *et al.*, 2025; Suter, 2014).

En cuanto a enfoques pedagógicos y estrategias didácticas, existe un amplio consenso en que, para optimizar su potencial, el aprendizaje en los museos debe organizarse en actividades previas, durante y posteriores a la visita (Dewitt, 2012; Morentín y Guisasola, 2015; Souza *et al.*, 2023). Las actividades previas permiten la preparación guiada por parte del docente, establecer objetivos alineados con el currículo y fomentar la motivación en los estudiantes. Las actividades durante la visita pueden ser guiadas (con protagonismo del docente o personal del museo) o libres. Permiten trabajo manipulativo, fomentan la participación, la indagación e interacción en los estudiantes. El seguimiento posterior a la visita puede comprender actividades de reflexión, argumentación, consolidando el aprendizaje y su transferencia a contextos de aula. Además de las clásicas actividades de observación y manipulativas, los museos incorporan cada vez más el apoyo de nuevas tecnologías, basadas en dispositivos, realidad aumentada o “apps” para dispositivos móviles (Chen *et al.*, 2023; Stanković Elesini *et al.*, 2022).

En general, la Didáctica de las Ciencias vincula las visitas a museos de ciencia con metodologías activas, basadas en indagación y gamificación (DeWitt, 2012; Gutwill y Allen, 2012; Morentín y Guisasola, 2015; Stanković Elesini *et al.*, 2022) que permitan la argumentación y reflexión de los estudiantes.

Un aspecto importante que también ocupa a la Didáctica de las Ciencias es la formación de educadores y facilitadores. Se trata de un personal clave para invitar, apoyar y profundizar en la participación activa de los estudiantes, favoreciendo la exploración y la argumentación. Es importante que su actividad de mediación sea flexible y adaptada a las respuestas de los visitantes (Allen y Crowley, 2017; Pattison *et al.*, 2017).

Por otra parte, la integración curricular de las visitas a museos de ciencia presenta desafíos y limitaciones a tener en cuenta. Un aspecto esencial es la estructura organizativa clave en actividades previas, durante y posteriores a la visita. Si no están conectadas, o especialmente en el caso de las pre- y post-visita no existen, la actividad en el museo puede quedarse en algo anecdótico, en el mejor de los casos motivacional y sobre todo un fenómeno aislado en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Toda visita escolar fuera del aula presenta, además retos organizativos y logísticos y la necesidad de disponer de ciertos recursos materiales y humanos. El diseño o adaptación de buenos materiales por parte de las docentes como guías de trabajo, hojas de registro o elementos digitales que luego puedan usarse en actividades posteriores a la visita, también plantea un desafío que tiene impacto en los resultados globales.

Para contribuir a superar estos desafíos resulta esencial la formación de los docentes en el uso de los museos y centros de ciencia y en los enfoques metodológicos adecuados para ello, tanto en su formación permanente, como en los planes de estudio de su formación inicial (Guisasola *et al.*, 2005; Morentín y Guisasola, 2015; Souza *et al.*, 2023). Otra iniciativa importante para ello es el establecimiento de alianzas y colaboraciones flexibles entre los centros educativos y los museos (Çil *et al.*, 2016; Raaijmakers *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2023).

En definitiva, las investigaciones en Didáctica de las Ciencias confirman que las visitas a museos de ciencia enriquecen la educación científica, fomentando el interés, la participación y la comprensión conceptual. Como recomendaciones para optimizar este impacto se pueden mencionar la integración curricular, la organización de actividades previas, durante y posteriores a la visita y el uso de tecnologías digitales y de estrategias pedagógicas innovadoras que favorezcan la indagación. También la repetición de las visitas, incorporándolas a una colaboración habitual entre la escuela y los museos y por supuesto fomentar la formación de los docentes en el uso de estos recursos.

CASOS DE ESTUDIO: EL MUSEO GEOMINERO DE MADRID Y EL SCIENCE CENTER DE PHOENIX (ARIZONA)

A continuación, describimos dos experiencias sobre museos de ciencia en las que han participado los autores como docentes e investigadores. Se han seleccionado ya que constituyen ejemplos con claras diferencias y ofrecen una panorámica diversa

sobre el uso y potencial del recurso. La primera de ellas se desarrolla en el *Museo Geominero* de Madrid y es un claro ejemplo de aproximación informal. Los niños y niñas participantes acudían a las instalaciones del museo durante dos semanas para desarrollar actividades formativas y recreativas en periodo vacacional. Se trata, por tanto, de una iniciativa familiar sin vinculación con su actividad escolar de forma que los participantes en cada grupo no se conocían previamente. Se analizó cómo, de manera informal, su paso por el museo influyó en como percibían el concepto de fósil. La segunda experiencia se desarrolló en el *Science Center* de Phoenix (Arizona). En este caso se trata de una estrecha colaboración entre el museo y la escuela y, por tanto, de una interacción entre educación formal y no formal. Esta asociación permitió que un centro de prestigio como el *Science Center* contribuyera a soslayar la dificultad que muchos centros educativos tienen para realizar visitas a los museos por razones de presupuesto, transporte, distancia o seguridad. El proyecto consistía en invertir la dinámica y que fuera el museo el que se desplazara al centro escolar.

Experiencia en el Museo Geominero de Madrid

El concepto de fósil no aparece como tal en el currículo de la etapa de Educación Primaria en España (Calonge, 2010; Ceballos *et al.*, 2019). Resulta pertinente para este trabajo ya que claramente el acceso a él por parte de niños de esta etapa e incluso la de Infantil, tiene que ver con ámbitos no formales o informales de aprendizaje, como los medios de comunicación, televisión, cine y por supuestos las visitas a museos y otros centros de divulgación científica (Ceballos *et al.*, 2019).

El estudio se realizó en tres talleres quincenales de verano desarrollados en el *Museo Geominero* (Madrid). Los participantes eran escolares de entre 9 y 12 años en período vacacional. Algunos acudían motivados por interesarles a priori el tema de los fósiles o el de los minerales, pero en su mayoría estaban inscritos en el taller por decisión de sus padres, que necesitaban tenerlos ocupados durante toda la mañana (9:00 a 14:30) mientras ellos trabajaban. Se trataba por tanto de participantes, de procedencia diversa, cuyos padres trabajaban por la zona y que acudían sin una expectativa académica o bajo una organización escolar. En cada edición, los participantes se repartían en tres equipos, controlando el monitor que estuvieran equilibrados en edades y sexos. Los niños decidían el nombre de su grupo (“Los extintos”, “Baryonyx”, “Trilobites”, “Esmeralda”, “Lapislázuli”, “Cuarzeto”, “Triceratops”, “Mercurio”, “Cristal”) y permanecerían unidos cooperando o compitiendo por equipos en juegos durante las dos semanas que duraba el taller.

En los tres días dedicados a Paleontología dentro de cada quincena, tuvieron oportunidad de recorrer el museo y llevar a cabo actividades tanto en sus salas como en el aula y en el laboratorio. Una de las actividades desarrolladas en las salas del museo fue una yincana en la que los equipos competían por completar un recorrido y conseguir al final el premio, “la cabeza del tiranosaurio” (una réplica

pequeña escondida en una vitrina). Para lograrlo necesitaban superar unas pruebas haciendo uso de pistas preparadas por el monitor y repartidas por distintos puntos de las salas. Éste gestionaba los tiempos y la participación de todos los componentes de cada equipo, de manera que se aseguraba de que todos los niños participaban y también de que al final hubiera pocas diferencias entre los equipos. Uno de los objetivos, más allá del aprendizaje de contenidos de Geología, era que los niños se conocieran e hicieran grupo y por ello se desarrollaba al final del primer día de cada quincena. En el laboratorio tuvieron oportunidad de realizar réplicas de fósiles en escayola fabricando ellos mismos las mezclas y en el aula pudieron observar fuera de las vitrinas ejemplares reales viéndolos, tocándolos, dibujándolos y reflexionando sobre los mismos, así como realizar réplicas en papiroflexia o fabricar sus propias huellas de dinosaurio con pasta de papel hecha por ellos.

Para la toma de datos sobre la adquisición de la competencia científica se ha usado el cuestionario *Scientific Sense Making* (Bathgate *et al.*, 2015; Cannady *et al.*, 2019; Chung *et al.*, 2016). Este instrumento validado, valora la competencia científica planteando a los niños una investigación simulada sobre los delfines. Consta de 12 ítems en los que se valoran diferentes aspectos de la competencia científica: P: Formulación de buenas preguntas / E: Búsqueda de explicaciones / A: Argumentaciones científicas / G: Interpretación de gráficos o tablas / I: Diseño de investigaciones / NC: Comprensión de la naturaleza cambiante de la ciencia. Para ello, en cada ítem se plantea una situación con cuatro posibles respuestas de las que solo una es correcta.

Hemos elaborado una adaptación de este cuestionario cambiando el tópico de los delfines por el de los fósiles, pero respetando el objetivo y estructura de cada ítem para que valore los mismos aspectos. Por tanto, hemos usado el cuestionario *Scientific Sense Making* para evaluar la mejora en el desempeño científico de los niños participantes, al desarrollar actividades con fósiles en el *Museo Geominero* (SSM_Fósiles). Los participantes lo han cumplimentado antes y después de la visita, junto con el cuestionario de los delfines (SSM_Delfines), utilizado como control. Los ítems de ambas versiones del cuestionario se presentaban mezclados y ordenados aleatoriamente. Cada cuestionario se valora de 0 a 12 puntos según el número de ítems respondido correctamente.

En la Figura 14.1 se presentan comparativamente los resultados globales del pre-test y post-test. Las puntuaciones alcanzadas por los participantes (en torno a 7 puntos sobre 12) resultan en general coherentes con su tramo de edad, según lo encontrado en la literatura (Cannady *et al.*, 2019).

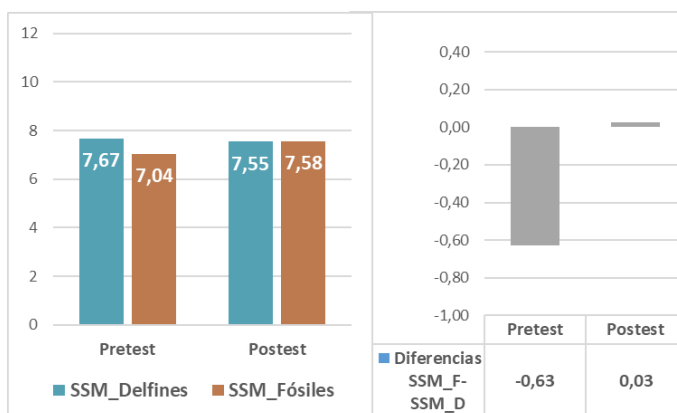


Figura 14.1. Resultados comparativos pretest-posttest en los cuestionarios SSM_Delfines y SSM_Fósiles.

Los resultados del pretest muestran una diferencia importante y estadísticamente significativa ($Z = -2,280$; $p = 0,023$) a favor del cuestionario control (media SSM_Delfines: 7,67) frente al de los fósiles (media SSM_Fósiles: 7,04). Después de los doce días de intervención, la puntuación en el posttest se eleva considerablemente (media SSM_Fósiles: 7,58). Existe por tanto inicialmente una brecha de 0,63 puntos a favor del cuestionario de los delfines que se cierra tras la intervención, de forma que finalmente no hay diferencia significativa entre los resultados de ambos cuestionarios ($Z = -0,027$; $p > 0,05$). Tampoco se han encontrado diferencias significativas entre el desempeño de los niños y niñas.

Las actividades realizadas en el museo Geominero, han permitido por tanto mejorar la familiarización y comprensión del concepto de fósil de los niños y niñas participantes, aumentando la competencia científica medida a través de ítems basados en este concepto, hasta alcanzar la misma puntuación que cuando se mide con un concepto inicialmente más familiar para ellos como es el de los delfines.

Cuando se analizan los resultados desglosados según los diferentes ítems, los mayores avances se han producido en las cuestiones F1, F6, F9 y F12. El ítem F1 interroga a los estudiantes sobre qué pregunta es adecuada para investigar si los animales con conchas forman fósiles con más facilidad. Por tanto, contribuye a la dimensión *formulación de buenas preguntas* (P). El ítem F6 interroga sobre cómo un paleontólogo podría saber si un dinosaurio tenía plumas (*diseño de investigaciones*, I). En el caso de F9, los participantes deben decidir cuál de dos personajes expresa un mejor razonamiento para la extinción de los dinosaurios, valorando el aspecto *argumentaciones científicas* (A). Finalmente, el ítem F12 también contribuye a la dimensión *diseño de investigaciones* (I), al proponer a los participantes como averiguar si los fósiles se encuentran más fácilmente en llanuras o montañas. Otros ítems que valoran otras dimensiones de la competencia científica como *búsqueda de*

explicaciones (E), interpretación de gráficas (G) o naturaleza cambiante de la ciencia (NC) registran avances más moderados.

Experiencia en el Science Center de Phoenix (Arizona)

Durante una estancia de investigación en la Arizona State University, se desarrolló un estudio centrado en la interacción entre educación formal y no formal a través de la colaboración entre escuelas y museos de ciencias (De las Heras y Shugurensky, 2020). El trabajo tuvo como escenario el *Arizona Science Center* (Phoenix, EE. UU.), un museo interactivo que ha alcanzado relevancia internacional por su labor en la alfabetización científica y la formación docente en el marco de la educación STEM.

El punto de partida fue una constatación ampliamente documentada: muchas escuelas encuentran dificultades para realizar visitas a los museos por razones de presupuesto, transporte, distancia o seguridad (Guisasola y Morentin, 2005; Price y Hein, 1991). Ante esta situación, el equipo educativo del museo se planteó una pregunta innovadora: ¿sería posible invertir la dinámica tradicional y trasladar el museo a las escuelas? De esta idea surgió el programa *STEM Extravaganza*, cuyo propósito es acercar la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas al contexto escolar, promoviendo la alfabetización científica del alumnado y ofreciendo al mismo tiempo oportunidades de desarrollo profesional docente (Bybee, 2013; National Research Council, 2011).

El interés del estudio radica en explorar cómo un museo puede convertirse en agente activo del proceso educativo, trascendiendo su función de espacio complementario para consolidarse como socio pedagógico de las instituciones escolares. En un contexto global que demanda ciudadanos científicamente alfabetizados (Segarra *et al.*, 2008) y docentes capaces de integrar experiencias de aprendizaje no formales (Soto, 2015), el caso del *Arizona Science Center* ofrece un modelo ejemplar de innovación educativa.

El objetivo principal fue analizar el impacto del programa *STEM Extravaganza* en el aprendizaje del alumnado y en la capacitación del profesorado, así como las condiciones que facilitan una colaboración efectiva entre museo y escuela.

Se optó por un diseño de estudio de caso cualitativo (Stake, 1995), centrado en una escuela primaria participante situada en la periferia de Phoenix. Se realizaron observaciones no participantes, entrevistas semiestructuradas con el profesorado, el equipo del museo y la dirección del centro, y un análisis descriptivo de las actividades desarrolladas. Esta metodología permitió captar la complejidad del proceso educativo y la interacción de los agentes implicados (Griffin, 1998).

El *STEM Extravaganza* se estructura en tres fases complementarias: preparación en la escuela, formación en el museo y *Extravaganza Day*. En la primera, un especialista del museo colabora con los docentes para adaptar los contenidos al currículo. En la segunda, el profesorado asiste a sesiones de actualización científica y didáctica.

En la tercera, el museo se traslada al centro educativo con materiales y monitores, de modo que el alumnado realiza talleres experimentales mientras los docentes participan en formación guiada. Todo el proceso se fundamenta en el aprendizaje basado en proyectos y en problemas (PBL), enfoque que estimula la indagación, la creatividad y la resolución de problemas (Kim y Dopico, 2016). Asimismo, se incorporan estrategias de educación emocional y participación familiar.

El análisis permitió identificar varios resultados relevantes: reducción de barreras estructurales, integración curricular efectiva, desarrollo profesional docente, aprendizaje activo y significativo, y una cultura de colaboración entre museo y escuela (Guisasola y Morentin, 2010; Sánchez Mora, 2013). El alumnado aprende ciencia “haciendo ciencia”, lo que potencia la curiosidad, el pensamiento crítico y la cooperación (Griffin y Symington, 1997).

El caso del *Arizona Science Center* demuestra que los museos pueden desempeñar un papel decisivo en la renovación de la enseñanza de las ciencias si se conciben como espacios de mediación pedagógica y no solo como lugares de exhibición. El modelo *STEM Extravaganza* constituye una alternativa innovadora que integra la educación no formal dentro del sistema escolar, promoviendo la alfabetización científica (National Research Council, 1996), la motivación del alumnado y la formación continua del profesorado. Su éxito se apoya en tres principios clave: la colaboración sostenida entre museo y escuela, la coherencia con el currículo escolar y el aprendizaje experiencial y basado en proyectos. Más allá del contexto estadounidense, esta experiencia ofrece un modelo transferible para otros sistemas educativos, mostrando que los museos pueden —y deben— ser espacios de transformación educativa, capaces de llevar la ciencia al aula, despertar vocaciones y conectar la emoción con el conocimiento.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La Didáctica de las Ciencias se esfuerza en incorporar una visión integrada y flexible de la enseñanza de las ciencias, capaz de responder a los desafíos de la alfabetización científica de forma equitativa, relevante y sostenible en todos los contextos de aprendizaje. De ahí la importancia de reconocer, analizar e integrar el caudal de aportaciones procedentes de los ámbitos no formales e informales.

En el caso de los contextos informales, es necesario conocer su potencial como fuente espontánea de conocimiento para la población general y para los escolares. En muchas ocasiones puede tratarse del primer contacto con un determinado contenido, que puede incluso llevar a ideas previas con errores conceptuales, si no existe intervención por parte de la escuela, integrándolo y conectándolo con el currículo. Así, la aparición de contenidos científicos en medios de comunicación, las interacciones lúdicas o recreativas en museos, centros ambientales o la participación en diversas iniciativas comunitarias deben ser tenidos en cuenta como

agentes generadores de ciencia en sociedad que pueden afectar al desarrollo de la ciencia escolar.

Si esos mismos espacios se incorporan como recursos no formales en la planificación escolar pueden aportar indudables beneficios, como un aprendizaje más profundo, participativo y conectado, especialmente si se vinculan a estrategias didácticas basadas en indagación. Las investigaciones de la Didáctica de las Ciencias han permitido reconocer y recomendar buenas prácticas, como la conexión con el currículo, un diseño que asegure actividades previas, durante y posteriores a la interacción con ese recurso no formal, la formación de docentes y facilitadores y la implicación del entorno familiar y social.

La educación científica no formal e informal representa una oportunidad clave para repensar la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva más amplia, conectada con la realidad social y cultural del alumnado. Su potencial para enriquecer los aprendizajes escolares, fomentar la alfabetización científica y promover actitudes positivas hacia la ciencia exige avanzar hacia modelos educativos integrados, en los que escuela, museo y comunidad actúen de manera coordinada y complementaria. Asumir este reto implica reconocer el valor educativo de los aprendizajes que ocurren más allá del aula, fortalecer la formación del profesorado como mediador entre contextos y diseñar políticas educativas sensibles a la equidad y la inclusión. En este marco, la educación científica no formal e informal no debe entenderse como un añadido opcional, sino como un componente estructural de una educación científica contemporánea, capaz de responder a los desafíos del siglo XXI.

En este capítulo hemos abordado estos aspectos en el caso de los museos de ciencias como uno de los recursos procedentes del ámbito informal que es más usado y que sigue teniendo mayor potencial para la enseñanza de las ciencias. Hemos presentado dos casos de estudio diferentes entre sí. En la experiencia del *Museo Geominero*, los participantes acudían de manera informal, sin vínculo con su actividad escolar. Se trata, además, de una instalación clásica, de carácter expositivo, no especialmente preparada para interacciones tecnológicas con los visitantes. Las actividades realizadas tampoco estaban supervisadas por un docente experto en enseñanza de las ciencias. Incluso con estos condicionantes poco favorables, los resultados indican un impacto significativo en los participantes respecto a la comprensión del concepto de fósil y su competencia científica. El segundo caso de estudio (*Arizona Science Center*) muestra como la flexibilidad y la voluntad de un Centro de este tipo para vincularse con la comunidad, permite llevar el museo a los colegios para que una amplia mayoría de escolares se beneficie de este recurso.

La Didáctica de las Ciencias como disciplina académica y científica viene realizando un esfuerzo importante en los últimos años por analizar el impacto real de los ámbitos no formales e informales, así como la forma de optimizar su conexión e integración en la educación científica escolar. A pesar de ello, sigue siendo necesario desarrollar estudios, especialmente de carácter longitudinal que valoren el impacto a largo plazo sobre la autoeficacia y consolidación del aprendizaje. También

profundizar en cómo estos recursos pueden integrarse en zonas desfavorecidas, ámbitos rurales o el tercer mundo y en modelos sostenibles de colaboración con las instituciones de educación formal. Un escenario poco explorado todavía es el de las visitas virtuales a museos de ciencia y cómo éstas podrían combinarse con las presenciales. En definitiva, aunque hace tiempo que la educación formal convive con estos ámbitos no formales e informales, la influencia de estos sigue en aumento. Por ello, la comunidad de docentes e investigadores en enseñanza de las ciencias debe tenerlos en cuenta para comprender esta interacción y, además, asumir un papel protagonista en la definición de cómo estos espacios se incorporan al currículo y poder orientar a la administración para que reconozca su valor pedagógico y los integren de manera coherente en las políticas educativas.

Capítulo 15. Las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente y la educación científica

Un proceso de profundas transformaciones tecnocientíficas y educativas

Amparo Vilches y Daniel Gil Pérez
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales
Universitat de València
Contacto: amparo.vilches@uv.es

Este capítulo está dedicado al estudio de las interacciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) y de su contribución a profundas y fecundas transformaciones científicas y, muy en particular, educativas.

Se aborda, en primer lugar, el origen plural —tanto temporal como geográfico— de los movimientos Ciencia, Tecnología, Sociedad (CTS), surgidos —con diversas denominaciones— como respuesta a problemas asociados a la naturaleza de los conocimientos científicos, estrategias para su construcción y contexto sociopolítico en el que se elaboran y son utilizados. Y a lo largo del capítulo se analiza la evolución de estos movimientos, su paso a CTSA —incorporando explícitamente la atención a la problemática ambiental— y su contribución a la renovación de la educación científica.

Se analiza así el proceso de cuestionamiento de concepciones simplistas y deformadas de la ciencia y la tecnología, presentes en la sociedad, en la enseñanza de las ciencias, e incluso en la propia comunidad científica. Este cuestionamiento ha permitido profundizar en la naturaleza de ambas, en su vinculación y en el papel de los contextos sociales y políticos.

Se dedica una especial atención a la relevante influencia de las relaciones CTS en la renovación de la enseñanza de las ciencias y en la conformación de la didáctica de las ciencias como campo de conocimientos, rompiendo con una visión simplista del “método científico” que impregnaba, tanto el enfoque de las prácticas de laboratorio, como la presentación de los conocimientos científicos, e incluso la forma de evaluar el aprendizaje.

Por otra parte, se aborda cómo la atención a las relaciones CTSA ha impulsado una progresiva consideración de los grandes problemas socioambientales que afectan a la supervivencia de nuestra especie y de toda la biosfera, planteando la necesidad de construir fundamentadamente un presente y un futuro sostenibles.

Nos referimos, por último, a la emergencia y potente desarrollo de la Ciencia de la Sostenibilidad, culminación de décadas de atención a la problemática CTSA.

ORÍGENES DEL MOVIMIENTO CTS

Aunque con algunos precedentes, hay convergencia en vincular el origen del movimiento CTS, hace más de siete décadas, a los múltiples problemas que vinieron a cuestionar la idea de una ciencia y una tecnología “neutras”, desconectadas de los condicionantes sociales y políticos. Problemas vinculados, por una parte, a la conflictividad geopolítica, como la fabricación y uso de las bombas nucleares, la carrera armamentista, la llamada “guerra fría” entre Estados Unidos y la Unión Soviética o las guerras en Corea y Vietnam; y, por otra, a los desastres provocados por algunos desarrollos técnico-industriales, como la producción y uso de plaguicidas y fertilizantes sin atender al principio de precaución, los envenenamientos y malformaciones debidos a la utilización de ciertos fármacos, los vertidos de petróleo y residuos contaminantes al mar, etc., etc. (González *et al.*, 1996; López Cerezo y Sánchez Ron, 2001; Medina y Sanmartín, 1990; Rohrer, 2015). Particular incidencia tuvo la publicación del libro *Primavera silenciosa* (Carson, 1980), con su denuncia de las consecuencias del abundante uso de plaguicidas como el DDT. Rachel Carson sufrió duros ataques “por oponerse al progreso” que suponía el uso de estos plaguicidas para aumentar la producción agrícola para una población en rápido crecimiento; pero su fundamentada denuncia contribuyó a su prohibición y al surgimiento del movimiento ecologista, del propio movimiento CTS y al origen de la bioética. Estos movimientos sociales de carácter crítico encontraron en Carson un serio refuerzo a las preocupaciones públicas sobre los impactos de la ciencia y la tecnología en la sociedad.

En este origen tuvo también gran influencia la conferencia de “las dos culturas”, dictada por C.P. Snow en 1959, y el libro de igual título, en los que se planteaban los peligros de una sociedad marcada por la creciente separación de las dos culturas tradicionales, la científica y tecnológica por un lado y la social y humanista por otro (Snow, 1964).

Y es preciso considerar, por otra parte, que la aprobación por los gobiernos, durante esos años, de grandes proyectos de carácter sociopolítico —como el aprovechamiento de la energía nuclear— dio a la investigación científica y tecnológica unas características de organización y gestión que implicaban interacciones nuevas y complejas con la sociedad. La preocupación por los problemas sociales y ambientales relacionados con la ciencia y la tecnología fue así creciendo, dando lugar a la creación de organismos para la evaluación del impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad, que contribuyeron a una institucionalización del área CTS, cuestionando la imagen tradicional de la ciencia y la tecnología como actividades aisladas del contexto social, político y económico.

La limitación de la extensión de este capítulo no permite desarrollar con profundidad las numerosas aportaciones, pero es necesario subrayar la importancia que han tenido para la epistemología de la ciencia, entre otros, los trabajos de Bernal (1967), Kuhn (1971), Bunge (1980), Lakatos (1982), etc., que contribuyeron a

hacer comprender cómo se elaboran y evolucionan los conocimientos científicos y el carácter social de su desarrollo.

Sobre la complejidad y diversidad en el abordaje de las relaciones CTS por la filosofía y la historia de las ciencias, cabe señalar que coexisten diferentes tradiciones (europea, norteamericana, latinoamericana, soviética...), con distintos intereses y puntos de partida, pero todas coincidentes en resaltar la relevancia de la dimensión social de la ciencia y la tecnología (González *et al.*, 1996). Insistiendo en esa complejidad, Pedretti y Nazir (2011) han caracterizado seis perspectivas de los estudios CTS desarrollados desde los orígenes: la corriente de aplicaciones o diseños, la perspectiva histórica, la de razonamiento lógico, la sociocultural, la centrada en valores y la corriente de eco-justicia social.

En definitiva, los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, o estudios CTS, pasaron a constituir un campo consolidado, con una diversidad de programas interdisciplinarios que tratan de comprender el desarrollo de la ciencia y la tecnología como un proceso inherentemente social, tanto en relación con sus condicionantes socioeconómicos, como en lo que atañe a sus consecuencias sociales y ambientales (López Cerezo, 1998).

Desde los comienzos del movimiento CTS, uno de los principales campos de investigación académica y activismo social ha sido el de la educación, tratando de impulsar el pensamiento crítico y la participación ciudadana en las cuestiones y políticas relacionadas con la ciencia y la tecnología (Caamaño, 1995; de Puellas, 1998; Fensham, 1988; González *et al.*, 1996; Martins, 2000; Membiela y Padilla, 2005; Solbes y Vilches, 1997). Abordaremos esta incorporación de los estudios CTS a la enseñanza en el próximo apartado.

IMPLICACIONES DE LOS ESTUDIOS CTS EN EL CAMPO EDUCATIVO

Hacia finales de los años ochenta, adquieren cada vez más relevancia en la educación las investigaciones en torno a las complejas interacciones CTS y su importancia, en particular para la enseñanza de las ciencias. Contribuyeron a ello, por un lado, los trabajos centrados en el desinterés y en las actitudes negativas del alumnado hacia el estudio de las ciencias y, por otro, la necesidad de replantear lo que se consideraba básico para la formación de una ciudadanía responsable, en sociedades cada vez más impregnadas por el desarrollo científico y tecnológico. Estas líneas de investigación e innovación condujeron a cuestionar las orientaciones educativas dominantes de una ciencia y una tecnología descontextualizadas, pasando a integrar las problemáticas socioambientales en el aprendizaje de las ciencias (Acevedo, 1996; Solbes y Vilches, 1997; Vázquez y Manassero, 1995). Las investigaciones en dicho campo dieron lugar a numerosas propuestas que, aunque desde perspectivas diferentes, tienen en común la importancia concedida a la dimensión social y ambiental de la ciencia y la tecnología.

Surgieron así propuestas que incorporan temas o estudios CTS en los cursos de ciencias, sin alterar el programa habitual. Son ejemplos de ello, entre otros: *Harvard Project Physics*, que introduce aspectos históricos en los temas científicos; *SATIS (Science and Technology in Society)* que inserta temas relevantes de CTS en un curso de ciencias; *Ciencia a través de Europa* que propone temas CTS conectados con programas escolares, utilizada también en países asiáticos y en EE. UU.

Otra forma de abordar CTS en la educación ha consistido en enseñar ciencia a través del denominado enfoque CTS: los cursos y programas se centran en estudiar problemas CTS y los contenidos científicos se desarrollan después, a medida que se necesitan. En este grupo se pueden citar, entre otros: *PLON (Physics Curriculum Development Project)*, *NMEVO (Environmental Education in Secondary Schools)*; *APQUA* (Aprendizaje de los Productos Químicos, sus usos y aplicaciones); el proyecto *Advanced Chemistry Salters*, adaptado en diferentes países, como el caso del Proyecto Química SALTERS, experimentado en España y Latinoamérica en los años 90.

Por último, cabe citar los denominados proyectos CTS "puros", en los que se enseña CTS y el contenido científico juega un papel subordinado, como el *SISCON (Science in a Social Context in Schools)*, patrocinado por la *British Association for Science Education* para la enseñanza secundaria. En este grupo podrían incluirse algunas asignaturas llamadas CTS desarrolladas en España en los 90, en general desde el área de la filosofía, para abordar con el alumnado de secundaria el estudio de problemas sociales, culturales, medioambientales y éticos, relacionados con la ciencia y la tecnología.

Estos son algunos de los múltiples ejemplos de proyectos y propuestas CTS, sobre los que existe abundante bibliografía, donde se analizan y se evalúan algunos resultados de su puesta en marcha (Caamaño, 1995; Fensham, 1988; Membiela y Padilla, 2005). Estas investigaciones y estudios constituyeron una línea temática relevante en congresos de enseñanza de las ciencias y dieron lugar al surgimiento de publicaciones como *CTS, Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* y a la organización de encuentros específicos, como los Seminarios CTS que se vienen celebrando bianualmente desde el año 2000, con amplia participación de investigadores Iberoamericanos, lo que acabó dando lugar a la creación de la Asociación Iberoamericana CTS (Esteve y Talavera, 2020; Martins, 2000).

Como parte de este proceso de expansión de la educación CTS ha tenido lugar una creciente atención a la problemática ambiental, que se refleja en la incorporación de la A de Ambiente a CTS.

LA AMPLIACIÓN DE LA EDUCACIÓN CTS A CTSA

Como ya hemos señalado, en sus orígenes, los estudios y movimientos sociales centrados en las interacciones de la ciencia y la tecnología con la sociedad se representaron con las siglas CTS. Algunas décadas después, se incorporó la A de

“Ambiente” a la expresión CTS, convirtiéndola en CTSA (en inglés STSE). Un cambio que responde a la voluntad decidida de la investigación e innovación en este campo de dar un mayor énfasis a las implicaciones y consecuencias ambientales de los desarrollos científicos y tecnológicos (Pedretti, 2005).

Se podría pensar que esta incorporación es innecesaria, puesto que esas repercusiones ambientales forman parte esencial de las interacciones CTS. De hecho, tal como ya nos hemos referido al principio de este capítulo, los orígenes del movimiento CTS se vinculan entre otros aspectos a las investigaciones llevadas a cabo por Rachel Carson (1980) en torno a los efectos nocivos del DDT sobre los seres vivos y el medio en que se desarrollan y al relevante impacto que tuvo su libro “*Primavera silenciosa*” sobre grupos ciudadanos y, en particular, de docentes, que fueron sensibles a sus llamadas de atención y argumentos. Pero al promover la expresión CTSA no se intenta indicar que la A no esté ya implícita en CTS; lo que se pretende es que se le dé un mayor énfasis, en particular en la educación científica, saliendo al paso de un tratamiento insuficiente de las cuestiones socioambientales, incluso cuando se incorporan las relaciones CTS. El argumento de que la A ya está contenida en CTS y que, por tanto, no se precisa explicitarla, sería válido también para cuestionar las siglas CTS, puesto que esas relaciones ciencia, tecnología y sociedad son consustanciales a la actividad científica y por tanto bastaría hablar de educación científica. Pero se insiste en llamar la atención sobre esas relaciones CTS porque, tal como la investigación ha puesto reiteradamente en evidencia, la educación científica ha incurrido históricamente en reduccionismos que las dejaban lamentablemente de lado (Solbes y Vilches, 1997). En el mismo sentido, esa es la razón que justifica la necesidad de la incorporación de la A, llamando la atención sobre los graves problemas de degradación del medio que afectan a la totalidad del planeta.

Cabe argumentar, así mismo, que esta incorporación de la A de ambiente ha favorecido una creciente integración de dos comunidades que durante mucho tiempo habían permanecido desvinculadas: la de quienes han contribuido al desarrollo de la didáctica de las ciencias y la de quienes se han centrado en la educación ambiental, puesto que ambas poseen objetivos comunes, trabajan por una renovación de la educación científica y han hecho aportaciones convergentes para facilitar la formación de una ciudadanía capaz de participar en la toma de decisiones (Bergandi y Galangau-Quérat, 2008; Vilches *et al.*, 2010).

En definitiva, a finales del siglo pasado, a medida que los problemas socioambientales fueron agravándose, se vio imprescindible el cambio de CTS a CTSA, insistiendo en la necesidad de hacer comprender a la ciudadanía la gravedad de los problemas a los que nos enfrentamos y las medidas necesarias y posibles para contribuir a su solución.

Esta incorporación de la dimensión CTSA a la enseñanza de las ciencias forma parte de una transformación global de la educación científica, asociada a una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y la tecnología, que abordamos en el siguiente apartado.

LA INCORPORACIÓN DE LA DIMENSIÓN CTSA COMO PARTE DE UNA TRANSFORMACIÓN GLOBAL DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La percepción de la importancia de la ciencia y la tecnología en la sociedad demandaba una alfabetización científica para que las personas dispusieran de conocimientos científicos y tecnológicos necesarios para desenvolverse en la vida cotidiana, pudieran comprender su naturaleza y, en consecuencia, participar fundamentada y críticamente en discusiones públicas y en la toma de decisiones en torno a problemáticas en las que la ciudadanía está implicada (Aikenhead, 1985; Hodson, 1993; National Research Council, 1996). Ello exigió una profunda renovación del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias que resumiremos aquí.

En las últimas décadas del siglo pasado, tuvo lugar una convergencia básica en el campo de la educación científica que, de manera fundamentada, apoyaba la construcción de un nuevo modelo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias capaz de desplazar al de simple transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados, contribuyendo así a avanzar en la conformación de la didáctica de las ciencias como un nuevo campo de conocimientos (Gil Pérez *et al.*, 1999).

Un modelo de enseñanza debe ser algo más que un conjunto de elementos yuxtapuestos e intercambiables; por el contrario, ha de poseer una estructura dotada de coherencia en la que cada uno de sus elementos (o dimensiones) esté apoyado por los restantes. Es decir, en un modelo educativo se han de integrar coherentemente, interaccionado entre sí, los diversos elementos de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Por tanto, cuando se señala la necesidad de prestar atención a las interacciones CTS no se trata simplemente de integrar elementos CTS en la educación científica existente, sino, como veremos, de transformar dicha educación para hacer posible un aprendizaje con características próximas a una investigación científica, en el que la dimensión CTS juega un importante papel, pero junto a otros igualmente esenciales.

La transformación educativa que ha venido a desplazar al modelo de enseñanza/aprendizaje por simple transmisión/recepción de conocimientos se ha fundamentado en los resultados de investigaciones que habían puesto de manifiesto que la enseñanza de las ciencias, en general, transmite visiones de la ciencia y la tecnología que se alejan de la forma como se construyen y evolucionan los conocimientos científicos (Fernández *et al.*, 2002; McComas, 1998). Visiones empobrecidas y distorsionadas que olvidan las actividades creativas propias de la actividad científica y contribuyen a generar desinterés de gran parte del alumnado, convirtiéndose en un serio obstáculo para el aprendizaje. Es necesario por tanto favorecer una reflexión sobre la naturaleza de la ciencia que permita cuestionar toda una serie de distorsiones y reduccionismos, ampliamente extendidos por los medios de comunicación y la propia enseñanza de las ciencias, puesto en evidencia por la investigación (Fernández *et al.*, 2002), y que hemos resumido en el Cuadro 1.

La discusión de *todas* estas visiones permite comprender la importancia de introducir las interacciones CTSA en los cursos de ciencias, no como un añadido aislado, sino como parte de un replanteamiento global que proporciona una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y de la tecnología.

Cuadro 1. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la propia enseñanza de las ciencias.

- Visión *aprobemática y ahistórica* que se muestra cuando se transmiten conocimientos ya elaborados, sin plantear los problemas que generaron su construcción;
- Visión *lineal y acumulativa* del desarrollo de la ciencia, que no muestra las rupturas con las ideas aceptadas y olvida las crisis y profundas remodelaciones;
- Visión *individualista* en que se incide al mostrar los conocimientos científicos como obra de “genios aislados”, ignorando el papel del trabajo colectivo durante generaciones;
- Visión *elitista*, que presenta el trabajo científico como un dominio reservado a minorías especialmente dotadas;
- Visión *empero-inductivista y ateorica*, que resalta la observación y la experimentación neutras, olvidando el papel esencial de las hipótesis que focalizan las investigaciones;
- Visión *rígida, infalible*, que presenta el “Método Científico” como un conjunto de etapas a seguir, resaltando lo que supone tratamiento cuantitativo, pero olvidando todo lo que significa invención, creatividad, duda;
- Visión *descontextualizada* que deja de lado las complejas interacciones CTSA, olvidando dimensiones esenciales de la actividad científica y tecnológica, como su impacto en el medio natural y social o los intereses e influencias de la sociedad en su desarrollo; una visión que supone además el olvido de la tecnología o su consideración como mera aplicación de los conocimientos científicos.

La superación de las distorsiones y reduccionismos resumidos en el Cuadro 1 exige plantear el aprendizaje como un trabajo colectivo de investigación, estructurando al alumnado en pequeños grupos colaborativos, para el tratamiento de situaciones problemáticas relevantes, con la ayuda experta del profesorado (Gil Pérez *et al.*, 1999). El aprendizaje de conocimientos científicos se convierte así en una actividad abierta y creativa que incorpora una serie de aspectos propios de las investigaciones reales, como los que se recogen en el Cuadro 2, que dotan al trabajo en el aula de interés intrínseco para el alumnado y para el profesorado.

Con este replanteamiento se pretende, en definitiva, favorecer una inmersión en la cultura científica y tecnológica, adaptada al nivel del alumnado, algo fundamental no solo para quienes en el futuro puedan integrarse en la comunidad científica, sino también para la formación de ciudadanas y ciudadanos críticos que habrán de participar en la toma de decisiones. Vemos, pues, que no es posible concebir el papel de las interacciones CTSA sin referirnos a la globalidad de la necesaria reorientación de la educación científica y a su integración en un nuevo modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, que hemos sintetizado en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Aspectos esenciales de un proceso de aprendizaje de las ciencias como investigación.

- La discusión del interés y relevancia de las situaciones propuestas al alumnado, estructurado en pequeños grupos, que dé sentido a su estudio, teniendo en cuenta sus repercusiones sociales y medioambientales (CTSA);
- El estudio cualitativo de las situaciones problemáticas abordadas, como primera aproximación a su estudio y a la toma de decisión para acotarlas;
- La emisión de hipótesis, fundamentadas en el cuerpo de conocimientos disponibles —y, en ocasiones, novedosas perspectivas— y su operativización mediante la invención de conceptos y magnitudes medibles;
- La elaboración de estrategias y diseños experimentales para la puesta a prueba de las hipótesis concebidas y realización del trabajo experimental programado;
- El análisis de los resultados y consideración de las posibles perspectivas abiertas, resaltando en particular las implicaciones CTSA del trabajo realizado, con atención a sus repercusiones y dirigiendo todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente de conocimientos que tiene toda ciencia;
- Comunicación de la investigación colectiva realizada, para ponerla a disposición de la comunidad científica y la sociedad en general y contribuir a posibles nuevos desarrollos.

Cabe añadir, que, tal y como ha señalado la investigación en didáctica de las ciencias, tener en cuenta las interacciones CTSA como una dimensión esencial de la educación científica, no solo favorece el interés hacia el estudio de la ciencia y la tecnología sino, que, además, mejora su aprendizaje, contribuyendo a un mejor conocimiento de ambas y de su papel en la sociedad, teniendo en cuenta los aspectos socioambientales, éticos, económicos, etc., y sus interacciones, que enmarcan el desarrollo científico y tecnológico (Membiela y Padilla, 2005; Perales y Cañal, 2000; Solbes y Vilches, 1997).

La inclusión de las relaciones CTSA en la enseñanza ha permitido e impulsado, por otra parte, una creciente y positiva atención a los problemas socioambientales a los que se enfrentan nuestras sociedades y a la búsqueda de posibles soluciones (Rohracher, 2015). Al estudio de esta problemática —esencial para nuestra supervivencia— se dedica el siguiente apartado.

LOS GRAVES PROBLEMAS SOCIOAMBIENTALES QUE DEBEN SER ABORDADOS POR LAS CIENCIAS, LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA Y EL CONJUNTO DE LA SOCIEDAD

Numerosos estudios científicos convergentes en torno a los impactos de las actividades humanas en el medio natural y social impulsaron llamamientos de instituciones internacionales y de la propia comunidad científica, alertando de manera fundamentada sobre el conjunto de problemas, estrechamente vinculados y que se potencian mutuamente, al que nos enfrentamos (Comisión mundial del medioambiente y del desarrollo, 1988; Meadows *et al.*, 1972, 2006; Naciones Unidas, 1992). Estudios que han contribuido a justificar que se hable de una situación de auténtica emergencia planetaria (Bybee, 1991).

Podemos recordar, como ejemplo de la atención prestada a la problemática socioambiental desde la comunidad científica, el llamamiento realizado a finales del siglo XX por Jane Lubchenco (1998), presidenta entonces de la AAAS (American Association for the Advancement of Science), reclamando que el siglo XXI fuera para la ciencia el siglo del medio ambiente y que la comunidad científica reorientara su maquinaria hacia la resolución de los problemas que amenazan el futuro de la humanidad. Así mismo, hay que resaltar los informes generados desde el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) creado en 1988 y que viene facilitando evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias para su mitigación y adaptación al mismo.

En el campo educativo, se multiplicaron también los llamamientos, destacando el realizado en la Primera Cumbre de la Tierra celebrada en Rio de Janeiro en 1992 para que la educación contribuya, desde todos los campos y niveles, a que la ciudadanía adquiriera una correcta percepción de los problemas y desafíos a los que se enfrenta la vida en nuestro planeta y pueda así participar en la necesaria toma de decisiones fundamentadas, haciendo posible los cambios de gobernanza y de comportamientos individuales necesarios para evitar que las condiciones de vida de la especie humana lleguen a degradarse de manera irreversible (Naciones Unidas, 1992). En el mismo sentido, la institución por Naciones Unidas de una Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible para el periodo 2005-2014 respondió, por una parte, a las llamadas de atención de especialistas e instituciones acerca de la gravedad de los problemas y, por otra, a la constatación de que las llamadas ocasionales de atención, que se venían realizando desde hacía ya algunas décadas, no estaban teniendo, en general, la repercusión esperada en el comportamiento de la ciudadanía. De ahí la necesidad de un tratamiento más continuado como el que supuso la Década. Era y continúa siendo necesario, en suma, dirigir la atención hacia el potencial que supone la educación —la científica en particular— para avanzar hacia sociedades sostenibles, destacando la importancia de la atención a la sostenibilidad en la formación del profesorado.

En concreto, la investigación didáctica venía constatando la escasa atención prestada por la educación científica, tanto formal como no reglada, a la preparación para el futuro de la ciudadanía, señalando la existencia de inercias y serios obstáculos que dificultan los necesarios cambios de actitudes y comportamientos. Es preciso, muy particularmente, evitar el reduccionismo causal que suele afectar al estudio de problemáticas complejas como las socioambientales, con repercusiones éticas, económicas, políticas... Se necesita contribuir desde todos los ámbitos, y muy especialmente desde la enseñanza de las ciencias, a proporcionar una visión holística de la situación, que muestre la vinculación entre los problemas y su carácter *glocal*, teniendo en cuenta, para su tratamiento, de algunas recomendaciones básicas fundamentadas por la investigación (Diamond, 2006; Vilches y Gil Pérez, 2009), que resumimos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Recomendaciones básicas para comprender los problemas socioambientales y hacerles frente.

- Poner fin a la insostenible situación actual de emergencia planetaria exige comprender su origen en comportamientos individuales y colectivos guiados por intereses particulares a corto plazo, que se traducen, entre otros, en una contaminación sin fronteras, una crisis climática sin precedentes, el agotamiento y destrucción de todo tipo de recursos, una urbanización creciente y desordenada, con el consiguiente abandono del mundo rural, pérdida de diversidad (biológica y cultural) y, en definitiva, una acelerada degradación del medio físico y sociocultural.
- Considerar las causas (y, a su vez, consecuencias) del actual modelo socioeconómico, basado en un crecimiento económico y demográfico, absolutamente insostenible en un planeta de recursos limitados: el hiperconsumo de las sociedades desarrolladas, la explosión demográfica que ha cuadruplicado en un siglo la población mundial, los desequilibrios e inaceptables desigualdades y sus graves consecuencias, como conflictos bélicos, migraciones forzadas y violencias de todo tipo.
- Avanzar en una mayor integración en el tratamiento de los problemas, dado que ninguno de ellos puede resolverse de forma aislada, debido a su estrecha vinculación. Se requiere, por tanto, ir más allá de tratamientos sectoriales como los realizados por áreas, desarrolladas por separado en las últimas décadas, como química verde, física e ingeniería para el medioambiente, o economía baja en carbono.
- Concebir y adoptar medidas positivas (en los ámbitos científico-tecnológico, educativo y político) capaces de contribuir, fundamentadamente, a hacer frente a los problemas y de sentar las bases para avanzar en la transición a la sostenibilidad.
- Orientar todo el tratamiento de la situación de emergencia planetaria hacia la ampliación y universalización de los Derechos Humanos para garantizar la superación sostenible de la degradación ambiental y de los desequilibrios y conflictos existentes.

Recomendaciones como las recogidas en el Cuadro 3 responden a la comprensión de la necesidad de abordar globalmente, sin olvidos ni reduccionismos, el sistema cada vez más complejo constituido por las sociedades humanas y los sistemas naturales con los que interaccionan y de los cuales forman parte. Este es el punto de partida de un nuevo campo de conocimiento y acción al que dedicamos el siguiente apartado.

CIENCIA DE LA SOSTENIBILIDAD PARA HACER FRENTE A LOS GRAVES PROBLEMAS SOCIOAMBIENTALES

A principios del siglo XXI, comenzó a desarrollarse un nuevo dominio científico, la *Ciencia de la Sostenibilidad*, con el objetivo explícito de hacer frente a la situación de grave crisis socioambiental planetaria e impulsar la transición a sociedades sostenibles. Así lo anunciaban un amplio abanico de investigadores, procedentes de distintas áreas, al promover la emergencia de la *Ciencia de la Sostenibilidad*, que busca comprender el carácter fundamental de las interacciones entre la naturaleza y la sociedad, para mejor atender a las necesidades sociales, preservando al mismo tiempo el medio físico (Kates *et al.*, 2001; Turner *et al.*, 2003).

Conviene destacar que, al abordar problemas que integran naturaleza y sociedad, la Ciencia de la Sostenibilidad realiza una nueva revolución científica, como la que supuso la Revolución Copernicana —al unificar Cielo y Tierra—, o el Darwinismo, al establecer el puente entre la especie humana y el resto de los seres vivos. Ahora asistimos a la integración del desarrollo social (económico, industrial, cultural...) con los procesos del denominado mundo natural, buscando comprender las interacciones entre ambos.

Este tratamiento global —ya demandado, en buena medida, por los estudios CTSA que se venían realizando— exigió a la Ciencia de la Sostenibilidad características novedosas como las recogidas en el Cuadro 4 (Vilches y Gil Pérez, 2015):

Cuadro 4. Características esenciales de la Ciencia de la Sostenibilidad.

- Ha de ser profundamente *interdisciplinar*, puesto que aborda retos complejos en los que intervienen problemas muy diversos, pero estrechamente vinculados, ninguno de los cuales puede ser resuelto aisladamente.
- Debe ser, además, —y esto resulta realmente novedoso— *transdisciplinar*, porque para hacer posible la transición a la sostenibilidad es necesario incorporar a la investigación y toma de decisiones a ciudadanas y ciudadanos que no forman parte del ámbito académico, pero cuyos objetivos, conocimientos y capacidad de intervención resultan imprescindibles para definir y desarrollar estrategias viables.
- Las estrategias concebidas han de responder a una *perspectiva amplia*, tanto espacial como temporalmente —y también nos encontramos aquí con una importante novedad metodológica— esforzándose en anticipar posibles riesgos y obstáculos y en aprovechar tendencias positivas.

La Ciencia de la Sostenibilidad ha tenido, desde su origen, un importante desarrollo, con un claro crecimiento exponencial de publicaciones (Bettencourt y Kaur, 2011). Sin embargo, una completa revolución científica no puede darse solo con la creación de una nueva área de conocimiento, sino que ha de generar un nuevo paradigma, una nueva orientación que impregne *todos* los campos y actividades humanas: el trabajo de profesionales de cualquier área y del conjunto de la ciudadanía, así como la enseñanza de las distintas disciplinas, ha de tener presente la exigencia de inter y transdisciplinariedad y de planteamientos glocales en una perspectiva temporal amplia. Solo así será posible avanzar en la transición a la sostenibilidad, al ritmo que la gravedad de la situación lo requiere (Vilches y Gil Pérez, 2015).

De la educación CTSA a la Educación para la Sostenibilidad como componente de la Ciencia de la Sostenibilidad

Como se ha venido señalando, la educación CTSA ha contribuido a desarrollar una comprensión profunda de las complejas relaciones entre el desarrollo científico y tecnológico y sus implicaciones sociales y ambientales, desde una visión holística

de la situación del mundo, como una dimensión esencial de la educación científica: una educación que incorpore la problemática CTSA para favorecer la adquisición de los conocimientos, competencias, actitudes y valores para la participación en las acciones necesarias para avanzar en la transición a la sostenibilidad. Se trata, por tanto, de una educación para la sostenibilidad (ES) de la ciudadanía, que debe constituir una componente esencial de la Ciencia de la Sostenibilidad, dado que pretende impulsar una acción ciudadana transformadora y el desarrollo de valores y competencias propios de la sostenibilidad (Aznar *et al.*, 2018; UNESCO, 2017, 2020; Wiek, 2011; Wiek y Redman, 2022).

La ES se ha ido institucionalizando e incorporando como objetivo central de la educación en los diferentes niveles y materias en nuestros países, aunque somos conscientes de que estamos lejos de conseguir su necesaria incorporación generalizada a la enseñanza de las ciencias en los diferentes niveles y, más en general, en toda la educación, tanto formal como no reglada. Porque nos enfrentamos, como vienen mostrando numerosos y convergentes estudios, a una insostenible situación de crisis global, acercándonos peligrosamente a los límites del planeta —cuyo conjunto constituye un marco donde la humanidad puede desenvolverse con seguridad— y superando ya incluso varios de estos límites, como la concentración atmosférica de dióxido de carbono o el ritmo de extinción de especies (Rockström *et al.*, 2024).

Remitimos al capítulo 25 de este libro —dedicado a Educación Ambiental y para la Sostenibilidad— para un más detenido tratamiento de las características de la ES y de las medidas para su incorporación en todos los niveles, incluido el de la formación del profesorado. Pero queremos insistir aquí en la necesidad de que la educación, los responsables políticos y el conjunto de la ciudadanía, aborden, globalmente las medidas fundamentadas por la comunidad científica y contribuyan a aplicar sin excepción su conjunto. Abordaremos a continuación esta cuestión fundamental.

¿Cómo avanzar en la transición a sociedades sostenibles y resilientes, en las que se respeten y universalicen todos los Derechos Humanos? La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Las acciones necesarias para impulsar la Transición a la Sostenibilidad se concretan en el logro de los *Objetivos de desarrollo sostenible* (ODS) promovidos por la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2015). Se trata de 17 grandes objetivos (con un total de 169 metas concretas), fruto de un amplio consenso colectivo, fundamentado en estudios científicos convergentes para dar solución al conjunto de problemas que caracterizan la situación de emergencia planetaria, que fueron aprobados por unanimidad en la Asamblea General de Naciones Unidas de 2015.

La transición a la sostenibilidad puede verse, así, como un conjunto de transiciones asociadas a los ODS, todas imprescindibles y vinculadas entre sí (Gil Pérez y Vilches, 2023) que resumimos seguidamente:

Transición a un consumo sostenible y accesible para todas las personas: Es urgente adoptar estrategias de consumo responsable para reducir el actual ritmo de agotamiento de todo tipo de recursos esenciales, desde minerales, bosques o bancos de pesca, a las reservas de agua dulce y del mismo suelo cultivable. Ello exige la adopción de todo un conjunto de medidas tecnocientíficas y legislativas para, entre otros, poner límites al hiperconsumo de una minoría, que resulta insostenible a escala planetaria, la reducción del gravísimo desperdicio de alimentos que se produce en la actualidad -coexistiendo con graves hambrunas- o favorecer la reparación y reutilización de todo tipo de objetos.

Transición a una producción que reutilice los residuos como recursos: Un consumo responsable y sostenible exige una transición en la reducción y el tratamiento de los residuos para evitar que una contaminación sin fronteras continúe envenenando suelos, ríos, mares y aire, contribuyendo a la degradación de todos los ecosistemas. Se pretende así, además, impedir los efectos de los residuos sobre la salud de los seres vivos y su contribución a sobrepasar de límites planetarios.

Transición energética para hacer frente al cambio climático: Es urgente combatir el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero -muy especialmente el CO₂- que ha dado lugar a la crisis climática que estamos padeciendo. Ello exige un modelo energético sostenible que conduzca a la descarbonización, sustituyendo el uso de combustibles fósiles por energías limpias y renovables, incrementando la eficiencia de aparatos y procesos, así como el ahorro energético.

Transición urbana y rural: Los problemas socioambientales se han visto potenciados por una urbanización acelerada y desordenada, acompañada del abandono del mundo rural. Se precisa una transición que transforme las ciudades en espacios saludables que contribuyan a la sostenibilidad, evitando su crecimiento acelerado y favoreciendo la renaturalización de amplios espacios ciudadanos y su conexión con las zonas rurales debidamente protegidas.

Transición demográfica: Es necesaria una transición demográfica que evite la superación de la capacidad de carga del planeta y sus consecuencias como el agotamiento de recursos esenciales y la producción de residuos a un ritmo superior a la capacidad del planeta para digerirlos. Ello exige facilitar los medios que hagan posible una maternidad y paternidad responsables, es decir, fruto de la elección, no del azar, como ha reclamado el Fondo de Población de Naciones Unidas.

Transición desde el antropocentrismo al biocentrismo: Para la protección de la biodiversidad (actualmente amenazada por una acelerada extinción de especies) y evitar la degradación de los ecosistemas se necesita la transición desde un antropocentrismo perjudicial para la biosfera y para nuestra propia especie, a un biocentrismo que reconozca nuestra dependencia de los servicios sistémicos proporcionados por la biodiversidad de la que formamos parte.

Transición desde la uniformización cultural a la protección de su diversidad:

Se precisa una transición a la protección de la diversidad cultural, reconociendo que cada cultura es una riqueza para toda la humanidad. Así lo afirma la Declaración Universal de la UNESCO sobre Diversidad Cultural en su artículo 1, titulado “La diversidad cultural, patrimonio común de la humanidad” (UNESCO, 2001). La diversidad de las contribuciones, incluidas las lingüísticas, que los distintos pueblos han hecho en cualquier aspecto (agricultura, cocina, música, arquitectura, artes visuales...) constituye una riqueza para toda la humanidad.

Transición científico-tecnológica: Es necesaria una transición científico-tecnológica para favorecer al conjunto de la población presente y futura, haciendo frente a intereses particulares a corto plazo perjudiciales para los demás, buscando que los avances y las innovaciones introducidas sean sostenibles, es decir, que no contribuyan a agravar la problemática ambiental (contaminación, agotamiento de recursos, caos climático...) y justas, es decir, que respeten los derechos laborales de quienes se vean afectados y resulten beneficiosas para toda la ciudadanía.

Transición hacia una gobernanza plenamente democrática: Se requiere una gobernanza, desde el nivel local al planetario, que anteponga la cooperación y la universalización de los Derechos Humanos a la defensa de intereses particulares a corto plazo. Una transición hacia una *economía para la sostenibilidad*, es decir, hacia un modelo productivo orientado al bien común, que ponga fin a los desequilibrios insolidarios y apueste por una seguridad compartida que supere la habitual búsqueda de la propia seguridad *contra otros*, causa de conflictos bélicos y carreras armamentísticas. Las guerras y destrucciones, además de ser tragedias humanitarias, han tenido históricamente -y continúan teniendo hoy- un impacto económico y social muy negativo *en todo el mundo*, exacerbando la pobreza, la inseguridad alimentaria y dificultando el acceso a recursos energéticos asequibles. Como se afirma en el *Sustainable Development Report 2022* (Sachs *et al.*, 2022), la paz, la diplomacia y la cooperación internacional, son requisitos fundamentales para que el mundo progrese en el logro de los ODS.

Por último, pero igualmente importante, se precisa atender al papel de la educación en este conjunto de transiciones, estrechamente vinculadas entre sí.

Transición educativa que impulse la educación para la sostenibilidad: Se precisa una transición educativa que impulse una ES, es decir, una educación que incorpore la problemática CTSA y favorezca la implicación ciudadana para hacer frente a la crisis global y avanzar en la transición a sociedades sostenibles. Una transición que no solo precisa de educación formal en todos los niveles y materias, sino que ha de extenderse a los medios de comunicación, museos, documentales, jardines botánicos, etc., así como también a nuestras relaciones sociales y familiares, para contribuir a generalizar una percepción holística de

la situación del mundo, sus causas y medidas que se requiere adoptar y, en definitiva, que prepare para el abordaje inter y transdisciplinar de los problemas, en una perspectiva espacial y temporalmente amplia, como ha fundamentado la Ciencia de la Sostenibilidad.

INCONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Queda mucho por hacer frente a la gravedad creciente de la crisis socioambiental global que afrontamos. Una situación que nos envía, desde hace ya demasiado tiempo, inequívocas señales en forma de calentamiento global, incremento de fenómenos meteorológicos extremos, pérdida de diversidad biológica y cultural, millones de muertes por inanición, guerras, genocidios y dramáticos movimientos migratorios. Por ello, como se ha venido señalando, la acción educativa es relevante y clave ante el Pacto para el Futuro promovido por Naciones Unidas: un acuerdo multilateral concebido para dar respuesta integral a los desafíos actuales, con un enfoque basado en los ODS y la Agenda 2030. Nos encontramos en un momento decisivo en el que se precisa nuestra determinante implicación desde la Ciencia de la Sostenibilidad y, muy concretamente, desde la educación para la sostenibilidad, surgida de la perspectiva CTSA, si queremos contribuir a poner fin de manera decidida al actual proceso de degradación creciente y lograr la necesaria transición a sociedades sostenibles y respetuosas de todos los Derechos Humanos.

Capítulo 16. Lo primero, es antes, ¿y después? Educación STEM, un desarrollo anómalo y una historia al revés

David Aguilera¹, Jairo Ortiz-Revilla², Radu Bogdan Toma² y José Miguel Vílchez-González¹

¹Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada;

²Departamento de Didácticas Específicas. Universidad de Burgos

Contacto: davidaguilera@ugr.es; jmvilchez@ugr.es

“... Cómo saber que una historia al revés
Iba a ser lo que pudo ser y no fue.”

Fragmento extraído de: Esta historia va al revés de El niño de la Hipoteca

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la educación STEM (del inglés: *Science, Techonology, Engineering and Mathematics*) como línea de investigación educativa ha adquirido forma de una historia al revés. Tanto que si nuestra intención es obtener una conceptualización clara de la educación STEM habremos de buscar publicaciones recientes; y si buscamos ejemplos de (dudosas) prácticas educativas STEM, encontraremos decenas de manuscritos publicados desde 2010 hasta la actualidad. Visto desde fuera, esto podría interpretarse como algo natural y propio de una sociedad en la que los cambios se suceden antes de que el anterior se haya consolidado. También podría entenderse como una línea de investigación vanguardista, como lo es el estilo literario de Mark Z. Danielewski¹. Sin embargo, lo acontecido es, a todas luces, un desarrollo anómalo. La práctica ha adelantado a la teoría, lo que podría significar un fallo estrepitoso del binomio innovación-investigación en el ámbito educativo.

Bajo la lógica de una historia al revés, este capítulo comienza enumerando algunas de sus consecuencias en el ámbito socio-educativo: (1) proliferación de conceptos complejos que incorporan el acrónimo, como identidad STEM, pensamiento STEM o competencia STEM (Aguilera *et al.*, 2024); (2) agravio hacia el cuerpo de conocimiento generado por otras líneas de investigación (Aguilera y Vílchez-González, 2024); y (3) múltiples concepciones sobre educación STEM identificadas en el profesorado (Dare *et al.*, 2019; Giffney y Lane, 2025; Toma y Retana-Alvarado, 2021). En los apartados sucesivos, narraremos, desde una pers-

1. Se caracteriza por disponer el texto de sus obras en múltiples direcciones y/o espacios, requiriendo un esfuerzo extra por parte del lector para seguir la narrativa. Este tipo de obras se clasifican dentro de la literatura ergódica. Para ampliar información consultar: Aarseth, E.J. (1997). *Cybertext: Perspectives on Ergodic Literature*. Johns Hopkins University Press.

pectiva crítica, el desarrollo de esta línea de investigación e innovación educativa, para finalizar con una síntesis que derivará en una propuesta de buenas prácticas y una visión prospectiva.

STEM, CONTIGO EMPEZÓ TODO

El acrónimo STEM tiene su origen en la *National Science Foundation* (NSF) de los Estados Unidos de América. En los años 90, la NSF utilizaba el acrónimo SMET para referirse de manera conjunta a la ciencia, las matemáticas, la ingeniería y la tecnología (Sanders, 2008). En 2001, Judith Ramaley, por entonces directora de la División de Educación y Recursos Humanos de la NSF, reconfiguró el orden de las siglas y acuñó el acrónimo STEM para referirse conjuntamente a los currículos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (Breiner *et al.*, 2012). Supuestamente, el orden de las siglas se modificó por razones lingüísticas (Sanders, 2008), que pretendían evitar confusiones con otras palabras como “*smell*” (que significa olor, aroma o hedor en inglés), “*smut*” (obscenidad) o “*smutch*” (mancha). Según el contexto, STEM puede referirse al conjunto de las disciplinas que conforman el acrónimo o hacer referencia a los campos profesionales en los que trabajan los científicos, ingenieros y matemáticos (Breiner *et al.*, 2012; Sanders, 2008). Respecto a la primera acepción, STEM aglutina a las cuatro disciplinas siempre que se acompaña de otro término; por ejemplo, educadores STEM se refiere al conjunto de profesionales de la enseñanza de las áreas STEM del currículo.

Por un lado, en mayo de 2000 la Dra. Deborah S. Hartzler publicó su tesis doctoral, titulada *A meta-analysis of studies conducted on integrated curriculum programs and their effects on student achievement*. Este estudio analizaba, entre otras cuestiones, el impacto de las prácticas educativas articuladas por el *Project 2061*, que tomó el lema *Science For All Americans* y se inició en 1985. La *American Association for the Advancement of Science* publicaba en 1993 el libro *Benchmarks for Science Literacy*, sintetizando en él los conocimientos adquiridos durante el *Project 2061*. En este manual ya se dilucidaban los aspectos comunes de las naturalezas de la ciencia, las matemáticas y la tecnología. Todo ello inspiró la creación del posgrado en Educación STEM en la Virginia Tech University, cuya primera edición se celebró en otoño de 2005 (Sanders, 2008). Asimismo, Sanders (2008) ofreció la primera aproximación formal al concepto “*integrative STEM education*” como un conjunto de enfoques educativos que exploran la enseñanza y el aprendizaje de contenidos de dos o más áreas STEM; o la integración de una asignatura STEM y otra cualquiera. Cabe señalar que la decisión de utilizar el calificativo “*integrative*” (integradora) obedece a la mera opinión y gusto del autor, quien consideró que “durante un siglo la educación científica, tecnológica, ingenieril y matemática han establecido y defendido firmemente sus territorios soberanos. Necesitándose mucho más que una palabra de cuatro letras para unirlos [traducción propia]”

(Sanders, 2008, p. 21). Debió de estimar la inserción del calificativo “integradora” al concepto de “educación STEM” como una medida de contingencia para disipar tal desavenencia.

Por otro lado, siguiendo a Breiner *et al.* (2012), la publicación del libro *The world is flat: A brief history of the twenty-first century* en 2005 por Thomas L. Friedman, experto en política y escritor que ha ganado tres premios Pulitzer, convenció a la sociedad estadounidense de que su país estaba perdiendo terreno frente a potencias económicas emergentes como China e India. Esto generó una respuesta política, cuyo plan de acción se plasmó en un informe de la NSF publicado en octubre de 2007. Tal fue su alcance que las políticas estadounidenses fueron el detonante de una *STEMmania* (Sanders, 2008). Así, se conoce al conjunto de las políticas de distintos países que persiguen el reclutamiento de profesionales STEM, principalmente mediante reformas educativas. Un fenómeno que también se ha denominado movimiento STEM.

Los acontecimientos descritos propiciaron un desarrollo emergente de un “nuevo” enfoque educativo en los Estados Unidos de América, basándose en el cuerpo de conocimiento generado en investigaciones y experiencias previas, hasta que la *STEMmania* aceleró los procesos de investigación e innovación educativa provocando la ruptura entre ambos y, consecuentemente, la pérdida de información. Tanto que lo primero fue antes, y después llegó la educación STEM.

Antes llegaron las extensiones del acrónimo

Según Sanders (2008), la educación científico-tecnológica no puede separarse de los contextos sociales, artísticos o humanísticos, pues se incurriría en una fragmentación y descontextualización del mundo real. Por ello, desde un inicio su conceptualización de la “educación STEM integradora” dejó la puerta abierta a significar algo más que la integración de las disciplinas que constituyen el acrónimo. Este hecho posibilitó prematuramente la extensión a STEAM, con la intención de visibilizar en el acrónimo las artes y el resto de las disciplinas socio-humanísticas. Yakman (2008) fue la primera autora que propuso la educación STEAM, definiéndola como la “Ciencia y Tecnología interpretadas a través de la Ingeniería y las Artes, todo ello basado en el lenguaje de las Matemáticas” (p. 347). Esta reinterpretación limita la educación STEM al nivel de integración multidisciplinar y asigna a la educación STEAM los niveles superiores (interdisciplinar y transdisciplinar). Son “libertades teóricas” (y, de hecho, inconsistencias actualmente superadas) que pueden tomarse cuando una historia empieza al revés.

Land (2013) y Maeda (2013) argumentaron que el (supuesto) potencial de la educación STEAM radica en su capacidad para combinar el pensamiento convergente, característico de las disciplinas STEM, con el pensamiento divergente, propio de los ámbitos artísticos y humanísticos. Esta combinación resulta especialmente relevante

para la resolución de problemas complejos y reales. En todo caso, la educación STEAM ha sido ampliamente definida como un enfoque educativo complejo y discutido, centrado en la resolución de problemas relevantes, cercanos al alumnado y con preferencia de abordajes interdisciplinarios y transdisciplinarios (Greca *et al.*, 2021). Aunque se fundamenta en los principios de la educación STEM, según diversos estudios, su integración facilita retomar objetivos educativos más amplios, como el desarrollo competencial integral, la promoción de la inclusión social, la participación ciudadana y la sostenibilidad, entre otros (Colucci-Gray *et al.*, 2019; Ortiz-Revilla, 2020; Zeidler, 2016). Asimismo, se ha señalado que la educación STEAM puede contribuir a la construcción de significado personal y al aumento de la motivación del alumnado, al ofrecer experiencias de aprendizaje más contextualizadas y creativas (Maeda, 2013). La creatividad, vinculada habitualmente al pensamiento divergente, ha sido el eslogan que ha impulsado la extensión STEAM. Sin embargo, Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) revisaron 14 experiencias educativas basadas en los enfoques STEM y STEAM e identificaron que ambos son capaces de promover el desarrollo de la creatividad del alumnado.

Como se puede observar, la educación STEAM ha heredado (y ampliado) el problema de la coexistencia de múltiples y dispares significados de STEM, existiendo actualmente una peligrosa polisemia (Aguilera y Vélchez-González, 2024; Toma y García-Carmona, 2021). De hecho, la transformación del acrónimo ha continuado ampliándose hasta la actualidad. A partir de STEAM han surgido diversas variantes como: STEAMS, donde la última S significa Society (Pinkel, 2016); STREAM, que incorpora una R al acrónimo, interpretada como *Reading and Writing* (Sun y Zhong, 2024), *Recreation* (Yoh *et al.*, 2021) o *Religion* (Mubarok *et al.*, 2020); Re-STEAM, entendido como religión islámica y STEAM (Adiyono *et al.*, 2024); ST^{*}E(A)M(S), donde ^{*} significa *knowledge integration* y S *Sustainability Education* (Krug y Shaw, 2016), o STEAM $\forall$ H que significa *STEAM for All Humanity* (Montés *et al.*, 2024). En otros trabajos, incluso, se han propuesto acrónimos derivados del enfoque STEAM con estructura muy diferenciada, como es el caso de R-SLAMETS, que hace referencia a: *Religion, Science, Literacy, Art, Math, Engineering, Technology and Social Study* (Hapidin *et al.*, 2020). Un molesto batiburrillo.

Posteriormente, al igual que ha ocurrido con la educación STEM, han emergido diversos modelos teóricos para la educación STEAM. Estos se han compilado en la revisión sistemática de Ortiz-Revilla *et al.* (2021), identificando entre otros: el propuesto por Kim (2016), que desarrolla el modelo de rueda conectando STEAM con Humanidades; Quigley *et al.* (2019) presentan un modelo teórico a partir de dos dominios (contenido y contexto de aprendizaje); Costantino (2018) plantea un modelo de investigación creativa transdisciplinar; Chu *et al.* (2019) proponen un marco intercultural basado en el socioconstructivismo y el ciclo 5E; Wannapiroon *et al.* (2020), describen modelos gamificados para la integración disciplinar; Trott *et al.* (2020), y Lin y Tsai (2021), presentan modelos interdisciplinares para conjugar las áreas STEAM en proyectos de educación ambiental. Más recientemente,

Yeomans *et al.* (2023) han establecido un marco conceptual para la educación STEAM que integra las perspectivas experiencial, cognitiva, social y cultural, ampliándolo posteriormente en Chappell *et al.* (2025) y Yeomans *et al.* (2025); Cheng y Huang (2025) han desarrollado una rúbrica, denominada LUPDA, para evaluar el aprendizaje desarrollado a partir de intervenciones basadas en el enfoque STEAM; Radvila *et al.* (2025) han propuesto un marco para el desarrollo profesional docente adaptativo e impulsado por IA denominado A²SPDC; Spyropoulou *et al.* (2025) han desarrollado un marco para articular reformas STEAM en distintos contextos educativos, que se estructura mediante los dominios de política, infraestructura, recursos y colaboración; y Walshe *et al.*, (2025) han propuesto el marco *STEAM from the Start* para guiar la formación de docentes en educación infantil y apoyar la implementación de la educación STEAM desde las primeras etapas educativas.

En resumen, la extensión de STEM a STEAM, y sus múltiples variantes, podría interpretarse de dos formas:

- a) Como una tendencia natural hacia modelos educativos cada vez más integradores, flexibles y transversales, orientados a responder a los retos de una sociedad compleja y cambiante.
- b) O como una evidencia del desarrollo anómalo que ha tenido la educación STEM.

Y antes realizamos múltiples interpretaciones del concepto educación STEM

Desde que Sanders (2008) realizó aquella primera aproximación conceptual a la “educación STEM integradora” han emergido diferentes estudios cuyo objetivo, independientemente de la perspectiva desde la que lo abordaron, ha sido conceptualizar el constructo educación STEM (Tabla 16.1). Las razones se encuentran en la primera fuente. Recordemos que Sanders (2008) ofreció una definición tan amplia que prácticamente cualquier enfoque educativo aplicado a la enseñanza-aprendizaje de alguna materia STEM podría considerarse una “educación STEM integradora”. Por ejemplo, el enfoque CLIL (del inglés *Content and Language Integrated Learning*), que se desarrolló en 1994 por David Marsh, se refiere a la enseñanza integrada de una lengua extranjera y otra materia del currículo, existiendo preferencia por las áreas científico-tecnológicas para completar el binomio. Para más inri, en el mismo manuscrito, Sanders (2008) alinea la educación STEM con la enseñanza tradicional y monodisciplinar de las ciencias, la tecnología, la ingeniería o las matemáticas.

Tabla 16.1. Relación de definiciones sobre educación STEM y “sus variantes” integrada e integradora.

Definiciones	Autores
Educación STEM hace referencia conjuntamente a la enseñanza de las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas.	Sanders (2008)
Educación STEM integradora como una amalgama de enfoques educativos que exploran la enseñanza y el aprendizaje de dos o más contenidos de las áreas STEM; o la integración de una asignatura STEM y otra cualquiera.	Sanders (2008)
Educación STEM es un enfoque educativo orientado a la resolución de problemas que implican contenidos científicos y matemáticos, que se enriquece con estrategias de diseño (ingeniería) y elementos tecnológicos.	Shaughnessy (2013)
Educación STEM es un enfoque educativo que elimina las barreras tradicionales que separan las cuatro disciplinas, integrándolas en experiencias de aprendizaje reales, rigurosas y relevantes para los estudiantes.	Vasquez <i>et al.</i> (2013)
Educación STEM es una metadisciplina, que se constituye por el esfuerzo para eliminar las barreras disciplinares y se centra en un proceso de diseño aplicado para resolver problemas complejos mediante el uso de herramientas y tecnologías actuales.	Kennedy y Odell (2014)
Educación STEM integrada es la combinación de algunas o todas las disciplinas que conforman el acrónimo en una lección, procurando conexiones entre las materias y los problemas del mundo real.	Moore <i>et al.</i> (2014)
Educación STEM integradora como un enfoque para enseñar contenidos de dos o más dominios STEM, integrados mediante prácticas epistémicas y en el marco de un contexto auténtico.	Kelley y Knowles (2016)
Educación STEM integrada es un enfoque educativo que se fundamenta en la teoría socioconstructivista del aprendizaje para articular una secuencia de aprendizaje que integra contenido de dos o más áreas STEM, apoyándose en metodologías didácticas como el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje basado en indagación, el aprendizaje basado en diseño y/o el aprendizaje cooperativo.	Thibaut <i>et al.</i> (2018)
Educación STEM es un enfoque educativo que integra conocimientos y/o habilidades de las cuatro disciplinas implicadas en el acrónimo, orientándose a la resolución de problemas que se contextualizan en situaciones con diferentes niveles de autenticidad.	Martín-Páez <i>et al.</i> (2019)
Educación STEM integrada como un enfoque educativo humanista que integra las cuatro disciplinas con el objetivo de dotar a los ciudadanos de las herramientas necesarias para vivir en sociedad y contribuir a ella, basándose en los pilares de la educación para la ciudadanía.	Ortiz-Revilla <i>et al.</i> (2020)
Educación STEM como un enfoque interdisciplinar que enfatiza en las conexiones de las disciplinas STEM.	Gao <i>et al.</i> (2020)
Educación STEM es un enfoque educativo que se caracteriza a partir de siete ideas clave: (1) centrado en resolución de problemas reales; (2) centrado en ingeniería; (3) procura la integración a partir de situaciones contextualizadas; (4) integra contenidos de los dominios STEM; (5) atiende a las prácticas epistémicas STEM; (6) también a las habilidades del siglo XXI; y (7) informa a los estudiantes sobre las características de las carreras STEM.	Roehrig <i>et al.</i> (2021).

A priori, se podría pensar que educación STEM, educación STEM integradora y educación STEM integrada son conceptos diferentes. Sin embargo, no hay más que analizar detenidamente cada una de las definiciones compiladas en la Tabla 16.1 para darse cuenta de que no es así. Sabemos que el calificativo “integradora (*integrative*)” fue incorporado por Sanders (2008) para paliar una hipotética desavenencia entre las didácticas específicas STEM, pero lejos de conseguirlo, podría estar generando una situación disruptiva con otras didácticas específicas (e.g.: lengua extranjera). Igualmente, incluir el calificativo “integrada (*integrated*)” al concepto educación STEM no parece estar aportando nada significativo. No hay más que ver las definiciones de Kelley y Knowles (2016) y Thibaut *et al.* (2018). En esencia, las múltiples interpretaciones de la educación STEM coinciden mayoritariamente en tres aspectos didácticos: (1) la integración de, al menos, dos disciplinas STEM; (2) la resolución de problemas; y (3) la contextualización del proceso de enseñanza-aprendizaje. Llegados a este punto, y haciendo gala de una de las prácticas epistémicas de la ingeniería, ¿no sería más correcto (y sensato) unificar las interpretaciones bajo el constructo “educación STEM”? Ya hemos visto que todo lo referente a STEM se presta a extensiones, al incorporar tanto letras como palabras. Hecho que, quizás, obedece más a la creación de “marca propia” o al impulso de modas educativas (Toma y García-Carmona, 2021) que a la necesidad de conceptualizar de forma rigurosa a la educación STEM.

Si algo está consensuado en lo referente a la educación STEM, es que se trata de un enfoque educativo que al articularlo en el aula puede tomar muchas formas. Ello dependerá de: la metodología didáctica (o metodologías) que utilicemos; el número de disciplinas que integremos; y el nivel de integración por el que optemos (Vasquez, 2014). En consecuencia, interpretar la educación STEM (algunos solamente se refieren a STEM, como Martínez-Martínez *et al.*, 2025) como una metadisciplina queda totalmente descartado, pues no dispone de prácticas epistémicas propias que posibiliten la generación de un cuerpo de conocimiento diferenciado de aquel provisto por las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (Akerson *et al.*, 2018). Sin embargo, sí que podemos estudiar cómo interaccionan las naturalezas de las disciplinas STEM en procesos de enseñanza-aprendizaje integrados (Aguilera *et al.*, 2024; Ortiz-Revilla *et al.*, 2020).

Aclarado todo esto, aún queda pendiente una cuestión que no es baladí. ¿Estaré aplicando el enfoque STEM siempre que integre dos o más disciplinas del acrónimo? Como en una historia al revés, se resolverá después.

Después establecimos marcos de referencia y nos preguntamos si era una innovación

Recapitemos, el acrónimo STEM aparece por primera vez en 2001 y la primera aproximación formal a la conceptualización de la educación STEM se realiza en 2008. Sin embargo, tuvimos que esperar hasta 2016 para obtener el primer

modelo teórico centrado en la transposición de este enfoque educativo a las aulas. Así, Kelley y Knowles (2016) emplean la metáfora de un sistema de poleas para representar la integración de las disciplinas STEM. La “carga” representa el aprendizaje situado (teoría del aprendizaje que fundamenta el modelo); las poleas simbolizan las prácticas disciplinares (indagación científica, diseño de ingeniería, alfabetización tecnológica y pensamiento matemático); y la comunidad de práctica se representa por la cuerda que une y moviliza el sistema. En este sentido, si comparamos la conceptualización de educación STEM que realizan estos autores (Tabla 16.1) con su metáfora, podríamos decir que, si suprimimos alguna de las poleas (disciplinas), la comunidad de prácticas deberá ejercer una “fuerza” mayor para levantar “la carga” del aprendizaje situado (por aquello de $F = R / 2^n$). ¿Estarán asumiendo, implícitamente, que integrar las cuatro disciplinas STEM “facilita” el aprendizaje? No lo sabemos, pero en el mismo artículo apoyan la integración de, al menos, dos disciplinas STEM para después optar por representar a las cuatro... ¡en un polipasto! Son, de nuevo, cosas que suceden en una historia al revés.

El año 2020 parece ser clave en el desarrollo de esta línea de investigación e innovación educativa. A partir de este año se publicarían diferentes trabajos que permitirían reconducir, en parte, el desarrollo anómalo de la educación STEM. Así, Akerson y Buck (2020) publican el libro *Critical question in STEM education*, en el que analizan el estado de la cuestión desde una perspectiva crítica. De esta obra colectiva, cabe destacar la aportación de Dana L. Zeidler que critica duramente las aportaciones del enfoque STEM frente a otros más humanistas como la educación CTS (ver capítulo 15). Aplicando ese mismo espíritu crítico, Perales y Aguilera (2020) señalarían que, entre aquella amalgama de enfoques STEM a la que apuntaba Sanders (2008) y que hemos constatado en la Tabla 16.1, los únicos que resultan en innovación educativa son aquellos que integran las cuatro disciplinas del acrónimo. Tanto es así que si denominamos como educación STEM a la integración de la ciencia y la tecnología (incluso a la ingeniería) en el marco de resolución de problemas reales, estaríamos incurriendo en una polisemia innecesaria y en una falta de rigor académico ostensible: el enfoque CTS, que data de la década de los 80, ya definía procesos de enseñanza-aprendizaje en los que se integraban ciencia y tecnología para empoderar a la ciudadanía y formar en valores (Acevedo, 1997; García-Carmona, 2025). Al respecto, Toma y García-Carmona (2021) puntualizaron que la integración disciplinar, la orientación a la resolución de problemas y la contextualización del proceso de enseñanza-aprendizaje están lejos de resultar una innovación educativa en la actualidad. En consecuencia, si hemos de calificar a la educación STEM como innovación educativa, que sea por el esfuerzo de perseguir una integración efectiva de las cuatro disciplinas STEM.

Durante el periodo 2021-2025 se han publicado cuatro marcos de referencia, sin descartar alguno más que se nos haya podido escapar. Roehrig *et al.* (2021) establecieron un modelo teórico para implementar el enfoque STEM a partir de siete componentes (Tabla 16.1) y muy focalizado en la promoción de interés y de

una identidad STEM entre el alumnado. De este, conviene destacar la precisión con la que describen el rol del profesorado y el alumnado durante una secuencia de enseñanza-aprendizaje basada en la educación STEM. Ortiz-Revilla *et al.*, (2022) propusieron un modelo triádico adoptando tres niveles de compromiso científico para el desarrollo de propuestas STEM (con las teorías, los métodos y los objetivos); y dentro del plano teórico tres ejes (epistemológico, psicológico y didáctico). Por su parte, Toma *et al.* (2024) desarrollan un modelo teórico para implementar dicho enfoque en educación primaria y lo fundamentan en varias teorías del aprendizaje (socio-constructivista, constructivista, aprendizaje significativo y aprendizaje por descubrimiento). Este modelo estructura el proceso de enseñanza-aprendizaje en dos fases: (1) desarrollo de conocimiento (científico) a través de la indagación y con el apoyo de conocimientos y habilidades propias de las matemáticas, así como de elementos tecnológicos; y (2) aplicación de conocimiento mediante prácticas propias de la ingeniería. Por último, Aguilera *et al.* (2024) adoptan la Teoría General de Sistemas para desarrollar su marco teórico, de modo que conceptualizan la educación STEM a partir del sistema disciplinar, el sistema social y el sistema escolar. De este modelo conviene destacar su atención a las dimensiones epistemológica, pedagógica (lo fundamentan en la teoría del aprendizaje situado y explicitan la necesidad de articular una coenseñanza para implantar con éxito este enfoque) y metodológica (proponen el modelo IDEARR para articular una metodología de aprendizaje basada en problemas) de la educación STEM. Tanto Ortiz-Revilla *et al.*, (2022), Toma *et al.* (2024) como Aguilera *et al.* (2024) reivindican la integración de las cuatro disciplinas STEM en el proceso de enseñanza-aprendizaje; por el contrario, Roehrig *et al.* (2021) no despejan esta incógnita en su marco.

Los marcos de referencia que se han descrito constituyen, hasta el momento, modelos teóricos. Si bien sus autores han procurado dotarlos de una validez interna suficiente, ninguno de ellos ofrece, por el momento, datos suficientes sobre su validez externa, aunque se siguen realizando esfuerzos en este sentido. Dicho de otro modo, todos ellos pueden ser magníficos sobre el papel, pero no han demostrado su éxito (efectividad y viabilidad) en las aulas de manera generalizada. En una historia al revés, esto llegará después o, al menos, eso esperamos.

Después analizamos su efectividad

Ante la diversidad de conceptualizaciones del enfoque STEM y modelos que orientan su transposición didáctica, es inevitable preguntarse hasta qué punto la educación STEM mejora el aprendizaje, las habilidades o las actitudes del alumnado. Si atendemos a las revisiones sistematizadas de la literatura y los metaanálisis más recientes, veremos que arrojan respuestas inconclusas.

Para empezar, un metaanálisis que ofrece hallazgos alentadores, aunque con importantes advertencias metodológicas, es el de Zhou *et al.* (2025). Este se basa en

40 estudios y se centra en los modos de integración disciplinar de las intervenciones basadas en el enfoque STEM. Los autores reportan un tamaño del efecto moderado a grande, que depende en gran medida de la “integración contextual”, es decir, de la contextualización de la secuencia didáctica en problemáticas del mundo real, un aspecto que, aunque sí se potencia mediante la educación STEM, no es exclusivo ni necesariamente innovador de esta (Toma y García-Carmona, 2021). Según estos resultados puede interpretarse que el impulso del rendimiento del alumnado podría deberse, en mayor o menor medida, al efecto motivacional y narrativo de situar el aprendizaje en un contexto relevante.

Uno de los esfuerzos más destacados para cuantificar este impacto es el metaanálisis de Chen *et al.* (2025), que sintetizó los resultados de 124 estudios. Los autores concluyen que la educación STEM tiene un efecto considerable en el desarrollo de habilidades y un efecto moderado sobre el aprendizaje conceptual. Aunque los resultados pueden considerarse alentadores, estos fueron altamente dependientes del andamiaje empleado por el profesorado, del cual dependía el éxito de las intervenciones, ya que contribuía a reducir la carga cognitiva asociada a la integración de disciplinas. Además, se observó que su efectividad disminuye en las intervenciones educativas de mayor duración. En una línea similar, Chang *et al.* (2024) analizaron 23 intervenciones y encontraron que el tamaño del efecto de la educación STEM oscila entre pequeño y moderado. Sin embargo, los autores advierten que sus conclusiones son vulnerables al sesgo geográfico, ya que los efectos observados en Asia fueron significativamente mayores y más positivos que en estudios realizados en Europa o Norteamérica. Estos hallazgos plantean dudas sobre la generalización de los resultados, sugiriendo que factores culturales o particularidades de los sistemas educativos pueden moderar la efectividad del enfoque STEM. Asimismo, los beneficios más pronunciados se registraron en el desarrollo de habilidades específicas, mientras que el aprendizaje conceptual mostró mejoras menores. Además, las intervenciones que integraban dos disciplinas resultaron más efectivas que los intentos de combinar tres o cuatro. Estos hallazgos podrían cuestionar la premisa central del enfoque STEM de que mayor integración conlleva mejores resultados (Roehrig *et al.*, 2021).

McLure *et al.* (2022) identificaron en su revisión de la literatura que la mayoría de las intervenciones educativas basadas en el enfoque STEM carecen de una participación estudiantil genuina, siendo pocas las que permitían un rol protagonista por parte del alumnado, por ejemplo en la selección de la problemática de estudio. Asimismo, observaron una escasa vinculación explícita entre las actividades educativas y el quehacer real de los profesionales de estos ámbitos. En consecuencia, pese a que la premisa de este enfoque es aprender los contenidos y las habilidades disciplinares de una forma análoga a como se aplican en la vida real (Roehrig *et al.*, 2021), la literatura sugiere que muchas de las implementaciones no logran establecer conexiones significativas entre las experiencias de aula y la realidad, quedando restringidas a ejercicios de carácter académico o lúdico descontextualizado.

En lo que respecta a las actitudes del alumnado, la evidencia empírica resulta aún muy limitada. Aguilera (2019) revisó la literatura publicada sobre educación STEM en el periodo 2015-2019, cuyo objetivo empírico atañe a las actitudes hacia las disciplinas STEM, desde una perspectiva monodisciplinar o integrada, y hacia las carreras STEM. Los hallazgos son positivos, pues se hallaron tamaños del efecto de pequeños a grandes, tanto para las actitudes hacia las disciplinas como aquellas orientadas hacia el estudio de carreras STEM. Sin embargo, estos resultados se sostienen en una muestra de seis estudios empíricos que, si bien representa una gran variabilidad geográfica y cultural, resulta insuficiente para realizar generalizaciones.

Resulta necesario abordar la cuestión de la validez interna de las investigaciones primarias incluidas en los estudios de revisión anteriormente citados (para profundizar, véase García-Carmona *et al.*, 2026). Un número considerable de estos estudios compara un grupo experimental que recibe una intervención educativa multifactorial con un grupo de control basado en un modelo didáctico de transmisión-recepción. Este diseño metodológico constituye una amenaza relevante para la validez interna de los estudios, en la medida en que no se aísla adecuadamente la variable independiente objeto de análisis, esto es, la *integración disciplinar*, que constituye el rasgo distintivo de la educación STEM (Martín-Páez *et al.*, 2019; Roehrig *et al.*, 2021). En consecuencia, no es posible atribuir con certeza los efectos observados a la integración entre disciplinas, ya que estos podrían deberse, total o parcialmente, a otras variables. En este sentido, Aguilera (2019) ya advirtió de los condicionantes que podrían moderar en el impacto de una intervención educativa basada en el enfoque STEM sobre las actitudes del alumnado (lo que podríamos extender a la adquisición de conceptos y desarrollo de habilidades). Debemos recordar que la educación STEM es un enfoque educativo, cuya implementación puede articularse a partir de diferentes metodologías (aprendizaje basado en problemas, proyectos o indagación, entre otros) y recursos didácticos (salidas de campo, robótica...). Tanto es así que el análisis de sus implicaciones educativas siempre debe obedecer a su naturaleza multifactorial. También resulta problemático que muchos de los estudios primarios incluidos en las revisiones no implementen una educación STEM auténtica; bien porque se centran en una sola disciplina, o porque proponen integraciones superficiales o meramente anecdóticas. En este sentido, García-Carmona *et al.* (2026) señalan que gran parte de los estudios incluidos en el metaanálisis de Chen *et al.* (2025) presentan esta limitación.

En síntesis, la validez interna de la mayoría de estudios incluidos en las citadas revisiones es alarmantemente baja. En una historia al revés, las hipótesis se formulan después de la experimentación. Tanto es así que, por el momento, se cuestiona la solidez del corpus de evidencia disponible sobre la efectividad de la educación STEM.

Y después nos preguntamos en qué medida es viable

Se trata de una cuestión fundamental, que debería haberse formulado antes (primera década del siglo XXI) y no después (iniciada la tercera), cuando ya se han generalizado políticas que pretenden transformar la educación a partir de varios de los principios pedagógicos que fundamentan a la educación STEM (aprendizaje contextualizado e integración disciplinar). Incluso en el supuesto de que este enfoque disponga de evidencias más sólidas sobre su efectividad, su implementación debe ser factible y sostenible en contextos educativos reales para que pueda constituir una mejora educativa. Al respecto, Toma *et al.* (2025) analizaron la motivación del profesorado de educación secundaria ante la implementación obligatoria de los denominados ámbitos educativos en la Comunidad Valenciana, un enfoque alineado con los principios de la educación STEM. Los resultados muestran que el profesorado percibe un elevado coste emocional y una considerable carga de trabajo, así como una pérdida de identidad disciplinar y, de forma especialmente relevante, una baja percepción del valor educativo del enfoque en comparación con otros planteamientos didácticos.

La falta de formación del profesorado constituye otro factor determinante que compromete la viabilidad de la educación STEM. En este sentido, García-Carmona y Toma (2024) analizaron las experiencias y emociones de 328 docentes de ciencias en España ante el reto de integrar prácticas de ingeniería en su enseñanza. Los resultados ponen de manifiesto niveles significativamente bajos de preparación pedagógica y de autoeficacia percibida. La emoción predominante frente a este desafío no fue el entusiasmo, sino la inseguridad, seguida del estrés. Aunque el profesorado reconoce el valor potencial de la ingeniería para incrementar la motivación del alumnado, su valoración de la viabilidad de dicha integración resulta mayoritariamente negativa, lo que evidencia una brecha sustancial entre las demandas del enfoque y las herramientas formativas de las que disponen. En esta misma línea, Calvo-Utrilla *et al.* (2025) señalan que la ausencia de un consenso claro sobre la conceptualización de la educación STEM dificulta que el profesorado disponga de referentes pedagógicos sólidos y de herramientas operativas para su implementación efectiva; aspecto que asimismo limita su viabilidad.

Si bien la falta de preparación emerge como una barrera clave, la formación del profesorado no constituye por sí sola una solución suficiente. La literatura sobre la formación del profesorado en STEM sugiere que la formación es una condición necesaria, pero claramente insuficiente si no va acompañada de cambios estructurales en los centros educativos. En este sentido, Lo (2021), a partir de una revisión sistemática de 48 estudios empíricos, indica que, incluso tras participar en programas de formación de calidad, el profesorado se enfrenta a obstáculos estructurales persistentes en los centros educativos, tales como la falta de tiempo para la planificación, la organización escolar y curricular basada en compartimentos disciplinares, o la escasez de espacios adecuados para el desarrollo de propuestas

interdisciplinarios. Estas limitaciones, junto con la insuficiencia de recursos en algunos contextos, dificultan la implementación de la educación STEM, aunque no son exclusivos de esta.

Entonces, ¿es viable el enfoque STEM? Wu *et al.* (2024) han aportado datos relevantes que posibilitarían una respuesta a esta cuestión. Estos autores realizaron un metaanálisis a partir de 21 estudios con el objetivo de cuantificar el impacto de programas formativos sobre educación STEM en el desarrollo de las competencias interdisciplinarias del profesorado. Los resultados muestran una correlación moderadamente positiva entre la participación en estos programas y dichas competencias. Si bien este hallazgo podría interpretarse inicialmente como alentador, el análisis de variables moderadoras revela desigualdades significativas en los efectos observados. En concreto, la formación resultó sustancialmente más efectiva en el profesorado novel que en aquel con mayor experiencia docente, y mostró un impacto mayor entre quienes contaban previamente con formación en ámbitos como la ingeniería o la tecnología. Estos resultados sugieren que la formación del profesorado en educación STEM opera, en mayor medida, como un catalizador para perfiles docentes ya predispuestos o en fases iniciales de su trayectoria profesional, más que como una herramienta de transformación profunda para el conjunto del profesorado en ejercicio. En este sentido, los docentes con una identidad disciplinar consolidada y una larga trayectoria profesional parecen mostrar una mayor resistencia al cambio o una menor percepción de la utilidad educativa del enfoque STEM.

A la luz de estos datos, podríamos afirmar que, por el momento, no es viable implementar de manera generalizada el enfoque STEM en las aulas actuales de nuestro sistema educativo. Dado el origen de otros autores y la contextualización de sus estudios, esta afirmación podría extenderse a otros países. Así es, que no nos extraña, pues ya avisamos que esto es una historia al revés ¿Y en las aulas del futuro? Tal vez. Tenemos a favor la legislación educativa vigente, que ofrece respaldo normativo suficiente para implementar el enfoque STEM en las etapas educativas obligatorias (Aguilera, 2022); también las comunidades autónomas han impulsado programas educativos que, por un lado, dotan de recursos a los centros y, por otro, aportan formación al profesorado. Algunos de ellos son: STEAM Talent Kids en Castilla y León; STEAM LH en el País Vasco; Aquí STEAM en Cataluña; Asturias4STEAM; o los programas educativos STEM en Andalucía. En contra, tenemos una gran incógnita: ¿cómo se va a adecuar la formación inicial del profesorado? Esto, en una historia al revés, de nuevo se abordará después.

¿Y AHORA QUÉ? CONCLUSIONES, PROSPECTIVA Y BUENAS PRÁCTICAS

En este capítulo se ha revisado la extensa literatura sobre el enfoque STEM, proporcionando una visión general y crítica de su desarrollo como línea de investigación e innovación educativa. La educación STEM ha dejado de ser una novedad

experimental para convertirse en un campo de investigación emergente, cuya consolidación se espera para el periodo 2025-2030. Llegados a este punto, podríamos sintetizar la revisión del estado de la cuestión en dos grandes ideas:

- La conceptualización del enfoque STEM ha requerido casi dos décadas para alcanzar un nivel suficiente de claridad, coherencia y robustez teórica, y actualmente contamos con modelos teóricos sólidos para articular su implementación en las aulas.
- La evidencia sobre efectividad y viabilidad es, hasta la fecha, limitada e insuficiente. Los estudios que investigan una educación STEM auténtica, entendida como la integración de las cuatro disciplinas, son la excepción más que la norma; las disciplinas de matemáticas y tecnología suelen ocupar un papel secundario o instrumental; la inclusión de la ingeniería suele traducirse a actividades lúdico-prácticas descontextualizadas más que a prácticas ingenieriles genuinas; y los beneficios observados son difíciles de atribuir de manera inequívoca a la integración disciplinar, debido a la falta de control de variables y la presencia de variables extrañas (o de confusión) en los diseños de investigación.

La prospectiva para futuras investigaciones debe atender de manera prioritaria al rigor metodológico. Es necesario superar los diseños que comparan intervenciones multifactoriales con la enseñanza tradicional sin aislar la variable de integración (García-Carmona *et al.*, 2026). Mientras estas tensiones metodológicas permanezcan sin resolver, la educación STEM corre el riesgo de mantenerse como una promesa atractiva, pero con una implementación pedagógica insostenible en las aulas.

A pesar de todo, algo hemos aprendido de esta historia al revés. Por tanto, podemos establecer una serie de buenas prácticas con la intención de reconducir el desarrollo anómalo que ha venido experimentando esta línea de investigación e innovación:

- Evitar el uso del término “educación STEM” como eslogan y palabra clave “comodín” en las publicaciones, puesto que esta práctica antepone su visibilidad a la honestidad académica.
- Asegurar la integración de las cuatro disciplinas STEM en nuestros diseños, mediante la inclusión de contenidos y/o prácticas epistémicas de las áreas STEM.
- Argumentar el nivel de integración disciplinar que se ha implementado.
- Adoptar un modelo teórico bien delimitado para articular la transposición didáctica del diseño, ya sea propio o ajeno, identificando claramente la metodología didáctica utilizada (o metodologías).
- Proporcionar toda la información necesaria para que la propuesta didáctica STEM pueda ser comprendida y reproducida por terceros.

En nuestra opinión, solo adoptando estas buenas prácticas se podrá avanzar con paso firme en el desarrollo del enfoque STEM y, lo más importante, en su implementación rigurosa y eficaz en las aulas.

Agradecimientos. Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i C-SEJ-055-UGR23 (STEMgame) cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación y por la Unión Europea con cargo al Programa FEDER Andalucía 2021-2027.

Capítulo 17. Las cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias

Ángel Blanco López

*Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias de la Educación. Didáctica de las Ciencias
Experimentales. Grupo de Investigación ENCIC (www.encic.es)*

Contacto: ablancol@uma.es

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mundo es un lugar complejo por muchas razones. El momento actual de la historia ha sido definido como «modernidad líquida» (Bauman, 2000), destacando que las realidades sólidas de generaciones anteriores, como el trabajo o las relaciones duraderas, han desaparecido y han dado paso a un mundo más precario, provisional, ávido de novedades y, con frecuencia, agotador. En la última década, ha irrumpido con fuerza la idea de la «posverdad» (Llorente, 2017) en la que las creencias personales, irrefutables para muchos, han ganado fuerza frente a la lógica y los hechos y han acabado por asentarse como supuestos compartidos por la sociedad, confundiendo a la opinión pública. La «posverdad» es una condición social que amenaza la confianza en la ciencia y el pensamiento crítico de las personas (Valladares, 2022). Otra característica de la situación actual es la «infoxicación», es decir, el problema causado por el exceso de información que, paradójicamente, está produciendo un aumento de la desinformación (Osborne y Pimentel, 2023). Esta situación se ha complicado aún más con la aparición de las noticias falsas, la publicidad digital, los algoritmos utilizados en Internet, las redes sociales y el rápido auge de la inteligencia artificial que está impregnando todas las esferas de la vida, entre ellas la educación científica (Jia *et al.*, 2023).

En estos momentos, la educación científica debe proporcionar una respuesta educativa a un conjunto de desafíos que enfrentan los ciudadanos, muchos de los cuales están incluidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible formulados por las Naciones Unidas (United Nations, 2015). La salud y el bienestar (ODS 3), Energía asequible y no contaminante (ODS 7), Acción por el clima (ODS 13), Los recursos (ODS 14 y 15), etc., son algunos de ellos.

Para intentar abordar esos desafíos la didáctica de las ciencias en las últimas décadas está poniendo cada vez más énfasis en vincular el contenido y los objetivos de la enseñanza de las ciencias con lo que la ciudadanía necesita para participar de manera efectiva en la sociedad contemporánea, una sociedad que depende en gran medida de la ciencia y la tecnología (Blanco-López *et al.*, 2015). Al respecto, se han desarrollado diferentes enfoques de enseñanza, entre los que cabe destacar

la enseñanza en contexto (King y Ritchie, 2012), Ciencia-Tecnología y Sociedad (CTS) en la educación científica, su sucesor Ciencia-Tecnología-Sociedad y Ambiente (véase capítulo 15) y el de las cuestiones socio-científicas (Sadler, 2011). A pesar de algunas diferencias específicas entre ellos, estos enfoques ofrecen ideas más holísticas y críticas de las relaciones entre la ciencia y la tecnología con muchos de los desafíos personales, sociales y medioambientales a los que se enfrenta la humanidad, y que en la enseñanza se pueden utilizar para contribuir a un mundo más justo y respetuoso con el medio ambiente (Bencze *et al.*, 2020).

Este capítulo se centra en el enfoque de las cuestiones socio-científicas (en adelante CSC, utilizado tanto para el plural como el singular) intentando mostrar un panorama de su situación actual en la didáctica de las ciencias que sea útil para investigadores y docentes noveles. En primer lugar, se delimita el concepto de CSC, pasando después a analizar sus aportaciones más destacadas a la educación científica. En tercer lugar, se describen aspectos importantes para el diseño y el tratamiento de CSC en el aula de ciencias (objetivos, temáticas, metodologías y recursos) y los desafíos que plantea su enseñanza. Se finaliza con algunas implicaciones para la investigación y la enseñanza de CSC.

LAS CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Con esta denominación en el ámbito de la didáctica de las ciencias nos referimos a problemas reales, complejos y sin resolver, que están intrínsecamente vinculados a la intersección entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. Algunos ejemplos de CSC son: el cambio climático, los alimentos transgénicos, la clonación, la energía nuclear, la inteligencia artificial o el uso de pesticidas.

Aunque existe acuerdo sobre la naturaleza y sus características más relevantes, en la literatura se puede encontrar diferentes definiciones que ponen el acento en algunas de ellas. En la Tabla 17.1 se muestran algunas de las más utilizadas en la literatura, resaltando en cursivas las características que incluyen.

Tabla 17.1. Algunas definiciones del concepto «cuestión sociocientífica».

DEFINICIÓN	AUTORES
Problemas relacionados con ciencia y sociedad que denota la <i>compleja relación que existe entre ambas</i> y que normalmente surgen cuando <i>existe una diferencia de opiniones o desacuerdos entre periodistas, ciudadanos y científicos.</i>	Kolstø (2001)
<i>Problemas sociales</i> en los que la causa, la posible vía de solución, o ambas cuestiones, recaen en <i>alguna aplicación del conocimiento tecnocientífico.</i>	Oulton, Dillon y Grace (2004)
<i>Cuestiones sociales controvertidas con vínculos conceptuales y/o de procedimiento con la ciencia.</i> Son además <i>complejas, abiertas que carecen de soluciones simples y directas.</i>	Sadler (2004)
Cuestiones que <i>no están decididas ni por la ciencia ni por la sociedad</i> , que <i>están abiertas y suscitan debates y controversias</i>	Legardez y Simonneaux (2006)
Dilemas o controversias sociales que tienen en su base nociones científicas pero que además <i>se relacionan con otros campos: sociales, éticos, políticos y ambientales</i> , requiriendo <i>análisis interdisciplinarios</i> para la toma de decisiones.	Jiménez-Aleixandre (2010) Solbes y Torres (2012)
Problemas controvertidos con una <i>profunda conexión social y científica</i> , que <i>generan incertidumbre</i> y se manifiestan en <i>discusiones entre diversos sectores sociales</i> , enfatizando su naturaleza de <i>ciencia en construcción.</i>	Zeidler (2014)

Tomando en consideración todas ellas podemos plantear una definición de CSC en los siguientes términos:

Son cuestiones sociales en las que se muestran las complejas relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad. Su carácter abierto, sin soluciones simples ni directas, generan incertidumbre en la sociedad y suscitan discusiones, debates y controversias importantes en muchos casos. Su abordaje requiere enfoques interdisciplinares ya que se relacionan con otros muchos campos: sociales, éticos, económicos, políticos y ambientales y demandan la toma de posiciones de la ciudadanía, de forma individual o colectiva.

Se utilizan diferentes denominaciones para referirse a este campo, Los términos «cuestiones», «controversias», «problemas» o «dilemas» suelen usarse de forma intercambiable. La elección del término depende del tipo de cuestión/problema concreto y del matiz que se quiera dar. Así, el término controversia hace referencia a cuestiones sobre las que existe un desacuerdo o debate público y, en algunos casos, polarizado (Díaz-Moreno y Jiménez-Liso, 2012). Por ejemplo, el debate sobre los alimentos transgénicos (España-Ramos y Rueda-Serón, 2023) o el cambio climático (Kurup *et al.*, 2021). Cuando estas cuestiones implican controversias que se mencionan constantemente en los medios de comunicación y las redes sociales se conocen también como cuestiones socialmente (Legardez y Simonneaux, 2006).

Consideramos que «cuestiones» o «problemas» (en inglés *socioscientific issues-SSI*), son quizás más comunes y abarcadores ya que pueden incluir tanto las controversias como otros tipos de cuestiones o problemas en las que se necesita análisis y toma de decisiones, aunque no susciten controversias relevantes. Por ejemplo, la promoción de la sostenibilidad o la necesidad de tomar decisiones informadas sobre el uso de una tecnología.

APORTACIONES DE LAS CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS A LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

En lo que llevamos del presente siglo las CSC se han convertido en un tema muy relevante en la didáctica de las ciencias, lo que se pone de manifiesto en diferentes revisiones realizadas al respecto (por ejemplo, Badeo y Duque, 2022; Díaz-Moreno y Jiménez-Liso, 2012; Högström *et al.*, 2025; Sadler, 2004, 2009; Viehmann *et al.*, 2024 y Zeidler, 2014). La vasta literatura al respecto identifica numerosas aportaciones de la enseñanza de CSC a la educación científica. En este apartado nos centraremos en la contribución al desarrollo de la alfabetización científica y del pensamiento crítico. Más adelante se mencionarán otras más específicas que se derivan de estos dos aspectos.

Existe consenso en que la enseñanza de CSC fomenta el desarrollo de la alfabetización científica (Zeidler, 2014), pero dadas las numerosas formas en que se ha definido este concepto, es necesario precisar a cuáles de ellas nos estamos refiriendo. Una categorización potencialmente muy útil es la de Roberts (2007), quien organiza las diferentes formas de entender la alfabetización científica en dos visiones. La Visión I se centra en «el canon de la ciencia natural ortodoxa, es decir, los productos y procesos de la ciencia en sí misma» (Roberts, 2007, p. 703), mientras que la Visión II lo hace en «situaciones con un componente científico, con las que los estudiantes probablemente se encontrarán como ciudadanos» (ibíd.). La aportación de la enseñanza de CSC se relaciona con la Visión II y con la que se ha denominado alfabetización científica funcional, es decir, la capacidad de aplicar conceptos científicos en contextos del mundo real (Ryder, 2001).

En los últimos años se ha puesto de manifiesto que las Visiones I y II carecen de énfasis en la acción sociopolítica y en los valores, que son esenciales para tomar decisiones informadas desde el punto de vista moral y ético, un objetivo destacado en muchos planes de estudios de ciencias en todo el mundo (Sjöström *et al.*, 2017). Esta laguna ha dado lugar a la aparición de una definición más amplia de la alfabetización científica, que introduce una Visión III que destaca la importancia de formar a los estudiantes como ciudadanos globales mediante el desarrollo de sus perspectivas socioculturales y sociopolíticas, sus valores y sus acciones (Sjöström, 2025). Acevedo (2006) afirma que las controversias en torno a las cuestiones tecnocientíficas sirven como demostraciones claras de la relación entre la educación en valores y la educación científica. España y Prieto (2009, 2010) resaltan la im-

portancia del tratamiento de CSC, como el cambio climático, para educar para la sostenibilidad. En estrecha relación con esta Visión III de la alfabetización científica, la enseñanza CSC se ha descrito como una forma de promover la ciudadanía (Chowdhury *et al.*, 2020).

La enseñanza de CSC se considera también un ámbito privilegiado para el desarrollo del pensamiento crítico (véase capítulo 13). Solbes (2013) afirma que, aunque la ciencia es metodológicamente crítica en sí misma, su enseñanza tiene que abordar CSC para que pueda desarrollar el pensamiento crítico y actuar socialmente. Existe amplia evidencia sobre su contribución en tal sentido (Dusturia *et al.*, 2024, Fitriyani *et al.*, (2025). Para ello, se están llevando a cabo esfuerzos para caracterizar el pensamiento crítico en el contexto de las CSC (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2022; Solbes y Torres 2012; Vieira *et al.*, 2011,) y proponer modelos para desarrollar propuestas de enseñanza (Puig *et al.*, 2023; Vila *et al.*, 2023). Desde el grupo de investigación ENCIC de la Universidad de Málaga (www.encic.es) hemos desarrollado el modelo «ENCIC-CT» (CT, del inglés critical thinking) (Franco-Mariscal *et al.*, 2024) que consta de cuatro componentes clave: problemas de la vida cotidiana/CSC; dominios y dimensiones, prácticas científicas y estrategias de enseñanza. Cada componente se representa como una capa, que muestra varios niveles de conceptualización del pensamiento crítico y su enseñanza. Este modelo se ha aplicado al desarrollo de propuestas didácticas centradas en un buen número de CSC (Franco-Mariscal, 2024).

LAS CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Recientes revisiones sistemáticas como la Högström *et al.* (2025), de publicaciones en inglés del periodo 1997-2021, y la de Viehmann *et al.*, (2024), de publicaciones en inglés y en español del 2013-2023, permiten formarse una imagen comprensiva sobre cómo se está llevando a cabo el tratamiento de las CSC en la enseñanza de las ciencias, fundamentalmente en la educación primaria y secundaria. Para ello, en este apartado se presentan los objetivos de la enseñanza de CSC, los tópicos y problemas que más se han tratado, los métodos y recursos más utilizados y orientaciones para el diseño y desarrollo en el aula de propuestas didácticas. Finalmente, se analizan los desafíos que conlleva su aplicación en el aula.

Objetivos de la enseñanza de cuestiones sociocientíficas

La enseñanza de CSC aborda una amplia tipología de objetivos que pueden organizarse en seis categorías (Högström *et al.*, 2025): capacidad de tomar decisiones informadas; aprendizaje de contenidos científicos; capacidad de argumentación; de comunicación; aprendizaje de la naturaleza de la ciencia; y el fomento de la

participación democrática. Estos objetivos están estrechamente relacionados con la alfabetización científica y el desarrollo del pensamiento crítico.

Se pretende, en primer lugar, que los estudiantes participen en la toma de decisiones relacionadas con la CSC específica que se está abordando en el aula y, a más largo plazo, ofrecer a los estudiantes herramientas que puedan utilizar cuando se enfrenten a otras CSC en sus vidas futuras. La toma de decisiones informadas conlleva, entre otros aspectos, adoptar perspectivas y debatir y negociar con otras personas posibles alternativas y consecuencias. También es importante que los estudiantes identifiquen y utilicen los conocimientos científicos como parte esencial de su razonamiento.

El aprendizaje de contenidos científicos es otro objetivo importante de la enseñanza de CSC y la evidencia muestra que los estudiantes los aprenden (Badeo y Duque, 2022). Sin embargo, hay casos en los que el conocimiento de contenidos científicos, a pesar de ser esencial para la CCS en sí misma, no aparece como un objetivo destacado en algunos estudios. El conocimiento científico que se destaca principalmente es el conocimiento esencial para el razonamiento de los estudiantes sobre la CCS abordada. A este respecto es importante diferenciar entre la enseñanza de una CCS como contexto de construcción o como contexto de aplicación de conocimientos ya adquiridos en otro problema o contexto diferente. En el primer caso, la secuencia didáctica tiene que prestar atención a la construcción de dichos conocimientos.

El desarrollo de la argumentación suele describirse como fundamental en el enfoque CSC (Högström *et al.*, 2025) ya que, independientemente de si los argumentos se centran en hechos o valores, constituyen la base de nuestro razonamiento y nuestra capacidad para explicar cómo pensamos sobre un tema y por qué lo hacemos de esa forma. La enseñanza de CSC puede centrarse en la estructura de los argumentos, en su contenido o en ambos. En algunos estudios se destaca la importancia de que los alumnos sean conscientes y capaces de formular contraargumentos y refutaciones (por ejemplo, García-Pérez *et al.*, 2025).

La comunicación se refiere a dos aspectos diferentes en la enseñanza y el aprendizaje de CSC: a) a la capacidad de los estudiantes para comunicarse entre sí y con el profesor de una manera cómoda y significativa en el marco de una enseñanza basada en el debate; y b) a crear oportunidades para que los estudiantes conozcan a otras personas o utilicen canales de información y de contactos fuera de la escuela para compartir sus conocimientos y experiencias, o para el activismo (Cebrián-Robles *et al.*, 2021). Muy relacionada con esta segunda dimensión de la comunicación, se destaca la participación democrática como un objetivo que se comunica o se hace visible a los estudiantes para que puedan comprender cómo está organizada la sociedad y qué oportunidades tienen como ciudadanos para influir en diversos procesos y decisiones. La enseñanza también puede incidir en el fomento del valor y la voluntad de los estudiantes para acercarse a diferentes sectores relevantes en la CSC tratada (investigadores medios de comunicación, asociaciones ciudadanas o

profesionales, administraciones, empresas privadas, etc.), con el fin de acceder a sus conocimientos, intereses y perspectivas, o para influir en las políticas de la vida real.

La enseñanza de CSC hace hincapié en la importancia de desarrollar la comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia (véase capítulo 7) con relación a la CSC que esté tratando. Puede ser necesario abordar, por ejemplo, cómo deben evaluarse las incertidumbres al analizar las consecuencias futuras del problema estudiado. Una característica de las CSC es que las pruebas o los conocimientos son incompletos e inciertos, especialmente cuando el conocimiento involucrado sigue formando parte de la vanguardia de la investigación científica o tecnológica.

Cuestiones sociocientíficas objeto de enseñanza

Las CSC más abordadas en la enseñanza de las ciencias pueden incluirse en cuatro áreas generales de conocimiento (Högström *et al.* 2025 y Viehmann *et al.*, 2024):

- a) Medio ambiente y el desarrollo sostenible: cambio climático (gases de efecto invernadero, calentamiento global, etc.); ecosistemas saludables y conservación de especies; energía y recursos; energías renovables; control de residuos; producción y consumo de carne; contaminación del aire, suelo y aguas; pérdida de biodiversidad; amenazas al equilibrio ecológico o uso de la tierra o el agua para obtener materiales o energía.
- b) Genética: modelos genéticos; células y herencia; ingeniería genética; productos modificados genéticamente o desextinción de especies.
- c) Salud: fabricación, uso y efectos de productos nocivos (gas de la risa, nano partículas, glifosatos, etc.); enfermedades infecciosas como el VIH/SIDA o la COVID-19; impactos, beneficios o riesgos del consumo de alimentos específicos; tratamientos médicos o enfermedades específicas.
- d) Tecnología: riesgos asociados a la radiación procedente de soluciones técnicas en la sociedad, elección y uso dispositivos tecnológicos, inteligencia artificial, etc.

Estas cuatro áreas subrayan la relevancia de los retos globales contemporáneos que los estudiantes deben abordar de forma crítica. La mayoría de los estudios se centran en una de ellas, pero también los hay que pueden ser relevantes en varias. Hay casos en los que el punto de partida es una CSC local, lo que se denomina CSC basada en la comunidad. En otros casos la enseñanza de CSC parte del concepto de desarrollo sostenible que pueden debatirse desde una perspectiva medioambiental y/o sanitaria. Sin embargo, Högström *et al.* (2025) muestran que la enseñanza más común tiende a centrarse en los aspectos medioambientales.

En la Tabla 17.2 se recoge una selección de estudios que incluyen propuestas didácticas para la enseñanza de CSC realizadas por miembros del grupo de investigación ENCIC, que ilustran un buen número de CSC concretas relativas las áreas generales antes citadas. No obstante, para más información sobre CSC abordadas en la enseñanza y en la formación del profesorado pueden consultarse las revisiones de Díaz-Moreno y Jiménez-Liso (2012), Högström *et al.* (2025) y Viehmann *et al.* (2024).

Metodologías y recursos

En la enseñanza de CCS se emplea una variedad de metodologías y recursos. Högström *et al.* (2025) destacan las siguientes: debates estructurados o no, juegos de rol, indagación, proyectos de los estudiantes, y relaciones con personas externas al aula. Por su parte Viehmann *et al.*, (2024) mencionan la indagación sociocientífica, seguido del aprendizaje basado en el contexto, en problemas o en casos y, en mucha menor extensión, el aprendizaje basado en modelos.

Los recursos digitales son muy utilizados en la enseñanza de CSC (Högström *et al.*, 2025). Ejemplos de ellos son los materiales de realidad aumentada, herramientas de visualización o juegos de aprendizaje. Además de estos cabe resaltar también la cartografía de controversias (España-Naveira *et al.*, 2023), los micro debates (Bernal-Herrera *et al.*, 2023), los dilemas (Hierrezuelo-Osorio *et al.*, 2022) y los juegos de rol (Franco-Mariscal *et al.*, 2023), como recursos muy utilizados en los trabajos recogidos en la Tabla 17.2.

Orientaciones para el diseño y desarrollo de la enseñanza

A pesar de la amplia literatura sobre la enseñanza de CSC, no existen muchos esquemas y herramientas para ayudar al diseño y su implementación en el aula. Con esta finalidad Presley *et al.* (2013) han desarrollado un esquema compuesto de tres capas concéntricas. En la primera sitúan tres aspectos centrales: elementos de diseño, experiencias de los alumnos y requisitos para el profesorado, que, en conjunto, se ven determinados por las otras dos capas. La intermedia referida al ambiente del aula, y la más externa por elementos periféricos como la escuela/el distrito, la comunidad y las políticas educativas estatales/nacionales.

Tabla 17.2. Relación de artículos que incluyen propuestas didácticas para la enseñanza de CSC en la educación secundaria o en la formación del profesorado.

CUESTIÓN SOCIOCIENTÍFICA	DESTINATARIOS	ESTUDIO
Consumo de azúcar/ Vacunación	Estudiantes de 16-18 años	García-Pérez <i>et al.</i> (2025).
Desextinción de especies	Estudiantes de 15-16 años	Ruiz-González <i>et al.</i> (2025)
Problemáticas asociadas a las masas de agua de un municipio	Profesorado en activo de infantil y primaria	Ramos-Solano <i>et al.</i> (2024)
Productos naturales vs sintéticos	Estudiantes de 14-16 años	Caracuel-González <i>et al.</i> (2024)
Alimentos transgénicos	Estudiantes de secundaria/ Profesorado de ciencias en formación inicial (secundaria)	España-Ramos y Rueda-Serón (2023)
Uso de la energía nuclear	Profesorado en formación inicial (primaria)	Cruz-Lorite <i>et al.</i> (2022, 2023) Cebrián-Robles <i>et al.</i> (2018)
Uso de plásticos	Profesorado de ciencias en formación inicial (secundaria) Estudiantes de 12-16 años	Salcedo-Armijo <i>et al.</i> (2023) López-Fernández <i>et al.</i> (2022, 2023)
Modelo dominante de producción y consumo de carne	Profesorado en formación inicial (infantil y ciencias en secundaria) Estudiantes de secundaria (13-14 años)	Cruz-Lorite <i>et al.</i> (2025) Cabello-Garrido <i>et al.</i> (2023)
Compra de una bicicleta	Profesorado de ciencias en formación inicial (secundaria)	Bernal-Herrera <i>et al.</i> , (2023)
Lactancia humana	Profesorado en formación inicial (primaria)	Palma-Jiménez <i>et al.</i> (2025)
COVID-19	Profesorado en formación inicial (primaria)	García-Ruiz <i>et al.</i> (2022)
Compra de un coche	Estudiantes de secundaria (14-15 años)	Moreno-Fontiveros <i>et al.</i> (2016)
Implantación de una luna artificial/Coches autónomos/ Consumo de azúcar/ Dieta vegana	Profesorado en formación inicial (infantil y ciencias en secundaria)	Hierrezuelo-Osorio <i>et al.</i> (2022)
Consumo de agua embotellada versus agua del grifo	Estudiantes de secundaria (14-15 años)	Rodríguez-Mora y Blanco-López (2021)
Construcción de una central salina	Profesorado en formación inicial (infantil, primaria y secundaria)	Cebrián-Robles <i>et al.</i> (2021)
Publicidad sobre alimentación	Estudiantes de secundaria (14-15 años)	Girón-Gamero <i>et al.</i> (2015)
Calentamiento global	Profesorado de ciencias en formación inicial (secundaria)	España-Ramos <i>et al.</i> (2013)

Aspectos centrales

En la Tabla 17.3 se muestran los aspectos que Presley *et al.* (2013) consideran centrales a la hora de pensar en la enseñanza de CSC. Tanto para el diseño como para las experiencias de los estudiantes, estos autores consideran que existen elementos imprescindibles para que la enseñanza recoja las características relevantes de las CSC y otros que pueden ser recomendables. En el caso del profesorado, distinguen dos dimensiones importantes: la familiaridad con la CSC tratada y su papel en este tipo de enseñanza.

Tabla 17.3. Aspectos centrales en el diseño y desarrollo de propuesta de enseñanza de CSC
(Adaptado de Presley *et al.*, 2013).

A. ELEMENTOS DE DISEÑO	
IMPRESINDIBLES	RECOMENDADOS
(1) Centrarse en un problema convincente, socialmente apasionante que tenga fuertes vínculos con la ciencia y/o la tecnología. (2) Presentar el problema al principio de la enseñanza (para que sirva como contexto real para el aprendizaje) (3) Proporcionar ayudas para la práctica de habilidades de orden superior (argumentación, toma de decisiones, análisis crítico de la información, etc.) (4) Proporcionar una experiencia de culminación (juegos de rol, debates, proyectos, etc.), que ofrezca la oportunidad de integrar lo aprendido, reflexionar sobre su experiencia y utilizar habilidades de orden superior.	(1) Usar los medios de comunicación para conectar las actividades de clase con el mundo real (por ejemplo, artículos de prensa o la televisión para acceder a información reciente sobre el problema tratado). (2) Usar tecnología para facilitar las experiencias de aprendizaje de los estudiantes (por ejemplo, para establecer redes con otros estudiantes o expertos en diferentes lugares).
B. EXPERIENCIAS DE LOS ESTUDIANTES	
IMPRESINDIBLES	RECOMENDADOS
(1) Involucrarse en prácticas de habilidades de orden superior. (2) Confrontar ideas y teorías científicas relativas al problema tratado (por ejemplo, realizando alguna investigación u oyendo argumentos opuestos). (3) Recoger y/o analizar datos científicos relativos al problema tratado (4) Analizar la dimensión social del problema.	(1) Confrontar los aspectos éticos del problema, aprendiendo a manejar las tensiones que aparecen cuando se discuten estos aspectos (2) Considerar la naturaleza de los aspectos de la ciencia relacionados con el problema. Por ejemplo, la incertidumbre, la provisionalidad del conocimiento científico, así como a las influencias socioculturales sobre la ciencia.
C. REQUISITOS PARA DEL PROFESORADO	
FAMILIARIDAD CON EL PROBLEMA	PAPEL DEL PROFESORADO
(1) Conocer el contenido científico relacionado con el problema, pero no se espera que lo sepa todo (2) Ser consciente de las consideraciones sociales del problema,	(1) Honestidad acerca de las limitaciones del conocimiento. (2) Mostrarse a sí mismo como un contribuidor al conocimiento más que como la única autoridad. (3) Asumir la incertidumbre y transformarla en experiencias de aprendizaje potentes y atractivas para los alumnos.

El ambiente de clase

El entorno del aula constituye la segunda capa del esquema, conformada por factores que influyen significativamente en los aspectos centrales ya mencionados. Las características esenciales del entorno del aula para apoyar y dar forma a la enseñanza de CSC incluyen:

- a) Altas expectativas de participación de los estudiantes, creando un entorno que les permita sentirse cómodos.
- b) Entorno colaborativo e interactivo, incentivando la realización de debates grupales, presentaciones y argumentaciones que fomenten una participación más significativa y promueva la responsabilidad de los estudiantes.
- c) Que los estudiantes y los profesores se respeten mutuamente y se sientan seguros ya que, a menudo, necesitan debatir temas controvertidos.

Desarrollar un ambiente de clase con estas características lleva tiempo y requiere un esfuerzo importante por parte del profesor y una aceptación significativa por parte de los estudiantes.

Elementos periféricos

Otras influencias conforman la tercera y última capa del esquema Presley *et al.* (2013). Las influencias de la escuela, de la comunidad, así como las políticas educativas estatales y nacionales pueden afectar a la enseñanza de CSC. El apoyo y estímulo a los profesores que la implementan, el acceso a materiales didácticos basados en CSC, la flexibilidad del currículum que permite a los profesores adaptar la enseñanza o las conexiones entre las propuestas de enseñanza y los objetivos curriculares son aspectos importantes en este sentido. Por otro lado, para la implementación de este tipo de enseñanza son elementos relevantes la existencia y conocimiento de los problemas de la comunidad local, para impulsar propuestas didácticas basadas en CSC, y las estrategias para negociar las preocupaciones o el rechazo de los miembros de la comunidad respecto a la enseñanza de CSC.

Desafíos para la enseñanza de cuestiones sociocientíficas

A pesar de las ventajas educativas descritas anteriormente, y las evidencias del notable impacto de la enseñanza de CSC en el aprendizaje (Badeo y Luque, 2022), la literatura muestra que todavía no es un enfoque muy extendido en la práctica de la enseñanza de las ciencias. Esto se relaciona con la existencia de desafíos que

proviene de cuatro ámbitos (Viehmann *et al.*, 2024): la práctica docente, la formación del profesorado, los estudiantes y los currículos (Tabla 17.4).

Tabla 17.4. Desafíos para la introducción o el uso de CSC en la enseñanza de las ciencias (adaptada de Viehmann *et al.*, 2024).

ÁMBITO	DESAFÍOS
Práctica docente	Resistencia al cambio del discurso monológico al dialógico a pesar de los intentos de formación y desarrollo profesional realizados.
	Dificultades para abordar los valores y creencias personales y los aspectos éticos de la ciencia.
	Limitados conocimiento o comprensión de las causas y consecuencias de las CSC en toda su complejidad.
Formación del profesorado	Falta de asociación explícita de las CSC con las competencias curriculares en los planes de formación del profesorado.
	Falta de vinculación de las CSC con los conceptos científicos en la formación del profesorado.
	Falta de preparación para abordar cuestiones emocionales en la formación del profesorado, lo que se traduce en falta de concienciación de los docentes sobre las emociones que pueden generar en los estudiantes los temas controvertidos.
Los estudiantes	Falta de conocimientos previos o básicos sobre CSC e insuficiente alfabetización mediática.
	Falta de profundidad intelectual en cuestiones sociales (multiculturalismo, derechos humanos, justicia social, etc.).
	Insuficiente alfabetización emocional (falta de habilidades emocionales para involucrarse en situaciones de aprendizaje estresantes).
El currículum	Un enfoque disciplinario de la enseñanza de las ciencias (exámenes exigentes desde este enfoque) que no incorporan las CSC o que, en su caso, solo les otorgan un papel marginal.
	Escasa atención al concepto de riesgo futuro o consecuencias futuras en la enseñanza de las ciencias en la escuela.
	No se centran en la acción con formación científica, entendida como la capacidad de aprovechar múltiples áreas relevantes del conocimiento y de la práctica para informar acciones responsables sobre CSC,

CONSIDERACIONES FINALES

El panorama expuesto en las páginas anteriores pone de manifiesto la importancia que el tratamiento de CSC tiene actualmente en la educación científica. Puede considerarse un ámbito de investigación y desarrollo consolidado. Existe un amplio consenso y evidencias sobre sus aportaciones a una alfabetización científica destinada a empoderar a la ciudadanía para que se involucre en los grandes problemas y desafíos planteado hoy día y sea capaz de tomar decisiones responsables utilizando la evidencia científica disponible en cada momento. También se valora su aportación al desarrollo del pensamiento crítico (Puig *et al.*, 2023).

Pero a pesar de estas aportaciones y de la vasta literatura sobre la enseñanza de CSC su utilización en las aulas de ciencia y en la formación del profesorado dista de ser generalizada. El conjunto de desafíos, descritos anteriormente están actuando como barreras para esta generalización, particularmente los relativos a la formación del profesorado y a la escasa consideración en los currículos y en las políticas educativas a las CSC.

En el ámbito de la enseñanza hay que reconocer la falta de herramientas y metodologías para integrar de manera efectiva el aprendizaje emocional, los valores, y el reconocimiento de las perspectivas diversas en el aula. Esta brecha resalta una necesidad crítica de innovación continua y colaboración entre la investigación y las prácticas educativas (Viehmann *et al.*, 2024). También se considera necesario profundizar en las relaciones entre los objetivos de enseñanza y la aplicación de CSC en el aula, desarrollar nuevas CSC a enseñar, y utilizar métodos de enseñanza en consonancia con una educación y una sociedad en constante evolución (Högström *et al.*, 2025). En este sentido no podemos obviar el papel que está adquiriendo la inteligencia artificial en la ciencia (Erduran, 2023) y, como no, en la educación científica (Jia *et al.*, 2023). La enseñanza de CSC puede jugar un papel importante al respecto, aunque todavía es un área poco explorada. En el proyecto al que pertenece este trabajo se ha comenzado a investigar las posibilidades de la inteligencia artificial en la formación inicial del profesorado para la incorporación de las CSC a la enseñanza de las ciencias (Cebrián-Robles, 2025).

En definitiva, consideramos que la mejora de la enseñanza de CSC permitirá abordar mejor los retos complejos y multifacéticos a los que se enfrenta o se enfrentará la ciudadanía, y promover que la educación científica evolucione para satisfacer las necesidades de un mundo cada vez más dinámico e interconectado (Viehmann *et al.*, 2024).

Agradecimientos. Esta publicación forma parte del proyecto I+D PID2024-156217NI-I00 "Critical Education on Socioscientific Issues in Pre-service Science and Technology Teacher Training: Applications of Artificial Intelligence Assistants (CESSAI)", financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/Agencia Estatal de Investigación (MICIU/AEI/10.13039/501100011033) y cofinanciado por la Unión Europea (FEDER).

Capítulo 18. ¿Primero explico y luego aplico? No, la indagación es la enseñanza "del revés"

M. Rut Jiménez-Liso, María Martínez-Chico, Lorenzo Hernández-Villalobos, Jara García-Ruiz,
Luis Delgado-Mayoral y Manuela González-Herrera
Grupo Sensociencia. Universidad de Almería
Contacto: mrjimene@ual.es

*No es lo mismo ser que estar.
No es lo mismo estar que quedarse, ¡qué va!
Tampoco quedarse es igual que parar.
No es lo mismo.
Alejandro Sanz*

INTRODUCCIÓN

El estribillo anterior resuena en nuestras cabezas conforme planteamos este capítulo, pues son numerosas las veces que nos encontramos con propuestas de enseñanza que llevan la etiqueta de “indagación”, algunas de ellas citando lo que hemos descrito en *Sensociencia* sobre el enfoque de enseñanza por indagación, tanto desde la perspectiva de lo que debe hacer el alumnado (López-Gay *et al.*, 2020; Martínez Chico *et al.*, 2014), como para el profesorado (Castillo-Hernández *et al.*, 2020; Jiménez-Liso, 2020). Sin ánimos de calificarlas, siempre pensamos “no es lo mismo”. Las diferencias no radican en que bajo el paraguas de indagación caben muchas perspectivas (Pedaste *et al.*, 2015) ni en la propia polisemia del término (Barrow, 2006), eso es normal cuando queremos etiquetar una propuesta o material para el aula, sino en perspectivas muy diferenciadas de cómo entendemos la enseñanza. En este capítulo, queremos proponer un análisis de las diferencias que encontramos entre nuestra propuesta de enseñanza por indagación del grupo *Sensociencia*, con otras propuestas de indagación también válidas, fundamentadas y útiles tanto para el alumnado como para la formación de docentes.

Este capítulo va dirigido a docentes y nos vamos a centrar en la utilidad para la formación de docentes, pues nosotros, los formadores de docentes, también somos docentes y somos quienes debemos reflexionar y revisar sistemáticamente nuestra propia práctica docente, con el objetivo de que ello repercuta en la mejora del aprendizaje de las ciencias de nuestro alumnado y, ¿por qué no?, en un bienestar y satisfacción continuos con nuestra labor profesional.

Para ello, vamos a comenzar con un apartado describiendo la propuesta de enseñanza por indagación del grupo *Sensociencia*, con un tópico concreto para destacar las ventajas contrastadas en la literatura didáctica de este enfoque de enseñanza. Nos resulta muy difícil separar la indagación de la modelización y, de hecho, destacaremos

algunas diferencias que provienen de esta segunda metodología, pero animamos a los lectores y lectoras a visitar el capítulo dedicado a ello en este mismo libro.

Hacemos un inciso relacionado con Javier Perales, a cuya trayectoria está dedicado este manual de Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE en adelante), porque la primera vez que escuché (Rut Jiménez) el término “modelo mental” fue en los XX Encuentros de DCE en La Laguna donde Marco Antonio Moreira nos explicó las diferencias entre modelo mental, representación y modelos conceptuales (Moreira, 2002). Recuerdo que durante la ponencia estaba sentada al lado de Javier Perales y le pregunté qué diferencia había con las concepciones alternativas, lo que nos dio para un interesante debate entre ambos y un “no es lo mismo”. Nunca pensé que veintitrés años después iba a ser tan importante para nuestro grupo *Sensociencia* conectar la modelización y la progresión de esos modelos iniciales, con nuestra forma de entender la indagación.

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS POR INDAGACIÓN

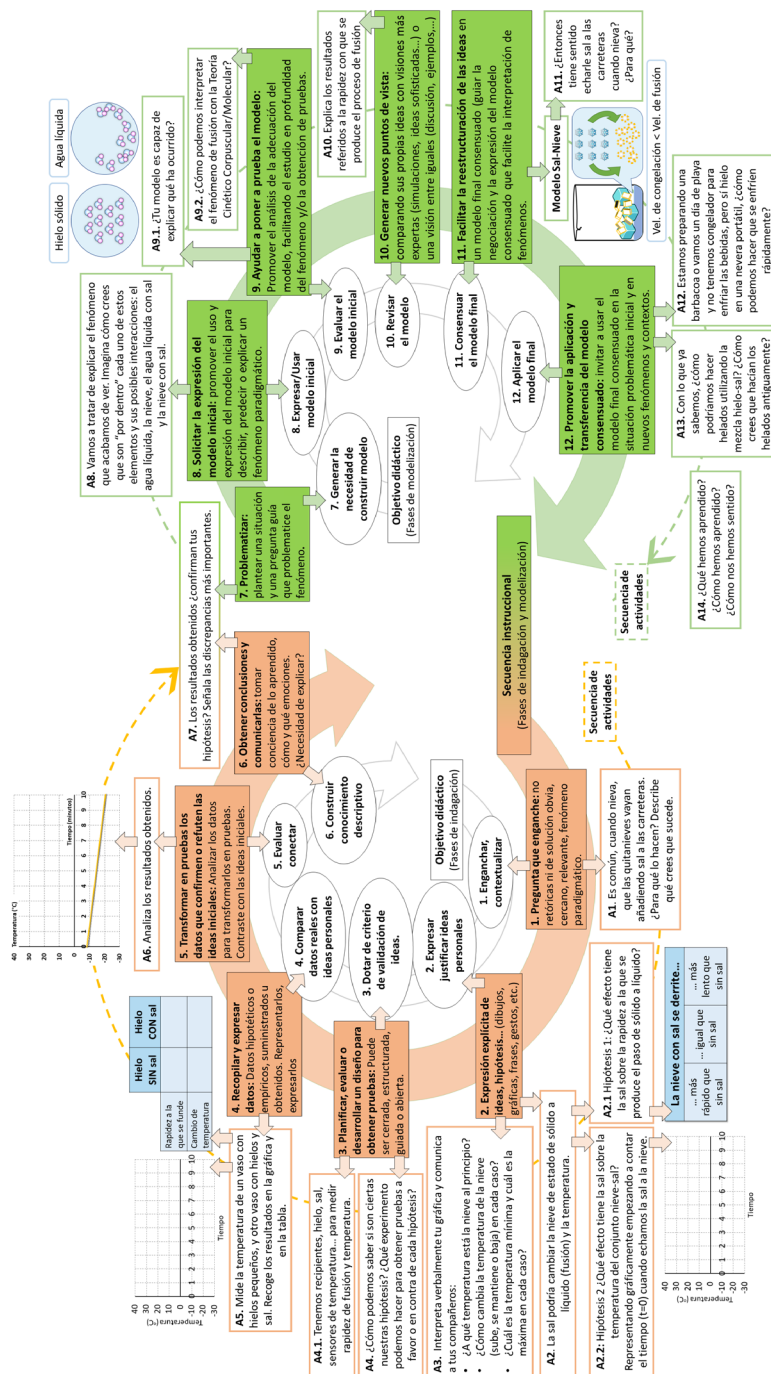
En el grupo *Sensociencia*, gracias a las conversaciones con el grupo del CRECIM-UAB (Garrido y Couso, 2025) hemos construido una herramienta de diseño para docentes e investigadores que destaca, por un lado, el objetivo didáctico (óvalos blancos) de cada fase de la indagación y, por otro lado, la secuencia instruccional a seguir (rectángulos naranjas) sobre el que hemos añadido la secuencia de actividades en rectángulos blancos con bordes discontinuos en naranja (ver Figura 18.1). Podemos pensar que si ya tenían un ciclo similar en el CRECIM-UAB, que incluía el testar (probar) los modelos iniciales del alumnado, ¿para qué necesitábamos otro de indagación? La respuesta nos la dio la propia formación inicial de docentes, necesitábamos diferenciar claramente el objetivo didáctico de cada práctica científica. Podemos pensar que los dos ciclos son idénticos, o que cada uno incluye algo del otro, pero... *no es lo mismo*, pues en cada caso estamos poniendo el foco en un aspecto diferente: el ciclo de indagación se centra “exclusivamente” en el conocimiento descriptivo (en lo observable), mientras que el ciclo de modelización lo hace en el conocimiento explicativo (en la progresión de modelos). ¿Por qué es tan importante hacer esta diferenciación? Hace años que detectamos que para que se genere la necesidad de construir un modelo no basta con contextualizar bien la secuencia, sino que necesitamos ampliar el conocimiento descriptivo del alumnado quienes, por ejemplo, desconocen que el caldo de lombarda cambia de color al añadir ácidos o bases (Jiménez-Liso *et al.*, 2010) o cuál es la variación de las horas de luz solar a lo largo del año. Sin este conocimiento es imposible que detecten insatisfacción con sus modelos iniciales sobre Sol-Tierra (Marquez-Fernandez *et al.*, 2025).

¿Por qué es para nosotros importante desgranar el ciclo de indagación en seis fases (reiterativas si fuera necesario)? La respuesta ahora es puramente didáctica, pues

cuando indicamos que los pasos imprescindibles para que suceda indagación son la expresión de ideas y la búsqueda de pruebas (Castillo-Hernández *et al.*, 2020), comprobamos que algunos docentes o investigadores identifican:

- la expresión de ideas con pasar cuestionarios de concepciones alternativas, para SONSACAR información que solo sirve para interrumpir la secuencia de aprendizaje del alumnado, para que piensen o sientan que están equivocados y para que la próxima vez intenten “acertar” las respuestas. La finalidad de la expresión de ideas es para que todos escriban lo que piensan, comprueben socialmente que sus compañeros tienen ideas similares, enriquezcan las ideas propias con comentarios ajenos e, incluso, les llame la atención ideas opuestas. Esto es imposible realizarlo con un cuestionario individual y en silencio, mientras que sí se consigue planteando una pregunta no académica ni obvia. Y esto conlleva pensar bien la pregunta, en la Figura 18.1, tuvimos que decidir si preguntar ¿por qué se echa sal a la nieve? (explicativo) o ¿para qué?, que genera ideas sobre que al añadir sal la nieve se derrite y se calienta (descriptivo).
- Ese es el auténtico caldo de cultivo para que la siguiente fase tenga sentido: COM-PROBARLO. Incluimos tres pasos en el ciclo de indagación para la búsqueda de pruebas para destacarlos, para que no pasen desapercibidos porque los tres generan que todo el ciclo tenga sentido: planificar, evaluar diseños experimentales para que la obtención de datos tenga sentido y su transformación en pruebas.

Figura 18.1. Actividades de la SEA Sal-Nieve en los ciclos de indagación (naranja, Jiménez-Liso, 2020) y modelización (verde, Couso *et al.*, 2020).



Nos detenemos en la fase 2 de expresión de ideas, pues la diversidad de lenguajes utilizados (oral, escrito, gráfico, etc.), además de permitir la reflexión individual y grupal sobre lo que realmente piensan (no solo lo que recuerdan haber aprendido) está aumentando la oportunidad y el acceso al aprendizaje de alta calidad de todos y todas los estudiantes, favoreciendo la equidad (Gray & Campbell, 2025). Esto ocurrirá en toda la secuencia de indagación y modelización si como docentes procuramos no dejar a nadie atrás y le hacemos ver que su idea no sólo cuenta sino que es necesaria para todo el grupo.

En este apartado hemos resumido la propuesta del grupo Sensociencia sobre indagación. De igual manera que en el libro *Enseñando Ciencia con Ciencia* indicamos los consensos de la investigación en DCE y los Edu-Mitos (Couso *et al.*, 2020), a continuación queremos comentar algunas diferencias con propuestas habituales bajo el paraguas de la indagación.

NO ES LO MISMO I: INDAGAR A TRAVÉS DE LA CAJA MISTERIOSA

Tras vivir-vivenciar el proceso formativo con enfoque de enseñanza de indagación en la formación inicial de docentes les solemos pedir que nos evalúen identificándolo con un programa de televisión y ahí suelen decirnos que es como si estuviéramos continuamente en una serie policíaca o thrillers. Nos encanta esta comparación porque, por un lado, señalan que están “enganchados” al proceso y, por otro, que es un enfoque muy *detectivesco*.

Este estilo detectivesco identificado conlleva dos riesgos de edu-mitos (mitos educativos) en torno a la indagación que queremos desgarnar en este apartado. El primer riesgo de edu-mito es el reduccionismo de indagación a experimentos (*hands-on activities* o *cacharreo*). El segundo riesgo de edu-mito es separar la indagación de los saberes básicos o de las grandes ideas de la ciencia a aprender. A menudo nos encontramos con el uso de la actividad “caja misteriosa” (Cavallo, 2007; Rau, 2009) como ejemplo de indagación. Efectivamente los estudiantes implicados en esa actividad están “averiguando” algo y están observando, interpretando y argumentando en función de las pruebas que realizan sobre la caja. ¿Qué aprenden? A indagar, que no es poco, pero como moda de aprender indagando ¡y encima mal! (Couso, 2014). Animamos desde aquí a releer esta aportación de Digna a los XXVI Encuentros, porque siguen vigentes las críticas destacadas y comentadas.

Esto parece abrir el melón de si el aprendizaje de qué es la ciencia y cómo se construye, es decir, la naturaleza de la ciencia, debe ser explícita o implícita (Duschl & Grandy, 2013; Jiménez-Liso *et al.*, 2020). En ambos casos, sobre todo si es para que los docentes en formación aprendan a indagar, ¿cómo transfieren esa indagación al aprendizaje de un saber básico, por ejemplo, el modelo de Sol-Tierra, el modelo de partes, el modelo de ser vivo, etc.?

Esto nos llevó a reflexionar sobre nuestra propuesta de indagación, y cómo conseguir que los docentes aprendieran a indagar indagando, es decir, analizando un problema cotidiano con el que construir un aprendizaje de conocimiento descriptivo, de ahí que la conexión con el ciclo de modelización fuera fluida y necesaria. La toma de conciencia sobre este proceso indagatorio permite la transferencia a otros contenidos no sin aprender sobre el proceso de diseño (Jimenez-Liso *et al.*, 2023). Además nos apoyamos en el consenso de la investigación didáctica de que la indagación guiada produce más efecto en el alumnado que la indagación autónoma (Aguilera *et al.*, 2018; Ferrés Gurt *et al.*, 2015).

NO ES LO MISMO 2: EL ENFOQUE POE (PREDICCIÓN-OBSERVACIÓN-EXPLICACIÓN)

Al enfoque de enseñanza POE (Predecir-Observar-Explicar) debemos reconocerle la inestimable aportación de simplificar una situación indagativa-explicativa en tres pasos destacando sus tres elementos esenciales (pregunta, observación y explicación). Para expertos-as en indagación, es fácil tenerlo en mente a la hora de diseñar y de hacer la transferencia entre POE e indagación como expresión de ideas a través de una pregunta paradigmática e investigable (P de predicción), transformación en pruebas desde la observación (O) o la recolección de datos y, por último, sofisticación de los modelos en busca de la explicación (E).

Esta interpretación del enfoque POE no suele ser la habitual, pues en muchas ocasiones leemos que para trabajar la flotación se solicita al alumnado (de cualquier nivel educativo) que traigan objetos al aula para que “predigan” si van a flotar o hundirse, para que, posteriormente, “observen” lo que ocurre cuando se echan a un barreño con agua y, a partir de ahí, se les “explica” por qué ocurre o cuáles son los criterios para algo flote o se hunda, generalmente basados en la densidad como propiedad de los materiales.

La secuencia sobre flotación anterior ya está al revés del “primero explico y luego aplico”, pues primero predicen, luego observan y, por último, la explicación. Entonces ¿qué le falta?

Predicción o expresión de ideas personales

Desde el marco anterior del enfoque de enseñanza de indagación y modelización (MBI), no basta con comenzar con una predicción, la formulación de la pregunta, su enunciado y su finalidad es uno de los elementos de los ciclos de indagación y modelización más cuidados y necesarios. Continuando con la propuesta de flotación anterior, la propia predicción pretende que el alumnado reflexione sobre los criterios para que las cosas floten o se hundan. Bowen (2025) señala que bajo estas preguntas “académicas” subyace la idea del cambio conceptual como lineal, como

que solo hay una única manera de aprender el sentido experto. Además para esta finalidad muy “académica”, muy de contenido-experto, no basta con traer materiales cotidianos para que eso se convierta en una pregunta cotidiana y contextualizada.

En primer lugar, necesitamos que afloren las ideas personales del alumnado, para ello, primero debemos ponernos de acuerdo qué es flotar y qué hundirse (Barral, 1990) para preguntar ¿a qué crees que es debido que algo flote o se hunda? Lo que genera que expresen que depende de la forma, del peso, del volumen, de qué está hecho, de su posición, de si contiene o no aire, de la densidad (los menos), de la cantidad de agua en la que se sumerja, etc. En segundo lugar, como señalamos en Castillo-Hernández *et al.*, (2025) es necesario una elección intencional de los materiales: ¿esta lata de refresco crees que flotará o no? (situación paradigmática sorprendente porque contradice sus criterios previos de peso, forma, posición, etc. Desde el comienzo utilizamos un modelo de flechas, más cortas y largas para que hagan su “predicción” o hipótesis y que la dejen por escrito en su ficha o cuaderno. ¿Es la misma predicción que se proponía hace dos párrafos?

Puede parecer que es el mismo propósito (explicitar los criterios de flotación) pero hay una gran diferencia centrada en lo que indicábamos de Marco Antonio Moreira al comienzo del artículo: en uno recuerdan lo que saben sobre flotación mientras que ahora les ofrecemos un material único para evitar comparaciones con otro, y les pedimos que expresen con flechas si creen que flotará o se hundirá lo que permitirán que expliciten su modelo inicial (esa representación análoga estructural de los fenómenos, Moreira, 2002), que lo dejen por escrito (o dibujado) para que puedan contrastarlo.

¿Significa esto que nunca formulamos una pregunta “académica”? En algunas ocasiones la finalidad de construir un modelo alternativo al habitual nos ha llevado a tomar la decisión de “academizar” el comienzo de la secuencia de indagación. Es el caso de la secuencia de fotosíntesis (González-Herrera *et al.*, en revisión) donde nos interesaba que explicitaran lo que recordaban (¿*Qué necesita una planta para crecer?*) y porque la finalidad era desplazar el foco desde los inputs que recibe la planta hacia cómo los usa para “crecer”.

Observación o búsqueda de pruebas

Continuamos con estos dos ejemplos (flotación y fotosíntesis) para exponer las diferencias entre la búsqueda de pruebas (indagación) y la observación del POE.

En la SEA fotosíntesis una vez que han explicitado los inputs que necesita una planta, la siguiente pregunta centra la búsqueda de pruebas *¿en qué debemos fijarnos para comprobarlo? ¿cómo crees que afectará cada factor (input) en el crecimiento de la planta?* Las respuestas del alumnado a estas preguntas están evocando su modelo de cómo utiliza la planta los factores (agua, aire, luz) para crecer, pero también están situándolos en qué pruebas van a ser concluyentes. Esta posición ante los

datos supera a la mera “observación”, pues lleva a interpretar los datos en función de si crece, es decir, si aumenta el área de las hojas, la longitud de los tallos, etc. Además, pensar en qué pruebas necesito conlleva pensar qué datos (y diseño experimental) serán necesarios. Esto nos ayuda a superar otro de los edu-mitos sobre la indagación: centrar la indagación exclusivamente en la experimentación o en el cacharreo (*hands-on activities*). Son numerosas nuestras secuencias de indagación donde los datos provienen de estudios previos o de fuentes fiables (Elvira-Ramírez *et al.*, 2020; Jiménez-Liso *et al.*, 2018, 2021) superando ese reduccionismo de indagación=experimentación y poniendo el foco en que lo importante es la transformación de los datos en pruebas concluyentes (Jimenez-Aleixandre, 2010).

En estos dos pasos (expresión y búsqueda de pruebas) podríamos concluir la indagación, pues son los dos elementos imprescindibles ya que permiten construir una conclusión o conocimiento descriptivo: el refresco ni flota ni se hunde o los inputs esenciales para la fotosíntesis son luz, agua y CO₂ que hacen crecer la superficie foliar o la altura de la planta.

Una de las cualidades del enfoque POE es que complementa lo anterior con la explicación.

Explicación o modelización

Como hemos indicado en el subapartado anterior, la indagación tiene sentido en sí misma y puede concluirse con la construcción del conocimiento descriptivo. Para secuencias de Educación Primaria a veces este conocimiento descriptivo es suficiente, pero al igual que el enfoque POE termina con la explicación, en *Sensociencia* ese conocimiento descriptivo es necesario y detonante de la búsqueda de explicación.

Queremos entender que en el enfoque POE la explicación no tiene por qué provenir del profesorado sino que puede ser un proceso de explicación que construye el alumnado, aunque, de nuevo, no suele ser lo habitual. Lejos de demonizar que las explicaciones provengan del profesorado, sí queremos valorar la importancia de que el alumnado vaya sofisticando y construyendo su propio modelo desde la explicitación de sus modelos iniciales porque sabemos que eso genera que tenga sentido o *sense-making* (Sánchez-Robles *et al.*, 2024).

De esta manera, igual que en indagación los dos elementos esenciales son la expresión de ideas personales y la búsqueda de pruebas (no de datos), en modelización entendemos como esencial la expresión de los modelos iniciales y su sofisticación paulatina (Garrido & Couso, 2025).

Al hacer previamente la indagación y construir el conocimiento descriptivo, estamos generando la necesidad de construir explicaciones (Couso *et al.*, 2020) y nos permite centrar todo el proceso en esa perspectiva de los modelos y explicaciones, por lo que la predicción más que centrar la atención en qué pasará será más focalizada en *cómo te imaginas que...* En nuestro ejemplo de fotosíntesis, como

el alumnado ya tiene pruebas de qué factores afectan al crecimiento ya podemos plantearles la pregunta *¿cómo te imaginas que el agua y el CO₂ hacen crecer una hoja de la planta?* De esta manera centramos este proceso en que busquen explicaciones a un fenómeno concreto: el crecimiento de la planta, en vez del proceso habitual del intercambio gaseoso.

En *Sensociencia* no siempre empezamos por indagación, por ejemplo en nuestra secuencia de flotación, en vez de iniciar con el proceso indagativo, planteamos un modelo sencillo de fuerzas representadas con flechas de diferentes tamaños que el alumnado debe posicionar para explicar las fuerzas de una lata de refrescos sostenida por una mano abierta. La indagación la utilizamos para averiguar que la lata de refrescos ni flota ni se hunde porque pesa lo mismo que el agua que ha desalojado. Y esta conclusión “descriptiva” genera la necesidad de utilizar el modelo sencillo de flechas para construir el par peso-empuje, apartándonos de la densidad, que tantos problemas genera tanto en la educación primaria como en secundaria, que no superan la idea inicial de que depende de qué material sea (que es difícil de predecir y de medir) y por las dificultades de la proporcionalidad.

En aquellas situaciones en las que el tiempo apremia, por ejemplo, en las visitas a centros escolares donde nos ceden una hora para hacer una sensopíldora, nunca olvidamos que los alumnos expresen los modelos iniciales y los contrasten con un modelo consensuado (versión más reducida de la modelización) para que sientan el potencial explicativo y sientan la satisfacción por entenderlo y ser capaces de explicarlo.

En conclusión, coincidimos con el enfoque POE en darle la vuelta a la enseñanza habitual dejando para el final la explicación, e interpretamos la predicción como la expresión de ideas que surge de una situación (o pregunta) paradigmática, pero zaramos la obsesión por observar, salvo que sea intencional (Monteira & Jimenez-Aleixandre, 2016), en favor de transformar datos en pruebas. De este modo insistimos en que la explicación no quede relegada a la exposición del contenido científico, sino que se promueva la construcción (re-construcción, de-construcción) de modelos explicativos¹ y predictivos.

NO ES LO MISMO 3: LAS 5 E (ENGANCHAR - EXPLORAR - EXPLICAR - ELABORAR - EVALUAR)

Con el mismo propósito de simplificar la tarea docente y de facilitar el diseño de secuencias surgió el modelo de las 5E en EE.UU. (Bybee, 2007) o recientemente el de las 6F en Dinamarca (Madsen *et al.*, 2020) que básicamente añade una previa de conocimiento de concepciones alternativas sobre lo que ya hemos hablado en el primer subapartado y que centra la atención en la observación-exploración como en

1. Sabemos que es una redundancia, pero nos gusta remarcarlo para que no pase desapercibido.

el anterior subapartado. Por tanto, nos vamos a detener en el término enganchar porque, a menudo, encontramos diferencias de lo que habitualmente se entiende.

Enganchar, motivar, interesar o conectar

A menudo encontramos que los docentes contextualizan las situaciones de aprendizaje mediante un vídeo o fenómeno sorprendente, una demostración incompleta o una pregunta desafiante —como el ejemplo del artículo de Madsen *et al.* (2020): “¿Por qué los tejados de Nueva York los pintaron de blanco?”— que despierte la atención del alumnado, que genere interés, curiosidad y motivación, es decir, que “enganche” al alumnado, algo que les resulte atractivo y les plantee un reto palpable. Esto parte de dos presunciones con diferentes responsables: por un lado, que los alumnos están desmotivados (la responsabilidad está en su tejado) y, por otro, que el contenido a aprender es de por sí aburrido y, por tanto, los docentes debemos esforzarnos (la responsabilidad está en nuestro tejado) por motivar al alumnado, por activar su deseo de averiguar. Como hemos dicho en ocasiones la responsabilidad del profesorado no es de motivar-animar-activar al alumnado sino, precisamente, de dar sentido (que tengan motivos), porque no hay nada más motivador que ser conscientes de que estamos aprendiendo algo nuevo (Jiménez-Liso, *et al.*, 2018).

Aquí se nos complica la cuestión: ¿cómo conseguimos que aprendan algo nuevo (para que encuentren los motivos para seguir aprendiendo)?

En *Sensociencia*, planteamos preguntas interesantes para “enganchar” no solo al principio sino durante ambos ciclos de indagación y de modelización, es decir, para que toda la situación de aprendizaje “tenga sentido” y todo se resuelva al final.

Nos queremos detener en esa idea del párrafo anterior de un video-fenómeno sorprendente, pues en nuestros trabajos (González-Herrera *et al.*, en prensa; Jiménez-Liso *et al.*, 2021) hemos destacado que para que nuestras situaciones de aprendizaje no sean “mágicas” debemos alejarnos del AIAIA de la magia, es decir, del Atención-Interés-Asombro-Ilusión-Aplauso porque precisamente el aplauso final se basa en la incomprensión de lo sucedido y, aunque sorprende y puede “enganchar” es lo opuesto a lo que pretendemos en las clases de ciencia.

El asombro (momento ¡oh!) que nuestras SEAs provocan provienen de dos pasos fundamentales: la expresión de ideas en diferentes lenguajes (oral, escrito, gráfico, dibujo, etc.) sobre una pregunta o fenómeno, y la comprobación, que insistimos no es observar “simplemente” sino buscar pruebas que contiene un paso de pensar qué pruebas necesitamos (diseño y evaluación de cómo conseguir datos), la obtención de datos (empíricos o de fuentes fiables) y la transformación de los datos en pruebas. Estos pasos hacen que las pruebas tengan sentido y lo que produce asombro es su conexión con lo que pensaban antes (y que tienen por escrito en diferentes lenguajes). De nuevo no nos quedamos en el asombro, sino que este provoca la necesidad de construir una explicación. Y esto es lo más diferenciador

de lo mágico: lejos de provocar una ilusión, lo que queremos es el momento ¡ajá!, de comprensión, de nuevo que tenga sentido, que sea explicativo.

Esto se explica mejor con un ejemplo. En un proyecto en el que participamos proponen la siguiente actividad para el alumnado:

Queridos chicos y chicas: Me llamo **Lucía**, tengo **nueve años** y me encanta entender cómo funcionan las cosas. ¡Vivo en una casa muy calurosa, sobre todo en verano! Un día, con mucho calor y aburrida, entré en el garaje de mi abuelo y... ¡parecía una habitación llena de maravillas!

En una mesa grande había objetos raros e interesantes como los que os he enviado: botellas, un polvo blanco con la etiqueta “bicarbonato”, vasos, globos, una batería con dos cables, una pequeña hélice, algunas cucharas, una botella de vinagre e incluso un poco de sal. No había instrucciones, pero pensé: “**¿Se podrán combinar estas cosas? ¿Pueden hacer algo juntas?**”

Así que empecé a experimentar. Mezclé agua y sal... [el/la docente puede hacerlo] pero no pasó nada especial, solo agua salada. Probé otra cosa y vi que salían **muchas burbujas** [el/la docente puede hacerlo]. ¡Guau! —dije—. Entonces, mezclar cosas diferentes puede dar resultados muy distintos... depende de lo que mezcles...

Luego tuve una idea —bueno, en realidad una pregunta— y necesito vuestra ayuda: **¿Qué pasaría si pongo ese polvo dentro de un globo y luego coloco el globo en una botellita con vinagre dentro?**

En este fragmento se entiende el “*engagement*” como narrativa inicial (*storytelling*) que introduce al alumnado en una situación simulada y le ofrece materiales para combinar. Esta narración es solo introductoria, a modo de pretexto que en el segundo párrafo ya se puede olvidar, pues enfoca la atención hacia la combinación aleatoria de los materiales suministrados, desperdiciando una oportunidad de que las narrativas (*storytelling*) sean un perfecto hilo conductor para el uso de pruebas y la aplicación de modelos científicos escolares, incluso con contenido abstracto como, por ejemplo, la división celular (Esquivel-Martín *et al.*, 2021).

La propia estructura del ciclo de indagación genera un sentido en sí mismo, pues el alumnado, incluso de edades tempranas, reconocen su estructura y predicen cuál puede ser la siguiente actividad a desarrollar con el consiguiente “enganche” continuado y efectivo, sobre todo, si los hacemos conscientes de ello y los implicamos en la evaluación de cada momento: ideas propias y ajenas, diseños para la toma de datos, su transformación en pruebas y la construcción de las conclusiones.

Es... DISTINTO

*Que sepas que hay gente que trata de confundirnos,
pero tenemos corazón que no es igual.
Lo sentimos, es distinto.*
Alejandro Sanz

En un curso de formación inicial de docentes de secundaria, después de haber vivido las sensopíldoras y de haberlas implementado durante su periodo de Prácticum

en un centro educativo, una estudiante nos dijo que la indagación era la enseñanza “al revés”. Nos gustó su valoración, pues indicaba que reconocía que, habitualmente se suele explicar el contenido que te hace falta para *entender* la “práctica” que va a continuación, y que en nuestro caso la explicación iba después de haber vivido la indagación. En otras ocasiones, hemos comentado que en clase de ciencias no se suele seguir la cronología narrativa lógica sino que continuamente se producen *spoilers*, contando el final de la película (explicación) que arruina la sorpresa, cuando ni siquiera se ha planteado el detonante inicial (problema, fenómeno, controversia, etc.). Recuperamos aquí la importancia de hacer vivir al alumnado los dos momentos clave: ¡oh! (asombro) y ¡ajá! (conocimiento tácito) para que la secuencia sea relevante, tenga sentido y utilidad para el alumnado.

En este capítulo, no nos hemos conformado con darle la vuelta (enseñanza “al revés”) al “primero explico y luego aplico”, sino que hemos elegido como título la enseñanza “del revés”, porque tiene un matiz más de ponerla “patas arriba” o “trastocarla”, mucho más enfático o figurado de lo que habitualmente se hace en clases de ciencias.

Con esto respondemos a otra pregunta que nos suelen hacer en la formación inicial, después de haber vivido como aprendices las sensopíldoras: *si esto engancha y además aprendes ¿por qué no está más extendido este enfoque de enseñanza en las aulas de ciencias de todos los niveles educativos*, incluidos las propias de la formación inicial de docentes en DCE? La respuesta, como decíamos, es porque nos tenemos que poner “del revés” a la enseñanza que nos da seguridad: debemos plantear una pregunta que dé sentido a todo el proceso y ESCUCHAR las ideas del alumnado, no las que nosotros queremos oír para continuar rápidamente con nuestro discurso, sino las que tengan y debemos ORGANIZARLAS para que la puesta en común sea productiva (SÍNTESIS). Y en vez de hacer un experimento-receta, debemos volver a escuchar cuáles serían sus diseños para comprobarlo, pues eso les permitirá evaluar cuáles serán los datos útiles para probarlo (pruebas) y cuáles desechar.

En definitiva, estamos poniendo el foco en qué acciones docentes favorecen o dificultan que el alumnado pueda hacer indagación. Esto es una línea de investigación novedosa que surge precisamente de la insatisfacción de centrar la formación de docentes en el (des)conocimiento didáctico del contenido (PCK por sus siglas en inglés, *Pedagogical Content Knowledge*). Esta inconformidad con la formación de docentes conllevó a un grupo de especialistas a repensarla centrándose más en las acciones docentes (Grossman, 2018; Windschitl *et al.*, 2018) y en cómo unas acciones pueden ser claves para que el debate en el aula esté siendo productivo o para que la construcción de conocimiento se esté produciendo. En nuestro caso, hemos estudiado las acciones docentes clave para que el alumnado participe y desarrolle la indagación (Delgado-Mayoral *et al.*, 2025) y esto nos ha llevado a mirar nuestra propia práctica docente y tomar conciencia de cuándo utilizar unas acciones docentes y cuándo otras en función de lo que el alumnado, la SEA o la finalidad del docente demanden.

Capítulo 19. Aprendizaje basado en proyectos

Joaquín Ayerbe López¹ y Francisco Javier Perales-Palacios²

¹IE Vicente Cañada Blanch, Londres-Reino Unido; ²Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada
Contacto: juaky_40@hotmail.com; fperales@ugr.es

INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente capítulo se va a abordar una de las metodologías más reconocidas por las corrientes pedagógicas actuales, el aprendizaje basado en proyectos (ABP). Trataremos de clarificar sus rasgos más característicos, su origen, potencialidades y dificultades. Sin embargo, la principal aportación pretende ser la propia ejemplificación de un proyecto ambiental contextualizado en la enseñanza secundaria, concretamente en el marco de la educación ambiental, campo especialmente relevante en el actual contexto de crisis ambiental en el que nos hallamos inmersos. Asimismo, al tratarse aquella de un campo multidisciplinar se adapta especialmente bien a dicha metodología, propiciándose un escenario pedagógico idóneo para su implementación.

ABP: ANTECEDENTES Y CARACTERIZACIÓN

A lo largo de las últimas décadas se han ido abriendo paso estrategias alternativas de enseñanza y aprendizaje, en general, y de las ciencias en particular, como reacción a los métodos tradicionales, pero también como concreción de las orientaciones constructivistas para la enseñanza (Perales y Ayerbe, 2016).

Entre esas estrategias activas se mencionan las siguientes (Ayerbe y Perales, 2025): Aprendizaje Orientado a Proyectos / Problemas (ABP), Aprendizaje por Indagación, Aprendizaje-Servicio, la Investigación de Diseño plasmada en la Secuencia Didáctica, los Juegos de Rol, la Investigación-Acción o los recursos como Salidas de Campo. Aquellas poseen elementos comunes y algunos elementos diferenciadores (Perales y Ayerbe, 2016), pero en cualquier caso nos pueden orientar respecto a las alternativas más eficaces a las metodologías de corte más tradicional.

Con respecto al ABP, existe un amplio consenso sobre su utilidad y también respecto a las dificultades pedagógicas y técnicas de su aplicación, debidas fundamentalmente a la inercia existente en el uso de metodologías de carácter tradicional, así como a la presión por cumplir con el currículo prescrito, lo que dificulta una mayor implementación y aplicación de la misma.

Por otro lado, aunque el ABP resulta ser una metodología de reciente incorporación a las aulas no debemos olvidar que su origen se remonta a principios del pasado siglo. Concretamente, fue el pedagogo Killpatrick, considerado como el creador de la metodología por proyectos (Pecore, 2015), el que observó que el entusiasmo de los estudiantes en el trabajo por proyectos variaba en función del grado de libertad que tenían a la hora de tomar sus propias decisiones durante su desarrollo; el aprendizaje era tanto más significativo cuanto más interés tenía el alumnado en sus tareas o proyectos.

Así mismo, si tratamos de establecer las características básicas de esta metodología, podemos considerar varias aproximaciones a su definición. Según Jones et al (1997), el ABP constituye un conjunto de tareas basado en la resolución de preguntas y/o problemas que implica al alumnado en el diseño y planificación del aprendizaje, en la toma de decisiones y en procesos de investigación, dándole la oportunidad de trabajar de forma autónoma y culminando en la realización de un producto final presentado ante una audiencia. Markham *et al.* (2003) señalan que puede entenderse actualmente como: “Un método de enseñanza sistemático que involucra a los estudiantes en el aprendizaje de conocimientos y habilidades, a través de un proceso extendido de indagación, estructurado en torno a preguntas complejas y auténticas, y tareas y productos cuidadosamente diseñados” (p. 14).

Como se entrevé, en el ABP el papel del profesor y del alumnado dista bastante del que normalmente se desarrolla en el aula, máxime si nos referimos a la etapa de secundaria; este último busca soluciones a problemas, genera preguntas, diseña planes, recolecta datos, establece conclusiones, expone sus resultados y crea un producto final (Blumenfeld *et al.*, 1991). Asimismo, Thomas (2000) apunta a que los proyectos deben ser el centro del currículo, no algo periférico, esto es, no debe ser algo que se realice como colofón a una determinada unidad didáctica, sino el eje vertebrador mediante el cual se lleve a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje (Larmer y Mergendoller, 2010).

CONCEPTUALIZACIÓN DE METODOLOGÍAS ACTIVAS ASOCIADAS A PROYECTOS

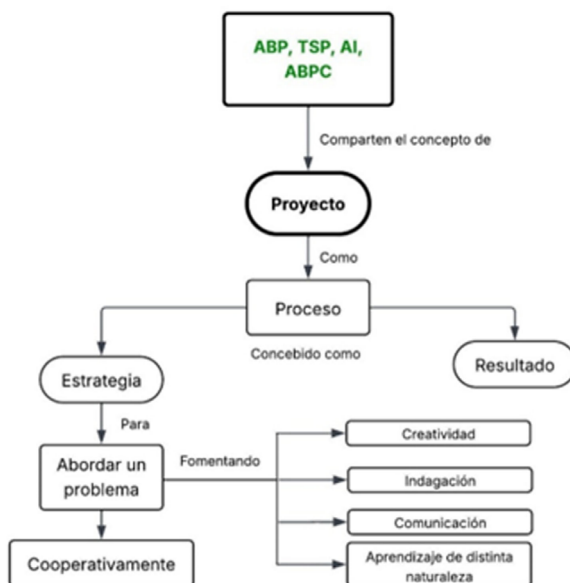
En los últimos años, son diversas las estrategias didácticas y metodológicas que se han venido utilizando en la Didáctica de las Ciencias Experimentales, tales como aprendizaje servicio, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje orientado a problemas, juegos de simulación o estudios de caso (Tejedor *et al.*, 2019). El aprendizaje basado en proyectos, junto con el aprendizaje basado en problemas, constituye un enfoque de enseñanza que se va manifestando como auténtica alternativa a la enseñanza tradicional. En un trabajo previo, mediante un análisis bibliográfico (Perales y Ayerbe, 2016), establecíamos una comparación entre aquellos y también con el aprendizaje por indagación (AI), aprendizaje cooperativo (ABPC) y trabajo sobre proyectos (TSP) pudiendo establecer una relación espacial a través del mapa conceptual de la Figura 19.1.

Una de las conclusiones a las que llegamos fue la de que el Proyecto, en cuanto a la denominación y relaciones internas, puede considerarse como el concepto aglutinante, teniendo como subconceptos al Aprendizaje Basado en Problemas, al ABPC y al TSP. Este se mostraba como incentivador de la creatividad, la indagación, la comunicación y el aprendizaje diverso.

Delimitación del Aprendizaje Basado en Proyectos

Cabe, sin embargo, delimitar aún más, específicamente, las diferencias existentes entre el Aprendizaje Basado en Problemas y el Aprendizaje Basado en Proyectos ya que su nomenclatura casi idéntica puede llevar a confusión entre los mismos. El primero gira en torno a un problema acotado y concreto que puede ser real o simulado, de naturaleza competencial y que desarrolla el pensamiento crítico; su duración suele ser más corta (unas pocas sesiones), no llevando asociado necesariamente los grupos cooperativos. La resolución del problema dado suele afrontarse mediante unos pasos específicos (Ramadhan y Nafisah, 2024).

Figura 19.1. Mapa conceptual que relaciona ABP, TSP, ABPC y AI.



Por otro lado, el aprendizaje basado en proyectos parte siempre de una pregunta guía o reto, amplio, contextualizado y preferiblemente real, siempre hay un producto final tangible (informe, campaña, vídeo, exposición, póster, etc.), es de naturaleza multicompetencial (implicando frecuentemente a varias materias de

manera simultánea) y requiere necesariamente los grupos cooperativos. Así mismo, su secuencia temporal normalmente se regirá por el planteamiento de una pregunta guía asociada a un reto o problema, planificación, investigación, creación y presentación de un producto final. El proceso estará marcado por el uso de portfolios y diarios de aprendizaje. Su evaluación deberá ser formativa, pero también final, enfocándose en el producto generado y su presentación. (Larmer y Mergendoller, 2010; Larmer *et al.*, 2015; Trujillo, 2015). Los pasos a seguir en esta metodología se plantean en la Tabla 19.1.

Tabla 19.1. Descripción de los pasos a seguir para la aplicación del ABP.

Fase	Descripción
1. Planteamiento del problema-pregunta guía	Situación problemática/reto auténtico y contextualizado, es el eje vertebrador del proyecto y orienta el proceso de aprendizaje hacia la investigación y su resolución significativa y real.
2. Activación de conocimientos previos	Se exploran los conocimientos y concepciones iniciales del alumnado para establecer conexiones con los nuevos aprendizajes y detectar posibles ideas previas o concepciones erróneas.
3. Definición de objetivos y competencias	Se concretan los objetivos de aprendizaje y las competencias clave que se van a desarrollar, alineándolos con el currículo y con los criterios de evaluación establecidos.
4. Planificación del proyecto	Se organiza el desarrollo del proyecto mediante la distribución de tareas, la asignación de roles, la secuenciación temporal y la selección de recursos, fomentando la autonomía, la responsabilidad y el trabajo cooperativo.
5. Investigación y desarrollo	El alumnado lleva a cabo procesos de búsqueda, análisis y selección de información, así como la aplicación de conocimientos y habilidades para dar respuesta al problema planteado, bajo la supervisión del docente.
6. Elaboración del producto final	Se diseña y construye un producto final que evidencie el aprendizaje alcanzado, integrando los contenidos, procedimientos y actitudes trabajados en el proyecto.
7. Presentación y difusión	El producto final se comunica a una audiencia, favoreciendo el desarrollo de la competencia comunicativa y la reflexión sobre el proceso y los resultados obtenidos.
8. Evaluación y metacognición	Se realiza una evaluación formativa y sumativa del proceso y del producto, incorporando la autoevaluación y la coevaluación, con el objetivo de promover la reflexión metacognitiva y la mejora continua del aprendizaje.

“LUCES Y SOMBRAS” DEL ABP

Haciendo balance entre las fortalezas y los puntos débiles de esta metodología, hay que decir que son numerosos los estudios que afirman la existencia de una serie de ventajas en el uso del ABP en relación al aprendizaje:

- El desarrollo de habilidades y competencias tales como colaboración, planificación, comunicación, toma de decisiones y gestión del tiempo (Dickinson *et al.*, 1998).
- La mejora significativa de las habilidades de análisis, reflexión y resolución de problemas complejos, en comparación con métodos tradicionales (Araujo *et al.*, 2024)
- El incremento de la motivación. Se registra un aumento en la asistencia, mayor participación, mejor disposición para realizar las tareas, mayor retención de conocimientos y habilidades (Bottoms y Webb, 1998).
- Mejora significativamente los resultados de aprendizaje de los estudiantes, las actitudes afectivas y las habilidades de pensamiento (Zhang y Ma, 2023)
- Según Willard y Duffrin (2003) se mejora la satisfacción con el aprendizaje y la preparación de los estudiantes para afrontar situaciones reales.
- Obtención de mejores calificaciones, desarrollo de habilidades de aprendizaje autónomo y mejora del recuerdo de lo aprendido durante un periodo de tiempo prolongado (Mioduser y Betzer, 2007).
- La socialización rica del proyecto (interacción con agentes externos ajenos al centro educativo) resulta ser un elemento potenciador del aprendizaje incrementando la calidad de los trabajos y productos generados (Ayerbe y Perales, 2023).

No obstante, resulta esencial señalar algunas limitaciones propias de esta metodología que se concretan fundamentalmente en: la falta de hábitos en el trabajo con estas estrategias activas, tanto de los profesores como de los estudiantes; la adaptación a una evaluación diversificada, requiriendo rubricas detalladas y múltiples evidencias de aprendizaje; el no apreciarse en ocasiones una ganancia en conocimientos; la pérdida eventual de la motivación en el alumnado; deficiencias en los proyectos debido a lo complejo y sistemático de esta metodología; la imposibilidad de abarcar el mismo currículo que con las metodologías tradicionales; la gestión del tiempo y de los grupos; así como dificultades a la hora de su implementación por parte de los docentes (Gutiérrez y Pirrami, 2011; Torres *et al.*, 2013; Sulaiman *et al.*, 2014; Ayerbe y Perales, 2020, 2023). Wardhani y Riani (2020) señalan, por otro lado, que la naturaleza colaborativa del ABP puede generar resultados desiguales: algunos estudiantes presentan un perfil competencial más alto que otros, y puede haber variaciones significativas en el nivel de implicación y aprendizaje individual.

Aparte de lo anteriormente comentado cabe decir que existen dificultades propias de la aplicación de esta metodología cuando nos movemos en el ámbito de la educación secundaria, como es la integración curricular de diferentes áreas, dado que en este nivel al ser impartidas por diferentes profesionales se dificulta la coordinación necesaria para una óptima implementación del ABP (Ayerbe, 2021).

Resulta por tanto necesario establecer algunas de las medidas a implementar para tratar de paliar aquellas debilidades o dificultades inherentes al ABP (Tabla 19.2)

Tabla 19.2. Posibles medidas a implementar para minimizar las dificultades en el ABP.

Dificultad/Debilidad	Medidas
Complejidad en la evaluación	Incorporar evaluación formativa y compartida mediante rúbricas, portafolios y procesos de autoevaluación y coevaluación Darling-Hammond <i>et al.</i> (2020).
Desigualdad en la participación del alumnado	Establecer roles definidos y estructuras de trabajo cooperativo con seguimiento docente sistemático Johnson y Johnson (2009).
Elevada demanda temporal	Diseñar proyectos escalonados en fases o microproyectos alineados con la secuencia curricular (Condliffe <i>et al.</i> , 2017).
Falta de motivación del alumnado	Diseñar proyectos contextualizados y basados en problemas auténticos y relevantes para el alumnado (Larmer <i>et al.</i> , 2015).
Dificultades en la alineación curricular	Alinear explícitamente los objetivos del proyecto con los contenidos y competencias del currículo oficial (Thomas, 2000).

“REIVENTA TU CIUDAD”: DESCRIPCIÓN DE UN PROYECTO AMBIENTAL EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

A lo largo de este apartado nuestra intención es exponer cuáles deberían ser las consideraciones, características y las diferentes etapas de un proyecto, en este caso, contextualizado en la etapa de secundaria y dentro del campo de la Educación Ambiental. Con ese objetivo se describe una experiencia real desarrollada en un instituto de educación secundaria de Granada capital. La finalidad principal del proyecto fue realizar un diagnóstico ambiental de algunos de los parámetros más relevantes y fácilmente reconocibles, así como elaborar un plan de mejora de dichos parámetros analizados (Ayerbe y Perales, 2020; Ayerbe, 2021).

Contexto

El centro educativo en el que se llevó a cabo el proyecto ambiental se encuentra en un barrio cercano a la zona centro de la ciudad de Granada y a él acuden en su mayoría alumnos de familias de clase media. Tradicionalmente los resultados obtenidos en el centro han estado por encima de la media de los institutos de la ciudad. El grupo en el que se implementó era íntegro de ciencias, con la materia de biología y geología como optativa, el nivel fue 4º de ESO y contaba con 14 alumnos y 12 alumnas. El perfil académico del alumnado era medio-alto.

Temática

La temática central del proyecto fue el medio ambiente urbano y se centró específicamente en aquellos parámetros que podían ser abordables por el alumnado participante; debían por tanto reunir las siguientes características:

- Fácil acceso a datos o recogida de medidas directas u observaciones.
- Sencillos en su comprensión.
- De influencia directa en cuanto a su contribución al estado del medio ambiente.
- De interés por su relación con aspectos de la vida cotidiana (salud, tiempo libre, etc.).

Teniendo en cuenta estos requisitos, se seleccionaron previamente (por parte de los docentes) cinco factores ambientales: contaminación acústica, contaminación atmosférica por gases, situación de los ríos a su paso por la ciudad, superficie de parques urbanos y estado de los mismos y el turismo como agente intensificador de los anteriores.

Con la finalidad de poder estudiar, analizar y comprender mejor dichos factores ambientales fue necesario profundizar en determinados conceptos relativos a la ecología, como la estructura de los ecosistemas (urbano especialmente) y sus componentes (comunidad, biotopo, hábitat, nicho ecológico, etc.). Así mismo, se trabajaron conceptos relacionados con el medio ambiente como el de contaminación (y sus tipos), nivel de inmisión, etc. La aproximación a estos conceptos se llevó a cabo mediante técnicas didácticas variadas como la clase magistral, la visualización de videos o la preparación de píldoras informativas por parte del alumnado.

Currículo implicado

Con el proyecto ambiental implementado se desarrollaron elementos curriculares pertenecientes a tres de las materias impartidas en 4º de ESO, cumpliendo con uno de los requisitos básicos del ABP, la interdisciplinariedad (Brassler y Dettmers, 2017). No obstante, predominó la Biología y Geología (materia de la que emergía el proyecto). En esta fase se requirió de una planificación previa coordinada entre el profesorado implicado para concretar cuál iba a ser el currículo desarrollado con el proyecto.

Tabla 19.3. Elementos curriculares desarrollados por materias.

Biología y geología. Bloque: Ecología y Medio Ambiente	
Contenidos	Criterios de evaluación
Estructura y componentes de los ecosistemas. Relaciones tróficas. Hábitat y nicho ecológico. Impactos de las actividades humanas en el medio ambiente. La superpoblación y sus consecuencias. Los recursos naturales y sus tipos. Consecuencias ambientales del consumo humano de energía. Técnicas para conocer el grado de contaminación y depuración del medio ambiente.	Categorizar a los factores ambientales y su influencia sobre los seres vivos. Reconocer el concepto de factor limitante y tolerancia. Contrastar actuaciones humanas sobre diferentes ecosistemas, valorar su influencia y argumentar actuaciones para evitar su deterioro.
Geografía e Historia. Bloque: La Revolución Tecnológica y la Globalización a finales del siglo XX y principios del XXI	
Contenidos	Criterios de evaluación
La globalización económica. Las relaciones interregionales en el mundo, los focos de conflicto y los avances tecnológicos.	Busca en la prensa noticias de algún sector con relaciones globalizadas y elabora argumentos a favor y en contra. Definir la globalización e identificar algunos de sus factores. Reconocer el impacto de estos cambios a nivel local.
Lengua Castellana y Literatura. Bloque: Comunicación oral: escuchar y hablar	
Contenidos	Criterios de evaluación
Observación y comprensión del sentido de debates, entrevistas y aplicación de las normas básicas de la comunicación. Conocimiento y uso de estrategias para la producción de textos orales. Estrategias para hablar en público.	Aprender a hablar en público de forma individual o en grupo. Conocer, comparar, usar y valorar las normas de cortesía en las intervenciones orales.

Desarrollo

Evento de entrada

En un primer momento, se siguió la secuencia de la Figura 19.2 para alcanzar una visión más cercana de la situación del medio ambiente urbano y plantear al alumnado una situación problemática real, todo ello en las dos primeras sesiones que constituyeron el evento de entrada, paso clave dentro del ABP (Larmer *et al.*, 2015).

Tras presentar la pregunta guía (*driving question*), que debe tenerse presente a lo largo del desarrollo del proyecto, se abrió un turno de palabra para debatir sobre cuál era su opinión acerca de la situación del medio ambiente de su ciudad. Se levantó acta de dicho debate. A continuación, el profesor realizó la exposición de una serie de noticias aparecidas en medios de comunicación de ámbito local. Con esto se pretendió que quedara claro que el problema que se les presentaba era real y cercano.

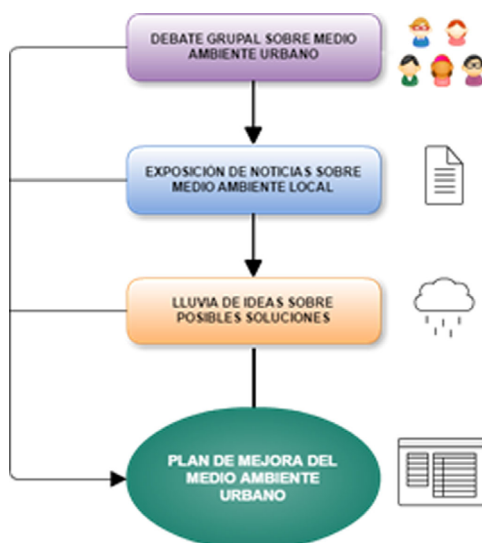


Figura 19.2. Secuencia de acontecimientos en el evento de entrada.

En último lugar, se llevó a cabo una lluvia de ideas con la finalidad de especificar cuáles deberían ser las medidas a implementar para mejorar la situación ambiental de la ciudad. Esta dinámica, con la guía del docente, condujo al alumnado hacia la necesidad de realizar un plan de mejora del medio ambiente urbano de la ciudad de Granada.

Pregunta guía

Es el hilo conductor del evento de entrada y vertebra el proyecto durante su implementación (Larmer *et al.*, 2015); en el caso que nos ocupa fue: *¿Es Granada una ciudad habitable?*

Reto o problema central del proyecto

En cuanto al problema, aspecto clave dentro de esta metodología, que se le presentó al alumnado fue: *¿Cómo podemos mejorar el medio ambiente urbano de Granada?* Como se ha comentado, tras la lluvia de ideas mantenida en el evento de entrada, se llegó a la conclusión de que era necesario realizar un plan de mejora del medio ambiente urbano que integrara los problemas relacionados con el medio ambiente urbano.

Antes de comenzar

A partir de este momento, una vez que se alcanzó un grado de conciencia ambiental mínimo para afrontar el reto con garantías, se detallaron determinadas características del proyecto relativas fundamentalmente a la dinámica de funcionamiento durante el desarrollo del mismo:

- a) Agrupación: se confeccionaron grupos de cuatro componentes (Figura 19.3 y 19.4) según los criterios previos establecidos por el profesor (compatibilidad, paridad, homogeneidad entre grupos y heterogeneidad dentro de grupos) y acordes al trabajo en grupos cooperativos (Domingo, 2008). Todos los grupos firmaron un contrato de compromiso para el trabajo en equipo.
- b) Trabajo cooperativo: se explicó al alumnado determinadas nociones básicas tales como los diferentes roles (en nuestro caso coordinador/a, secretario/a, portavoz y controlador/a) y el reparto de responsabilidades.



Figuras 19.3. y 19.4. El alumnado se distribuyó en grupos cooperativos de cuatro miembros cada uno a lo largo de todo el proyecto.

- c) Evaluación: fue muy diversificada (Trujillo, 2015) se emplearon rúbricas específicas para cada apartado del proyecto, éstas estuvieron a disposición del alumnado; los diferentes aspectos tenidos en cuenta fueron:
 - Portfolio: incluyó todos los documentos elaborados, actividades, información recabada, datos procesados, etc. Tuvo un carácter digital y se utilizó una suite para alojar todos los documentos.
 - Actividades: elaboración de un glosario ambiental, trabajos monográficos sobre algún aspecto concreto, exposiciones, píldoras informativas, actividades sobre conceptos relativos a la ecología y medio ambiente, etc.
 - Diario de aprendizaje: donde anotaban sus reflexiones acerca de su propio aprendizaje a lo largo del proyecto. Se les proporcionó una plantilla con cuestiones para guiar su reflexión.

- Aprendizaje cooperativo: se evaluó el funcionamiento y rendimiento de los grupos.
- Productos finales: tanto el documento final escrito como su defensa y los pósters realizados.

Tareas realizadas

La profundidad en el desarrollo y resultado final de cada una de las tareas que se propusieron fueron flexibles. En la Tabla 19.4 se muestran las tareas propuestas al alumnado y que tuvo que realizar cada grupo o individuo para la consecución de los objetivos del proyecto.

Tabla 19.4. Descripción de las tareas a realizar por el alumnado.

Tareas a realizar en el proyecto	
Individuales	Grupales
1.- Cumplimentar los cuestionarios inicial y final (determinación del nivel de conciencia ambiental)	1.- Diagnóstico de la situación del medio ambiente
2.- Elaboración del glosario de términos de ecología y medio ambiente.	2.- Elaboración del plan de mejora del medio ambiente urbano.
3.- Completar el formulario de reflexión y evaluación del proyecto.	3.- Elaboración de la Presentación mediante el uso de TIC.
4.- Elaboración de un portfolio.	
5.- Realización de un diario de aprendizaje.	
6.- Presentación en público de su parte del producto final.	

Entrando un poco más en detalle, las tareas mostradas en la Tabla 19.4 fueron:

- Profundización en conceptos básicos (glosario medioambiental): el alumnado empleó un tiempo para el conocimiento de conceptos de ecología y medio ambiente.
- Diagnóstico del medio ambiente de la ciudad de Granada: su objetivo fue doble, por un lado, contrastar o reforzar la información que se había leído en los medios y las propias percepciones e ideas previas del alumnado. Por otro lado, se detectó de forma directa qué problemáticas existían y se buscaron posibles soluciones que se desarrollaron en el plan de mejora del medio ambiente (producto final). Esta tarea incluyó varias actividades consistentes en realizar un diagnóstico de los parámetros ambientales ya comentados, cada uno con su estudio independiente:
 - 1) Ecobarómetro de Granada: se elaboró una encuesta sobre la percepción que tiene la ciudadanía de Granada sobre el medio ambiente. Se aplicó a viandantes en diversos puntos de la ciudad (Figura 19.5).

- 2) Determinación de la contaminación atmosférica por gases: mediante los puntos de detección que hay en la ciudad, bases de datos con los niveles de inmisión y con Apps de móvil que informan de la contaminación por gases en tiempo real, determinando los gases con niveles de inmisión elevados y sus consecuencias.
- 3) Análisis de la contaminación acústica: el alumnado analizó los mapas de ruido existentes y realizó medidas directas de los niveles de ruido mediante el uso de aplicaciones de móvil y sonómetros (Figura 19.6).



Figura 19.5. Un grupo de alumnos entrevistando viandantes en diferentes puntos de la ciudad.

Figura 19.6. Toma de medidas con sonómetros en diferentes puntos de la ciudad.

- 4) Determinación de la superficie de parques y análisis de su calidad: se investigó sobre cuál debe ser la superficie óptima. Se llevó a cabo un estudio sobre el terreno para conocer el estado y nivel de calidad ecológica de algunos parques urbanos.
 - 5) Análisis del estado de los ríos: se indagó para saber cómo debe ser un ecosistema ripario natural. Además, se determinaron *in situ* las condiciones ecosistémicas y medioambientales (presencia de vegetación y fauna, número de especies) de los dos ríos que atraviesan la ciudad.
 - 6) Análisis de las implicaciones ambientales de la industria del turismo: el alumnado buscó evidencias que demostraran si dicha actividad influye negativamente en los parámetros ambientales sobre los que se estaba trabajando.
- Elaboración de un plan de mejora del medio ambiente de la ciudad de Granada: en él se detallaron las medidas a implementar en cada uno de los sectores comentados, partiendo del diagnóstico realizado. Fue supervisado por el profesor y por expertos en temática ambiental.
 - Confección de una presentación para la exposición del plan de mejora: se realizó una presentación, mediante el uso de las TIC, que se expuso ante

una audiencia con conocimientos sobre la temática, como fue el alumnado de Educación Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada.

Socialización rica

Una de las claves del proyecto fue su relación con el “mundo exterior” (personas y/o instituciones ajenas al centro educativo) (Larmer *et al.*, 2015; Trujillo, 2015). Se produjeron las siguientes interacciones:

- Visita de expertos: al inicio del proyecto nos visitaron las responsables del Programa Agenda 21 local de la ciudad; aportaron claves para el diagnóstico de la situación de los parámetros medioambientales a analizar. También nos visitó un experto de Ecologistas en Acción (Figura 19.7).
- Salida al entorno urbano: salida a la ciudad para determinar la situación de los factores ambientales. En esta salida se interaccionó, por un lado, con ciudadanos (entrevistas) y por otro con entidades como la oficina de turismo y el propio Ayuntamiento (consultas).
- Presentación del producto final: se llevó a cabo ante el alumnado universitario referido.

Salida al entorno urbano

Los grupos realizaron una planificación de las diferentes actividades previstas. Fue uno de los momentos centrales del proyecto, a partir del cual se obtuvieron datos, evidencias y material gráfico esencial es para la elaboración del producto final. Los objetivos fueron:

1. Aplicar las encuestas elaboradas (Ecobarómetro de Granada).
2. Realizar *in situ* el diagnóstico de los parámetros ambientales (Figura 19.8).



Figura 19.7. Una de las charlas que recibió el alumnado por parte de expertos en medio ambiente.
Figura 19.8. Alumnas tomando muestras del agua del río Genil y realizando análisis de las mismas.

3. Obtener un banco de datos, imágenes, audios, videos, etc., necesario para la elaboración del producto final.

Difusión del producto final

Consistió en una síntesis de los diferentes planes de mejora del medio ambiente urbano que elaboró cada grupo. Se obtuvo un documento unitario representativo de toda la clase. En este proyecto se plantearon varias formas de difusión:

- La exposición de la presentación del producto ante el alumnado de la asignatura de Educación Ambiental del Grado de Educación Social de la UGR (Figuras 19.9 y 19.10).
- Publicación de la experiencia y los resultados en la página web del centro.
- Publicación de algunos aspectos del Plan de Mejora llevado a cabo en la sección que la Agenda 21 local tiene en la página web del Ayuntamiento de la ciudad.



Figuras 19.9. y 19.10. Alumnado en la puerta de la Facultad de Ciencias de la Educación de la UGR el día de la exposición del producto final (izquierda). Uno de los pósters que presentaron en la facultad durante la exposición (derecha).

Recursos utilizados

Este tipo de metodología es proclive a que se requiera una mayor tipología de recursos, tal y como se presentan en la Tabla 19.5.

Tabla 19.5. Recursos utilizados durante el proyecto.

Recursos	
Equipamiento	Aula de clase, pizarra, pizarra digital, ordenadores portátiles, tablets y dispositivos móviles con conexión a internet.
TIC	- Herramientas de información: buscadores como Google, multimedia como Youtube, podcast, etc. - Herramientas de comunicación/colaboración: correo electrónico, Gmail, Hotmail, etc. Blogs como Blogger. E-portfolios como Mahara. Anotaciones como Onenote. Plataforma educativa (Edmodo) - Herramientas de creación/edición: Textos (Google Drive). Presentaciones como Prezi, Powtown, etc.
Personas (<i>in situ</i>)	- Encuestados para la confección del Ecobarómetro de la ciudad. - Contactos con expertos, como los técnicos de la Agenda 21 local o Ecologistas en Acción. - Alumnado de la Asignatura de Educación Ambiental del Grado de Educación Social de la Universidad de Granada.
Otros	El entorno urbano, parques, ríos, servicios públicos de carácter informativo, etc.

En la Tabla 19.6. se presentan las fases del proyecto y las sesiones dedicadas a cada una de ellas (de una hora).

Tabla 19.6 Fases del proyecto descritas y duración en sesiones de una hora.

Fase	Descripción	Sesión(es)
Evento de entrada y presentación del proyecto	Desarrollo de la introducción por parte del profesor. Explicación de las herramientas a usar y dinámica de trabajo.	2
Aprendizaje de conceptos	Desarrollo del glosario medioambiental. Sirvió para que el alumnado tomara contacto con las dinámicas propias del proyecto.	4
Charla Agenda 21 local	Visita de las responsables del programa. El alumnado realizó las consultas oportunas para profundizar en el diagnóstico del medio ambiente y en la elaboración del plan de mejora.	1
Diagnóstico medio ambiente urbano	Los diferentes grupos concretaron la situación del medio ambiente en sus diferentes ámbitos.	4
Salida al entorno urbano	Actividades para la determinación <i>in situ</i> del estado de los factores ambientales en estudio (ríos, parques, ruido, etc.).	1 mañana
Charla Ecologistas en Acción	El alumnado profundizó en su conocimiento sobre los impactos locales y globales generados por la actividad humana.	1
Procesado de información y determinación del estado ambiental	El alumnado ordenó y procesó la información y concretó cuáles son las situaciones reales de los diferentes factores analizados.	2
Elaboración del producto final: plan de mejora del medio ambiente urbano.	Confección del documento con las propuestas de mejora donde se recogieron los resultados y observaciones obtenidas.	5
Preparación de la presentación	Se elaboró mediante el uso de las TIC una presentación de 10 minutos. Puesta a punto para el día de la exposición.	4
Exposición de la presentación.	Se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias de la Educación de la UGR ante los alumnos del Grado de Educación Social.	1
Total del proyecto		25

Métodos de observación

El objetivo de estas herramientas utilizadas no fue solo la evaluación del alumnado, sino conocer evidencias que mostraran cómo progresaba el proyecto, cuáles eran los puntos débiles o qué dificultades o problemas se estaban produciendo. Fueron las siguientes:

1. Diario de registro: datos y anotaciones. Observaciones generales, reflexiones, dificultades encontradas y cómo se les ha dado solución. Progreso del proyecto.

2. Debates en clase: ideas principales que se defienden y conclusiones obtenidas.
3. Encuesta: tanto al inicio como al finalizar el proyecto. Contiene preguntas abiertas y otras de respuesta múltiple.
4. Discusión en grupo: intentar anotar cuáles son los temas más recurrentes de discusión en los diferentes grupos.
5. Lluvia de ideas: anotar las ideas más representativas y con mayor significatividad.
6. Grabaciones o fotografías: para uso interno (para la presentación, por ejemplo) y como base para una mejora futura del proyecto.

Evaluación

La evaluación contó con varias herramientas de diversa tipología (Tabla 19.7 y Figura 19.11) respaldadas con rúbricas, aplicadas en diversos momentos durante el proyecto y contribuyó a la obtención de la calificación. Se dividió la evaluación en dos tipos:

- Formativa: tuvo lugar durante la realización del proyecto.
- Del producto final: en este caso se valoró el producto elaborado y su exposición.

Además, se llevó a cabo una evaluación del proyecto por parte del profesor.

Tabla 19.7. Diferentes herramientas utilizadas en la evaluación y aportación a la calificación.

EVALUACIÓN del PROYECTO			
Tipo	Descripción	Momento	Calificación
Formativa	Test inicial de conocimientos previos. (Individual)	Al inicio del proyecto	Informativo (0%)
	Diario de aprendizaje: reflexiones, dudas, dificultades, decisiones tomadas, etc. (Individual)	De forma continua	5 %
	Revisión del Portfolio: recolección de los diferentes productos originados a partir de las tareas y actividades realizadas. (Individual)	En el ecuador del proyecto y al final	15 %
	Registro de actuaciones: llamadas realizadas, e-mails enviados, etc. (Grupal).	De forma continua	Informativo (0 %)
	Rúbrica de Aprendizaje cooperativo: para conocer cuál era el estado del funcionamiento del trabajo por equipos. (Grupal)	De forma continua	10 %
	Corrección de actividades: el profesor las planteó a lo largo del proyecto. (Individual)	De forma continua	10 %

EVALUACIÓN del PROYECTO			
Tipo	Descripción	Momento	Calificación
Producto final	Producto final escrito (documento): revisión del plan de mejora diseñado. (Grupal)	Al final	30 %
	Presentación oral: se valoró la exposición, el formato y su adecuación. La audiencia participó cumplimentando una rúbrica de la exposición (Individual y Grupal)	Al final	20 %
	Prueba tipo test de contraste: similar a la inicial, sirvió para ver el grado de avance en el conocimiento adquirido. (Individual)	Al final	10 %
	Autoevaluación y reflexión: el alumnado cumplimentó unos cuestionarios.	Al final	Informativo (0%)



Figura 19.11. Diagrama que muestra desglosadas las diferentes facetas de la evaluación realizada.

Recogida de datos

Durante el proyecto se recogieron una serie de datos encaminados a conocer detalles acerca del funcionamiento del mismo. Para ello, se analizaron los diarios de aprendizaje del alumnado (digitales), se pasó una encuesta final sobre el desarrollo del proyecto, (dificultades y preferencias). Asimismo, se distribuyó además un breve cuestionario a la audiencia el día de la exposición del producto final. Cabe comentar que los productos generados a lo largo del proyecto fueron numerosos, de calidad y de carácter competencial, siendo susceptibles de análisis y de ser valorados como pruebas de evaluación. Algunos de los más relevantes fueron: medidas tabuladas de inmisión acústica y de gases contaminantes, y sus gráficas correspondientes de diferentes zonas urbanas; tablas y gráficas de las encuestas realizadas a la ciudada-

nía; fotografías y listados de especies visualizadas en los ríos urbanos (análisis de biodiversidad riparia); posters de tipo congreso para la presentación del producto final, etc.

CONCLUSIÓN

Una vez hemos detallado las características y pormenores de la metodología en cuestión, cabe reseñar que llevar a cabo la misma de forma rigurosa puede resultar complejo, máxime cuando no se ha afrontado su ejecución previamente. Resulta por tanto recomendable formarse con antelación para poder afrontar con ciertas garantías de éxito su ejecución. No obstante, debemos ser flexibles en cuanto a en qué medida nos vamos a ceñir a sus características y ser conscientes de que dicha metodología puede imbricarse con otras de corte más convencional, resultando más asequible adoptarla en un contexto académico más acorde a los ritmos y características de nuestro sistema educativo, que presenta un currículo extenso (sobre todo en secundaria) y muy compartimentado en materias, rasgos difícilmente compatibles con el ABP. En tal caso no debemos perder de vista los aspectos más prominentes del ABP, que son los que le confieren su alto potencial didáctico, tales como la pregunta guía o motriz, el planteamiento de un problema real, cercano y contextualizado, el producto final o la interacción con agentes externos al centro escolar.

Capítulo 20. Modelización y analogías en la enseñanza de las ciencias

José María Oliva, María del Mar Aragón-Méndez y Marta Gómiz-Aragón
Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Cádiz
Contacto: josemaria.oliva@uca.es

INTRODUCCIÓN

Las teorías y los modelos constituyen dos productos esenciales de las ciencias. Estos últimos son representaciones parciales, aproximadas y simplificadas de una parte del mundo real, útiles con fines tanto explicativos como predictivos (Gilbert y Boulter, 2000). En la ciencia, los modelos pueden entenderse en dos sentidos complementarios. Primero, como *modelos teóricos*, que forman parte de las teorías y median entre los principios abstractos y los fenómenos que representan (Giere, 1999); por ejemplo, el modelo cuántico del átomo contextualiza y da sentido a la mecánica cuántica, con valor explicativo y predictivo. Segundo, como *modelos analógicos*, que expresan, comunican y visualizan fenómenos de modo comprensible tanto para científicos como para la ciudadanía (Hesse, 1966). Ejemplos de estos son las maquetas, las simulaciones digitales o las analogías, entre otros.

En el ámbito escolar, es necesario incorporar una tercera categoría: *los modelos escolares*. Los modelos científicos no pueden ser los referentes directos del aprendizaje, pues requieren un proceso de transposición didáctica que los transforme en contenidos enseñables. En este sentido, los modelos escolares son el resultado de esa transformación. No constituyen una mera simplificación de aquellos, sino una reelaboración que los hace accesibles al alumnado (Izquierdo, 2005; Justi, 2006). En este sentido, los modelos escolares reinterpretan los modelos científicos con finalidades educativas, actuando como puentes entre la ciencia y la enseñanza.

Por otra parte, además de actuar como auxiliares de los modelos científicos, los modelos analógicos juegan un papel clave en los procesos de andamiaje durante la enseñanza. Las analogías, por ejemplo, son recursos valiosos para comprender un concepto o fenómeno (objeto o blanco) a través de su relación con un sistema análogo y familiar (Dagher, 1995). Ejemplos habituales son el átomo representado como un “sistema solar en miniatura” o las colisiones moleculares como “bolas de billar”. Estas representaciones permiten visualizar ideas abstractas de manera intuitiva y conectarlas con el mundo cotidiano.

Las analogías pueden ser estructurales o funcionales. Las primeras se centran en la organización interna de los elementos que componen un sistema, como cuando

se compara la tabla periódica con un calendario, ya que en ambos casos la clave está en la disposición ordenada y en la repetición de patrones. Las segundas destacan el funcionamiento del sistema, como en el paralelismo entre el corazón humano y una bomba hidráulica, donde lo relevante es la relación de utilidad. Según Duit (1991), una analogía debe establecer comparaciones explícitas y detalladas, a diferencia del símil (relación puntual, como “la resistencia eléctrica es como un cuello de botella”) o de la metáfora (identificación implícita, como la “nube de electrones”).

Hasta hace poco, fundamentar la enseñanza con analogías exigía apoyarse en la psicología o la filosofía, pero hoy cuentan con un marco propio en la Didáctica de las Ciencias, especialmente en la enseñanza basada en modelos y, más específicamente, en las metodologías de enseñanza basadas en modelización (Campbell *et al.*, 2015; Gilbert y Boulter, 2000; Gilbert, 2004; Taber, 2017). La modelización se entiende, entre otras cosas, como una práctica científica y una competencia que implica crear, usar y revisar modelos, comprendiendo su utilidad y limitaciones (Gilbert y Justi, 2016; Nicolaou y Constantinou, 2014; Oliva, 2019). A pesar de que rara vez se enseña explícitamente a modelizar, las analogías, por su naturaleza procesual, constituyen herramientas epistémicas clave para el desarrollo de la competencia de modelización. De hecho, todo proceso de modelización implica un componente analógico, ya que los modelos funcionan como representaciones analógicas de los fenómenos, pero no son los fenómenos mismos.

Las analogías no solo ilustran ideas, sino que también favorecen la evolución de las concepciones intuitivas a otras más próximas a la ciencia escolar (Corrochano, 2025; Gómez-Ochoa *et al.*, 2024; Marrero-Galván y González-Pérez, 2023). Sin embargo, su potencial va más allá al promover el desarrollo de estrategias cognitivas y epistemológicas esenciales para el aprendizaje científico. Al trabajar con analogías, los estudiantes analizan, comparan, relacionan y sintetizan, habilidades fundamentales tanto para la competencia de modelización como para la competencia científica en general. En suma, las analogías deben integrarse sistemáticamente en el aula, tanto para enseñar los modelos escolares como para fomentar la competencia científica en su conjunto.

EL USO DE ANALOGÍAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

Modelos y analogías

Tradicionalmente, las analogías se han usado para ilustrar ideas o facilitar la comprensión de conceptos aislados. No obstante, su construcción auténtica exige un proceso más complejo, ya que aprender significativamente mediante una analogía implica articular múltiples ideas y relaciones, favoreciendo un aprendizaje estructurado e interconectado en lugar de fragmentado. Por ejemplo, la Figura 20.1 muestra la analogía entre el átomo y el sistema solar. Se observa que la comparación

abarca un conjunto de conceptos y sus relaciones, no elementos aislados, actuando como una herramienta para “tejer” conocimiento y favorecer la construcción de modelos científicos.

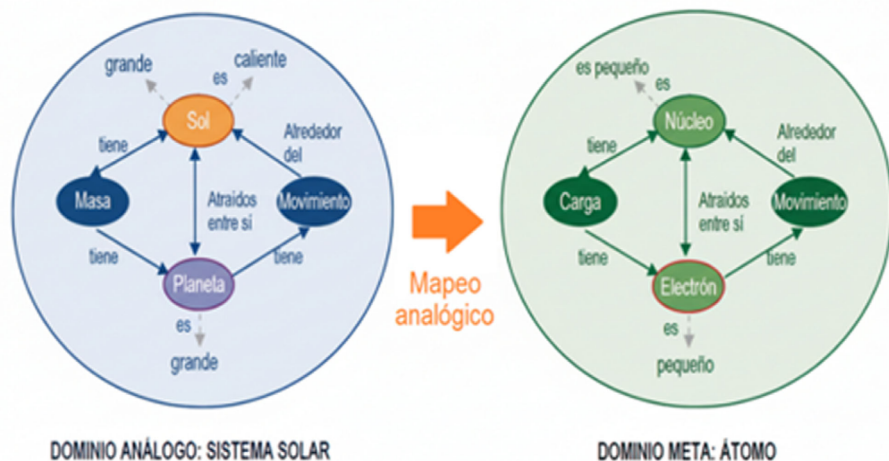


Figura 20.1. Relaciones estructurales en la analogía del átomo de Rutherford y un sistema solar en miniatura (Oliva, 2004)

Las analogías constituyen un tipo especial de modelo, pues detrás de cada una subyace un modelo de segundo orden que sintetiza los elementos y las relaciones comunes entre el objeto (lo que se explica) y el análogo conocido (Duit, 1991). Este modelo define la intencionalidad didáctica, es decir, la estructura o mensaje que se transfiere del análogo al objeto. El modelo de fuerzas centrales ejemplifica esta idea, al establecer paralelismos entre sistemas regidos por una fuerza central inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Se trata de un modelo que podríamos denominar “formal” ya que los dos sistemas que se comparan son modelos de la ciencia. Sin embargo, en otros casos, como en el símil entre “dos perros que muerden un mismo hueso” y el enlace covalente, el modelo analógico es “informal”, ya que el análogo pertenece al ámbito de la vida cotidiana.

Cómo encaja la analogía en un ciclo de modelización: cuándo y para qué usarlas

La modelización es un proceso recursivo e iterativo que diversos autores han intentado representar mediante diagramas cíclicos (Couso, 2020; Justi y Gilbert, 2002; Oliva, 2019), siendo el de la Figura 20.2 un ejemplo dentro de otros muchos.

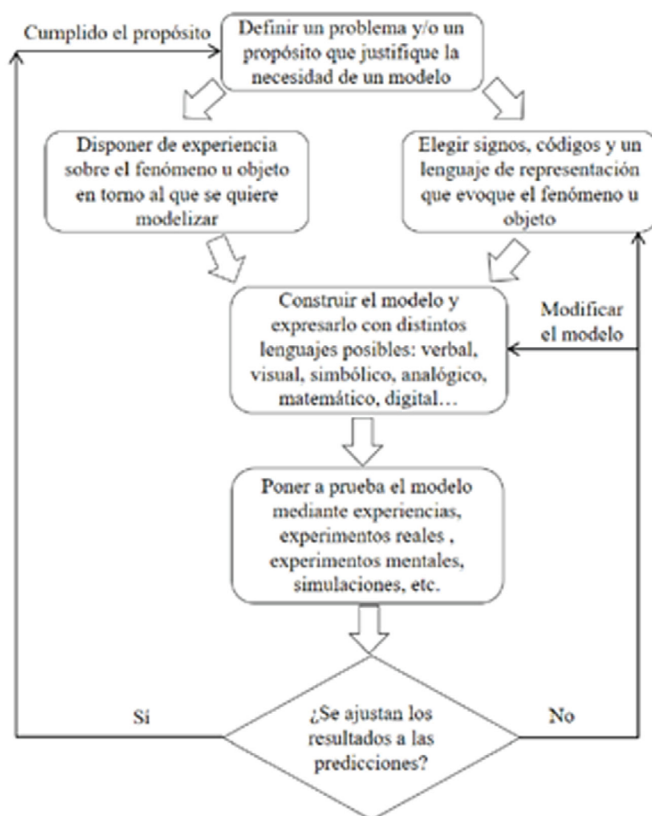


Figura 20.2. Ciclo de modelización (Oliva 2019, adaptado de Justi 2006)

En este contexto, las analogías pueden desempeñar un papel clave en varias fases del proceso de modelización. Por un lado, ayudan a seleccionar un lenguaje de representación adecuado, mediante análogos vinculados a las experiencias previas del alumnado. Así, la composición de sustancias puede representarse con piezas de Lego o bolas de plastilina como análogos estructurales de átomos y moléculas. Asimismo, pueden emplearse metáforas que den sentido a conceptos abstractos a partir de ideas concretas y familiares, como “tren de ondas”, “cadena trófica” o “efecto invernadero”, términos hoy consolidados en el lenguaje científico, pero de origen analógico.

Por otro lado, estos elementos pueden ensamblarse de manera sistemática en la fase de construcción y expresión del modelo, siendo utilizados para representar estructuras y procesos. Por ejemplo, se pueden usar piezas de lego para simular la ruptura de enlaces y la formación de nuevas moléculas durante el proceso del cambio químico.

Además, las analogías resultan útiles para la validación de un modelo, al permitir poner a prueba sus predicciones mediante simulaciones. Por ejemplo, un modelo

de partículas (como el de Dalton) puede comprobarse empíricamente (pesando reactivos y productos) o mediante simulación analógica, usando tornillos (T) y arandelas (A) (Alcudia y Palos, 2006; IPS Group, 1973). Esta analogía permite ilustrar leyes como las siguientes:

- Conservación de la masa: la masa total de tornillos (T) y arandelas (A) antes y después de formar los “productos” TA se mantiene.
- Proporciones definidas: la relación de masa entre tornillos y arandelas en el producto TA es constante, independientemente de la cantidad inicial.

Finalmente, muchos experimentos mentales recurren a analogías, símiles y metáforas. Por ejemplo, el célebre químico Kekulé imaginó en un sueño la estructura del benceno como una serpiente que se mordía la cola, lo que le permitió superar la idea de cadenas abiertas y proponer el modelo cíclico que explicaba su alta simetría (Ledesma, 2020).

En resumidas cuentas, el uso de analogías no debe ser puntual y aislado, sino recurrente y combinado en distintos momentos del ciclo de modelización. Por ello, conviene emplear estrategias sistemáticas que guíen el diseño de estos procesos.

Cómo usar analogías para construir modelos

Para un uso adecuado, es necesario superar la visión de la analogía como un recurso puntual o contenido prefabricado transmitido por el profesor o el libro de texto. Como se sugiere en la literatura (Oliva, 2006; Oliva y Aragón, 2009), debe concebirse como un proceso de construcción personal que el alumnado recorre activamente, fomentando el intercambio y la negociación de ideas mediante debate y discusión. La clase debe ser un escenario participativo, donde se propongan actividades que guíen la construcción de analogías. Además, se debe incentivar al estudiantado a generar y evaluar sus propias analogías, favoreciendo la comprensión conceptual y el desarrollo de habilidades de modelización.

Para ello, se aconseja seguir estrategias sistemáticas, como las del Modelo de Enseñanza con Analogías (modelo TWA) de Glynn *et al.* (1989), que contempla las siguientes etapas:

1. Presentar la idea nueva que se quiere enseñar (objeto o meta).
2. Sugerir una idea familiar y mejor conocida (análogo).
3. Identificar las similitudes entre ambas (puentes).
4. Explicar correspondencias específicas y relaciones entre sus componentes.
5. Indicar los límites de la analogía (dónde deja de funcionar la comparación).
6. Extraer conclusiones y revisar la comprensión del estudiante.

Para que estos pasos sean efectivos, se recomienda involucrar al alumnado en las etapas 2–5 según corresponda; complementar las analogías con imágenes y actividades de personificación; hacer explícitas las relaciones profundas; guiar y evaluar continuamente; analizar críticamente los límites de cada analogía; y emplear varias analogías para ilustrar un mismo modelo, acotando sus facetas y favoreciendo su evolución. Si se usan de forma pasiva o como productos cerrados, quienes aprenden pueden interpretarlas literalmente, generando falsas asociaciones y errores de aprendizaje. Además, si el análogo no es familiar o es tan complejo como el objeto, la analogía pierde utilidad para construir modelos.

Llevar estas ideas a la práctica implica materializarlas en actividades y situaciones de aprendizaje dentro del aula (Oliva, 2006; Oliva y Aragón, 2009). A continuación, se propone una tipología de actividades que pueden integrarse en secuencias didácticas basadas en analogías:

- Dedicar tiempo a identificar y debatir semejanzas y diferencias entre un análogo y el objeto de estudio, así como reconocer las limitaciones de la analogía, es decir, los aspectos del análogo que no se trasladan al objeto. Por ejemplo, al comparar piezas de Lego con átomos, las piezas son visibles y macroscópicas, mientras que los átomos no, y no reflejan sus propiedades reales. Esto ayuda a evitar transferencias inapropiadas de características macroscópicas al comportamiento de partículas a escala atómica.
- Expresión activa de la analogía. Presentar la analogía de manera parcial para que el alumnado complete las correspondencias. Así, al comparar la tabla periódica con un calendario, los estudiantes establecen activamente paralelismos y límites, desarrollando su capacidad de modelización.
- Uso de analogías múltiples. Emplear varias analogías para representar distintos aspectos del mismo fenómeno, complementando perspectivas y facilitando la progresión conceptual. En el estudio del cambio químico, por ejemplo, se pueden combinar Lego, frutas o plastilina para representar átomos y moléculas.
- Analogías para formular hipótesis y hacer predicciones. Por ejemplo, la unión de tornillos y arandelas permite prever la conservación de la masa en un cambio químico, ya que la masa no varía por el mero hecho de reorganizar piezas.
- Analogías elaboradas autónomamente por el propio alumnado, pero sometidas a crítica posteriormente mediante evaluación por pares de otros estudiantes.

Al situar las analogías como un proceso activo de construcción y crítica dentro del marco de la modelización, se logra no solo construir modelos, sino también desarrollar las competencias necesarias para interactuar con ellos y revisarlos.

EL USO DE ANALOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE LA COMPETENCIA DE MODELIZACIÓN

Las analogías no solo apoyan la construcción de modelos, sino que también fomentan el razonamiento analógico, un proceso relacional basado en similitudes (Zorlu y Zorlu, 2022) considerado fundamental para el pensamiento de orden superior (Eriksson *et al.*, 2024; Gray y Holyoak, 2021; Richland y Simms, 2015). Además, el desarrollo de este tipo de razonamiento puede ser clave para la competencia de modelización de los estudiantes. En lo que sigue, se analizará en primer lugar la competencia de modelización, luego se definirá el razonamiento analógico y, finalmente, se discutirá cómo este puede favorecer dicho proceso.

La competencia de modelización

Mediante la práctica de modelización, los estudiantes desarrollan no solo conocimientos, sino también capacidades, actitudes y valores que constituyen la competencia de modelización (Figura 20.3). Esta competencia incluye la capacidad de llevar a cabo prácticas de modelización propias de la actividad científica, como la construcción de modelos iniciales, su revisión y reformulación, la evaluación de su alcance y límites de validez, la expresión y comunicación de los modelos, y su aplicación en distintos contextos para interpretar fenómenos, hacer predicciones e interactuar con la realidad.

La competencia de modelización también incluye una dimensión metacognitiva, que implica reflexionar sobre los procesos de modelización y comprender la naturaleza y funciones de los modelos científicos (Nicolaou y Constantinou, 2014; Schwarz *et al.*, 2009). En conjunto, permite abordar fenómenos complejos, interpretar la realidad e interactuar con ella, y comprender cómo opera la ciencia (Oliva, 2019).

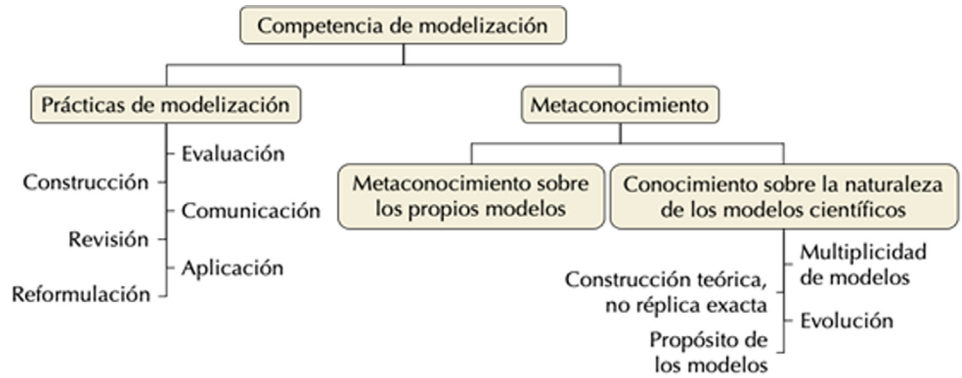


Figura 20.3. Componentes de la competencia de modelización. Adaptado de Nicolaou y Constantinou (2014).

El razonamiento analógico

El proceso del pensamiento analógico puede descomponerse en varias etapas básicas que permiten construir conocimiento a partir de relaciones de similitud entre un objeto de estudio y un análogo familiar (Gentner, 1983; Gentner y Holyoak, 1997). La Tabla 20.1 describe estas etapas y las ejemplifica mediante la analogía del sistema solar como análogo del átomo (Figura 20.1), siendo el fundamento del modelo TWA que ya vimos antes.

Tabla 20.1. Procesos que intervienen en el razonamiento analógico.

Procesos	Ejemplos
<i>Acceso al análogo.</i> El razonamiento analógico comienza recuperando uno o más análogos relevantes de la memoria.	Al analizar el átomo, se evoca un sistema conocido similar: el sistema solar, considerando un núcleo central masivo con carga positiva y electrones ligeros con carga negativa orbitando a su alrededor.
<i>Mapeo analógico.</i> Base del razonamiento analógico (Gray y Holyoak, 2021), consiste en asignar un análogo familiar al objeto de estudio e identificar correspondencias sistemáticas entre ambos basadas en relaciones causales, funcionales, estructurales, matemáticas, etc.	Se descartan atributos irrelevantes del análogo (color, tamaño) y se identifican relaciones significativas: atracción, mayor masa del núcleo y movimiento orbital. Se excluyen relaciones no relevantes, como la temperatura del Sol.
<i>Inferencia analógica.</i> Las correspondencias permiten generar nuevas inferencias sobre el objeto, creando conocimiento en ese dominio.	Se transfieren las relaciones seleccionadas al átomo: la atracción entre núcleo y electrones explica que los electrones giren alrededor del núcleo, más masivo, generando conocimiento sobre la estructura del átomo y su dinámica.
<i>Evaluación de la analogía.</i> Las inferencias se revisan y ajustan según las características del objeto.	La analogía permite comprender que los electrones se mantienen alejados del núcleo y proporciona una imagen dinámica del átomo distinta a modelos históricos. Sin embargo, difiere en la naturaleza de la fuerza (electrostática vs. gravitatoria) y no abarca consideraciones cuánticas, lo que constituye un límite.
<i>Generalización.</i> Se generan nuevas categorías y esquemas que facilitan la comprensión y aplicaciones futuras, integrándose en la memoria.	Se puede conceptualizar el átomo como un sistema de fuerzas centrales, almacenando esta visión en la memoria y utilizándola en aplicaciones futuras, como aproximaciones mecanicistas al cálculo de radios atómicos.

Puede verse que el proceso analógico comienza con el acceso al análogo, recuperando sistemas o experiencias relevantes de la memoria; sigue con el mapeo analógico, que identifica correspondencias sistemáticas entre análogo y objeto, basadas en relaciones causales, funcionales, estructurales o matemáticas (Gray y

Holyoak, 2021). A partir de estas relaciones se generan nuevas inferencias sobre el objeto (inferencia analógica), que posteriormente se revisan y ajustan según sus características (evaluación de la analogía). Finalmente, el proceso permite crear nuevas categorías y esquemas que facilitan la comprensión y aplicaciones futuras (generalización).

Razonamiento analógico y competencia de modelización

Los procesos del razonamiento analógico están estrechamente vinculados con la modelización. El mapeo y la inferencia analógica contribuyen directamente a la construcción y formulación de modelos, mientras que la evaluación de la analogía ayuda a revisar los modelos y definir sus límites de validez. Además, las analogías facilitan la comunicación y justificación de los modelos. En esta línea, Costa Ramos *et al.* (2021) muestran cómo, cuando los estudiantes generan sus propias analogías sobre los modelos atómicos de Dalton y Rutherford y participan activamente en debates, evaluando y negociando críticamente las analogías, se apropian de la analogía como herramienta. En esta situación, los estudiantes actúan como agentes epistémicos, lo que implica un fortalecimiento de su competencia en modelización.

Las tareas de modelización pueden desarrollarse con distintos niveles de complejidad (Justi y Gilbert, 2002). En coherencia con ello, Aragón-Méndez y Oliva (2020) identifican un paralelismo entre la modelización y el razonamiento analógico, sustentado en la presencia de procesos cognitivos comunes que operan en cada nivel. La Tabla 20.2 ilustra esta correspondencia.

Tabla 20.2. Dimensiones propias de la modelización y el pensamiento analógico, según el nivel de complejidad, y capacidades y valores epistémicos compartidos.

Nivel de complejidad	Competencia de modelización	Procesos cognitivos compartidos	Pensamiento analógico	Nivel de complejidad
Aprender modelos	Expresar modelos y relaciones	Comunicación. Identificación.	Formular y expresar analogías	Aprender analogías
	Conocer y diferenciar diversos modelos	Diferenciación. Síntesis	Conocer y diferenciar diversas analogías	
Aplicar modelos	Estimar la utilidad de los modelos	Metaconocimiento	Estimar la utilidad de las analogías	Aplicar analogías
	Representar modelos	Representación	Representar procesos analógicos	
	Interpretar la realidad de forma verbal	Explicación Inferencia	Interpretar la realidad de forma verbal	
	Aplicar modelos en situaciones de indagación	Manejo de evidencias. Argumentación	Realizar predicciones o experimentos mentales, usando analogías	

Nivel de complejidad	Competencia de modelización	Procesos cognitivos compartidos	Pensamiento analógico	Nivel de complejidad
Revisar modelos	Reconocer carácter aproximativo y limitado	Metaconocimiento	Reconocer carácter figurado y limitado de las analogías	Revisar analogías
	Admitir la provisionalidad de los modelos	Metaconocimiento		
	Establecer límites de validez de los modelos	Evaluación	Establecer límites de validez de las analogías	
	Gestionar el uso de modelos	Evaluación	Gestionar el uso de diferentes analogías	
Reconstruir modelos	Participar en la generación de modelos	Análisis y comparación.	Participar en la generación de analogías	Reconstruir analogías
	Proponer nuevas formas de representación	Identificación y establecimiento de relaciones.	Delimitar formas de representación de análogos	
Crear modelos		Inferencia. Creatividad. Imaginación	Proponer y desarrollar analogías con autonomía	Crear analogías

Investigaciones con estudiantes de secundaria tras una secuencia de modelización del cambio químico (Aragón-Méndez y Oliva, 2020; Oliva y Aragón-Méndez, 2017) mostraron grados de asociación razonablemente altos entre los procesos de modelización (construir, usar, revisar y comparar modelos) y sus homólogos en el razonamiento analógico, aunque no se alcanzó significación estadística para los metaconocimientos. Estas correspondencias reflejan los procesos compartidos entre ambas tareas (Tabla 20.1) y refuerzan la idea de que el uso de analogías en el aula puede favorecer el desarrollo de destrezas necesarias para la modelización científica. De forma recíproca, implicarse en procesos de modelización contribuye al desarrollo del razonamiento analógico.

Otras investigaciones en didáctica de las ciencias apoyan esta idea. Basándose en el modelado analógico de Nersessian (2002), Mozzer y Justi (2018) proponen un proceso de modelado analógico para la enseñanza de las ciencias, en el que,

- Los modelos y las analogías se trabajan como recursos de pensamiento en un intento de comprender y expresar la entidad modelada.
- Los estudiantes crean, expresan, evalúan y revisan (cuando sea necesario) los modelos y las analogías a lo largo de las etapas de la modelización analógica.
- Se favorecen intencionadamente los subprocesos del razonamiento analógico (acceso, mapeo, inferencia, evaluación y generalización) a lo largo de estas etapas.

La aplicación del modelado analógico a una secuencia didáctica sobre disoluciones (Mozzer y Justí, 2018) mostró que las analogías no solo apoyan la construcción de un modelo interpretativo, sino que también favorecen el desarrollo de habilidades del razonamiento analógico (acceso, mapeo, inferencia, evaluación y generalización), confirmando una influencia mutua positiva entre este y la competencia de modelización.

De manera complementaria, Lin y Chao (2024) definen la competencia de modelización analógica como la capacidad de usar procesos de razonamiento analógico para construir modelos, un constructo integral que abarca aspectos cognitivos, metacognitivos y conductuales. Incluye tanto el acceso a conocimientos previos necesarios como la ejecución de un ciclo completo de modelización. Además, estos autores desarrollan y validan un instrumento cuantitativo a gran escala para evaluar esta competencia en ciencias, en el contexto de la priorización curricular de la modelización.

Como puede apreciarse, las analogías constituyen una herramienta valiosa para el desarrollo de la competencia de modelización y, por extensión, de la competencia científica. Cabe destacar, en particular, su potencial para fomentar habilidades de alto nivel, como el pensamiento crítico y la creatividad.

EL USO DE ANALOGÍAS PARA EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO CREATIVO

Como se ha destacado antes, el papel de las analogías en la enseñanza de las ciencias va más allá del acceso y la comprensión de conceptos abstractos. Según Heywood (2002), su verdadero potencial radica en promover el autocuestionamiento más que en su poder explicativo; el aprendizaje ocurre principalmente cuando se analiza críticamente la analogía, evaluando su aplicabilidad y reconociendo sus limitaciones (Haglund, 2013). Investigaciones previas muestran que el desarrollo del pensamiento analógico favorece procesos de razonamiento de orden superior, como la evaluación de ideas y la generación de inferencias novedosas (Richland y Simms, 2015; Zorlu y Zorlu, 2022). Todo ello sugiere que trabajar con analogías puede contribuir al desarrollo del pensamiento crítico y creativo, una competencia cada vez más relevante en la didáctica de las ciencias.

El pensamiento crítico creativo

El pensamiento crítico ha sido estudiado desde perspectivas filosóficas, psicológicas, pedagógicas y didácticas, sin que exista una definición única ni consenso sobre sus dimensiones. No obstante, diversos autores lo describen como un pensamiento racional, reflexivo y deliberado, orientado a decidir qué creer o hacer (Ennis, 1996). Implica analizar, evaluar y aplicar información de manera disciplinada (Scriven y

Paul, 2007), combinando habilidades cognitivas y metacognitivas con disposiciones afectivas (Kuhn, 2021). Entre sus habilidades principales se incluyen la interpretación, el análisis, la evaluación, la inferencia, la explicación y la autorregulación, así como la conciencia metacognitiva sobre el propio pensamiento. Además, se destaca su relación con la creatividad, que abre nuevas posibilidades mientras el pensamiento crítico proporciona criterios de evaluación rigurosos (Paul y Elder, 2006; Prado-Arenas *et al.*, 2022).

En la enseñanza de las ciencias, el pensamiento crítico es inherente a la actividad científica y constituye un componente clave de la alfabetización científica. Entre las taxonomías existentes, sobresale el marco de desarrollo conjunto del pensamiento crítico y creativo (PCC), que organiza cuatro dimensiones —capacidades, conocimientos, disposiciones, actitudes y valores, o espíritu crítico, y normas o criterios para evaluar la calidad del pensamiento y el juicio de valor— para promover un pensamiento ético y eficaz ante la complejidad contemporánea (Tenreiro-Vieira y Vieira, 2022). Esta perspectiva muestra que el pensamiento crítico no se limita al análisis, sino que se proyecta hacia la acción responsable y transformadora.

Aportaciones de las analogías al pensamiento crítico

Desde hace décadas, diversos estudios han destacado la relación entre el uso de analogías y el desarrollo del pensamiento crítico (Swick y Miller, 1975; Halpern, 1987). En la enseñanza de las ciencias, esta relación también ha sido estudiada. Por ejemplo, Suryanda *et al.* (2020) proponen el uso de analogías para abordar temas de medioambiente y biodiversidad con el fin de fomentar el pensamiento crítico en el alumnado; Kapetanakis *et al.* (2024) sugieren diseñar tareas colaborativas centradas en la elaboración de analogías en el contexto del flujo de información genética; y Chang (2025) plantea que la interacción entre pensamiento crítico y analogías en áreas como estadística, ciencia y tecnología puede potenciar el desarrollo de competencias esenciales en la sociedad actual. Además, aunque muchas propuestas no abordan explícitamente el pensamiento crítico, contribuyen al desarrollo de algunas de sus dimensiones a través del uso de analogías.

En primer lugar, destacan las capacidades cognitivas analíticas y evaluativas, necesarias para pensar con eficacia y tomar decisiones racionales. En este sentido, el trabajo con analogías aporta una herramienta analítica potente —el mapeo analógico— que facilita el establecimiento de relaciones causales, estructurales y funcionales entre dominios (Gray y Holyoak, 2021; Richland y Simms, 2015), superando diferencias superficiales que dificultan la conexión entre conceptos. Kapetanakis *et al.* (2024) subrayan que el grado de sistematicidad en el mapeo de analogías es un buen indicador de las habilidades de pensamiento crítico. Asimismo, utilizar y generar analogías exige, como se vio antes, que los estudiantes evalúen las comparaciones establecidas, identifiquen sus limitaciones y juzguen su coherencia con el

concepto científico, lo que constituye una parte esencial del pensamiento crítico (Heywood, 2002). Así, la exploración de las limitaciones de las analogías fomenta interacciones evaluativas en las que las ideas de los estudiantes son examinadas y discutidas (Costa Ramos *et al.*, 2021).

En segundo lugar, dentro del marco de la dimensión del conocimiento, las analogías son herramientas que facilitan la comprensión de conceptos científicos abstractos y complejos (Eriksson *et al.*, 2024). El razonamiento analógico permite a los estudiantes organizar y sistematizar el conocimiento de manera similar a los expertos, ser conscientes de que este sistema relacional puede refinarse y aplicarse de forma flexible en distintos contextos (Richland y Simms, 2015). Las analogías también han estado presentes en numerosos casos históricos de la ciencia (Nersessian, 2002), por lo que su trabajo desde esta perspectiva favorece no solo el acceso al conocimiento científico, sino también la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Su uso ayuda a valorar la lógica y racionalidad de las teorías científicas frente al sentido común o las pseudociencias, a reconocer los modelos teóricos como base para interpretar la realidad y a aceptar las limitaciones tanto de los modelos como de la propia ciencia.

En tercer lugar, las normas o estándares de evaluación del pensamiento constituyen otra dimensión del pensamiento crítico que puede desarrollarse mediante el trabajo con analogías desde una perspectiva metacognitiva y autorreguladora. El mapeo analógico aporta sistematicidad y planificación al proceso de elaboración del conocimiento (Gentner, 1983), mientras que el reconocimiento de las limitaciones de las analogías asegura coherencia en la evaluación (Costa Ramos *et al.*, 2021). Además, el enfoque metacognitivo de las analogías permite que los estudiantes examinen las suposiciones que sustentan sus marcos explicativos, especialmente su coherencia racional (Heywood, 2002), favoreciendo el metaconocimiento sobre la práctica científica (Brown y Salter, 2010).

En cuarto lugar, el desarrollo del razonamiento analógico puede fomentar la disposición a actuar críticamente, promoviendo actitudes y valores necesarios para la modelización, más allá de las capacidades procedimentales (Oliva, 2004). Asimismo, el trabajo con analogías puede ayudar a valorar las propias ideas como herramientas y puntos de partida para nuevos aprendizajes, y a mantener una mente abierta ante la posibilidad de modificarlas.

Aportaciones de las analogías a la creatividad

Las analogías requieren un pensamiento genuinamente creativo, de modo que las innovaciones en ciencia y arte frecuentemente surgen del pensamiento analógico (Johnson-Laird, 1989). Constituyen una herramienta fundamental para la creatividad humana, ya que implican la capacidad de ver una cosa como si fuera otra, lo que se ha denominado un “salto mental” (Johnson-Laird, 1989; Zorlu y Zorlu, 2022).

En el aula, el trabajo con analogías desarrolla la creatividad porque el razonamiento analógico imita el proceso creativo de los científicos, al requerir que los estudiantes generen, evalúen y refinan relaciones entre un concepto conocido y uno nuevo (Costa Ramos y Braga Mozzer, 2018). Las analogías estimulan habilidades cognitivas, incluyendo la imaginación. Cuando se presentan analogías incompletas, se favorece la creación de relaciones novedosas por parte de los estudiantes; sin embargo, la faceta creativa se evidencia especialmente cuando las analogías son generadas por los propios estudiantes (Haglund, 2013; Costa Ramos *et al.*, 2021), permitiendo la expresión auténtica de ideas, la generación de nuevo conocimiento y el desarrollo de la creatividad.

El proceso de mapeo y razonamiento analógico se considera un proceso creativo de resolución de problemas, ya que implica la búsqueda, identificación, construcción y evaluación de relaciones entre el dominio del análogo y el dominio del objeto (Eriksson *et al.*, 2024). En la modelización, las analogías facilitan la comunicación de ideas, ayudando a expresar conceptos abstractos y modelos reconstruidos mediante la imaginación (Costa Ramos *et al.*, 2021; Zorlu y Zorlu, 2022). Además, las representaciones analógicas pueden revisarse y mejorarse, reflejando que el proceso de modelización es dinámico y creativo (Bicalho *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

El análisis realizado evidencia que las analogías constituyen un recurso didáctico de gran relevancia en la enseñanza de las ciencias, no solo como herramienta para la comprensión de modelos abstractos, sino también como elemento central en el desarrollo de competencias científicas de orden superior. A lo largo del ciclo de modelización, las analogías facilitan la construcción, revisión y comunicación de modelos, actuando como puentes cognitivos entre el conocimiento previo del alumnado y las estructuras conceptuales propias de la ciencia. En este sentido, la analogía se revela como un instrumento capaz de articular conocimiento, evitando aprendizajes fragmentarios y promoviendo una comprensión profunda de los fenómenos estudiados.

Asimismo, el trabajo con analogías fomenta el desarrollo del razonamiento analógico, proceso que permite acceder a análogos relevantes, establecer correspondencias sistemáticas, inferir relaciones, evaluar su validez y generalizar conocimiento. Este razonamiento, estrechamente vinculado a las prácticas de modelización, contribuye al fortalecimiento de la competencia de modelización del alumnado, integrando dimensiones cognitivas, metacognitivas y procedimentales que permiten interpretar fenómenos, realizar predicciones y gestionar modelos de manera crítica y creativa. La evidencia empírica revisada muestra que la generación, evaluación y discusión de analogías en el aula promueve la apropiación de los modelos por parte del alumnado y potencia la argumentación científica, la revisión de ideas y la identificación de limitaciones conceptuales (Justi, 2015).

Además, las analogías constituyen un motor para el pensamiento crítico creativo, al exigir que los estudiantes evalúen, cuestionen y adapten comparaciones entre dominios conocidos y nuevos. Este proceso desarrolla habilidades cognitivas de alto nivel, fomenta la conciencia metacognitiva, y estimula la creatividad mediante la generación de relaciones novedosas y la expresión original de ideas. La práctica sistemática de analogías, especialmente cuando los estudiantes participan activamente en su construcción, fortalece la reflexión crítica sobre los modelos y la ciencia misma, contribuyendo al desarrollo integral de competencias científicas y al cultivo de actitudes de apertura, flexibilidad y juicio riguroso.

En síntesis, las analogías son mucho más que un recurso ilustrativo: constituyen una herramienta epistémica y didáctica que, adecuadamente integrada en secuencias de aprendizaje basadas en modelización, potencia la comprensión conceptual, la creatividad, el pensamiento crítico y la competencia científica de los estudiantes. Su inclusión sistemática en la enseñanza de las ciencias representa, por tanto, una estrategia clave para formar ciudadanos capaces de interpretar, evaluar y aplicar el conocimiento científico de manera autónoma, crítica y creativa.

Agradecimientos: contenido desarrollado como parte del proyecto PID2022-136353NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER/UE.

Capítulo 21. Juego y ciencia, del antagonismo a la sinergia. Aprendizaje Basado en Juegos en Didáctica de las Ciencias Experimentales

Alicia Fernández-Oliveras y Mercedes Vázquez-Vílchez

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada

Contacto: alilia@ugr.es; mmvazquez@ugr.es

DE LA FALSA CREENCIA DE QUE JUEGO Y CIENCIA SON ANTAGÓNICOS

Que jugar implica diversión no se pone en duda. Que el juego sea algo muy serio, como afirmaba el filósofo e historiador Johan Huizinga (1944) en su emblemática obra *Homo Ludens*, ya no está tan aceptado (Fernández-Oliveras, 2019; Marín, 2018). Considerar al juego poco digno de ser tomado en serio deriva de la concepción errónea de que lo contrario de divertido es serio, en vez de aburrido (Pedraz, 2019). Y la ciencia, no por seria, tiene que ser aburrida, y mucho menos aprenderla.

En la educación actual, cada vez es más difícil rehusar de que los aspectos emocionales han de ser tenidos en cuenta. Por otro lado, también está clara la necesidad de abordar de manera integral la formación de las personas, de modo que lo que se ha convenido en denominar tradicionalmente como «conocimientos» ha de ligarse a destrezas y actitudes. El caso de la educación científica no es una excepción, siendo por tanto necesario aunar esfuerzos en pro de favorecer el trabajo integrado de conceptos, destrezas y actitudes científicas (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018), acompañado de una adecuada estimulación emocional (Vázquez-Alonso, 2013).

Dado que la experiencia afectiva es uno de los procesos generadores de actitudes hacia las ciencias (Vázquez-Alonso, 2013), resulta especialmente importante proporcionar vivencias en las que las emociones asociadas contribuyan a establecer un vínculo afectivo favorable con las ciencias. En esto puede ser de gran utilidad el enfoque lúdico de la educación científica y, en particular, las estrategias basadas en el uso de juegos para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Hernández del Barco *et al.*, 2021; Sánchez-Martín *et al.*, 2018, 2020).

Por otro lado, el estado de inmersión que se puede alcanzar mediante las técnicas de juego está especialmente indicado para favorecer el aprendizaje en áreas STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) (Bergen, 2009), pues existe un paralelismo entre los procesos que se realizan para abordar un «problema» clásico de estas disciplinas y los que se llevan a cabo al jugar un juego (Tabla 21.1). Gracias

a su analogía accesible con la práctica científica, los juegos facilitan aprender sobre observaciones, justificaciones, argumentos, modelos, planificación, comunicación y debate cooperativo (Manassero-Mas *et al.*, 2021). A través del juego los estudiantes tienen oportunidad de desarrollar destrezas de pensamiento científico, por ejemplo, creando hipótesis reflexivas, argumentando en base a pruebas para explicar y predecir observaciones, y practicando la investigación como proceso basado en evidencias y razonamientos, pero también vinculado a aspectos sociales, como convencer a la comunidad (Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2023).

Desde esta perspectiva, se pueden idear propuestas formativas basadas en el uso de juegos como situaciones epistémicas en las que el alumnado jugador se ejercite en prácticas propias de la ciencia (Manassero-Mas *et al.*, 2021; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2023, 2024; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017). Los juegos también pueden proporcionar contextos idóneos para incorporar aspectos no epistémicos de la Naturaleza de la Ciencia, introducir la Historia de la Ciencia (Aragón y Vicente, 2024) e, incluso, ayudar a superar estereotipos de género proyectando una imagen de la ciencia y la tecnología más realista y motivadora (Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2024). Además, especialistas en el desarrollo de juegos señalan su poder para canalizar actitudes positivas y de colaboración en el contexto social actual, advirtiéndole que la inteligencia colectiva que se desarrolla jugando está siendo subestimada y debería aprovecharse para solucionar muchos de los problemas que afrontamos como sociedad actualmente, tales como el cambio climático o los conflictos políticos internacionales (McGonigal, 2011).

Los prejuicios y la falta de conocimientos sobre las bondades educativas del juego están poniendo en riesgo su aplicación incluso en aquellas etapas de la educación formal en las que antes no se cuestionaba, como la Educación Infantil, cuando lo interesante es justo lo contrario: extender esta vía de aprendizaje a lo largo de toda la vida, incluida la edad adulta (Fernández-Oliveras, 2019; Hirsh-Pasek *et al.*, 2003; Marín, 2018; Resnick, 2017). Si bien, está menos presente a partir de la Educación Primaria (Hernández del Barco *et al.*, 2021), el desarrollo de actitudes y destrezas de pensamiento científico a través de juegos es viable en todas las etapas educativas, incluida la Educación Superior (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018), y es especialmente interesante para la formación del profesorado de ciencias (Fernández-Oliveras, 2019).

En definitiva, en todas las etapas educativas, jugando se pueden aprender conceptos científicos a la vez que se desarrollan destrezas de pensamiento y actitudes científicas, experimentando emociones activadoras que permiten establecer un vínculo afectivo favorable con las ciencias, por lo que las metodologías de enseñanza-aprendizaje basadas en el juego y en lo lúdico merecen un lugar destacado dentro de la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Tabla 21.1. Comparativa de los procesos de resolución de problemas y de jugar un juego, adaptada de Edo *et al.* (2008) y Carmona y Cardeñoso (2019).

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA		ABORDAJE DEL JUEGO	
Fases	Acciones	Acciones	Fases
Comprensión del problema	¿Qué nos pregunta el problema?	¿Cuál es el objetivo del juego? (condiciones de victoria)	Comprensión de los objetivos del juego y de sus normas
	¿Con qué se cuenta para resolverlo?	¿Cómo se puede alcanzar el objetivo?	
	Identificación de los datos del problema y de conocimientos relacionados	Identificación de acciones posibles (condiciones de progresión) y de experiencias de juego relacionadas	
Diseño y ejecución de un plan	Comparación con problemas análogos	Comparación con juegos similares	Desarrollo de la partida
	Establecimiento de conjeturas o hipótesis	Elaboración de posibles estrategias	
	Evaluación de conjeturas o hipótesis	Evaluación de estrategias	
Verificación de la solución obtenida	Ejecución de un plan	Jugar	Validación o refutación de la estrategia y análisis de lo que ha pasado
	¿Funciona? ¿Sirve en cualquier problema?	¿Funciona? ¿Sirve en cualquier partida o situación del juego?	
	Generalización de la estrategia	Generalización de la estrategia	
	¿Sirve para intentar resolver determinadas tipologías de problemas?	¿Sirve para intentar conseguir los objetivos de ciertos tipos de juegos (ganar)?	
	Modelización de la estrategia	Modelización de la estrategia	

ACLARANDO CONCEPTOS: JUEGOS EDUCATIVOS Y APRENDIZAJE LÚDICO

“Cuando jugamos, aunque no queramos, estamos aprendiendo” (Sánchez Montero, 2021, p.58). Y es porque la diversión implica aprendizaje, entendido este como estímulo de las capacidades, no como reproducción mecánica y memorística, que sería más bien entrenamiento, el cual, si no supone un reto, tampoco será divertido. Por eso jugar es educativo en sí mismo y los juegos también serán educativos en tanto en cuanto resulten divertidos. Así, cuando un juego ya resulta demasiado fácil, cuando ya no estimula, se hace aburrido. Extrapolando esto a actividades lúdicas que no sean juegos (leer, ver cine/series/tv/contenidos de internet, oír música, viajar, hacer manualidades, pasatiempos...) también podemos comprobar que se cumple: no nos van a divertir si no nos estimulan en algún sentido. Las disfrutamos porque nos hacen pensar, reflexionar, descubrir, imaginar, emocionarnos... (Fernández-Oliveras, 2019).

Hablamos de juegos educativos porque, si bien el juego es educativo en sí mismo, como acaba de exponerse, “se hace evidente la importancia de tener unos objetivos

educativos claros y concretos y unos indicadores que los orienten. Sin ellos sería imposible encauzar adecuadamente la reflexión necesaria” (Marín, 2018, p.246). Aplicamos la idea desarrollada en sus actividades de formación por Imma Marín (2018), presidenta nacional de IPA (*Internacional Play Association*), miembro del Observatorio del Juego Infantil y fundadora de una consultoría para instituciones educativas y empresas basada en el juego, tras 18 años de experiencia en una de las ludotecas pioneras de España. Dicha idea se sintetiza a través del acrónimo ALART, que proviene de considerar la Actitud Lúdica como compuesta de Acción (juego), Reflexión y Transferencia. De este modo, explica la experta, “el propio concepto de juego, que nos habla de espontaneidad, placer, gratuidad, libertad, se imbrica en el uso didáctico-educativo que perseguimos” (Marín, 2018, p.246), ya que, según sus propias palabras, “la acción (juego) sin reflexión es ciega. Y la reflexión sin acción es insuficiente” (Marín, 2018, p.246). En definitiva, asumiendo que todo juego es educativo «sin querer», podemos denominar juegos educativos a aquellos que tienen expresa la intencionalidad de que se aprenda con ellos.

Dentro de los juegos educativos, actualmente pueden considerarse incluidos los denominados «juegos serios» (*serious games*), términos originariamente empleados para designar juegos concebidos con el fin de informar sobre un contenido específico o instruir en una habilidad instrumental particular (Cornellà *et al.*, 2020); como, por ejemplo, realizar una operación quirúrgica o pilotar un avión en un “entorno no letal”, porque “muchas habilidades solo se pueden enseñar con la práctica, y muchas lecciones solo se pueden aprender a través del fallo” (Michael y Chen, 2005, p. xvi). La diferencia inicial con el uso de juegos educativos de otro tipo era que en los *serious games* la experiencia formativa no perseguía propiamente el aprendizaje a través de la diversión de los participantes, sino que constituía algo más parecido a un entrenamiento en un contexto de simulación seguro que podía, o no, resultar divertido (Marcano, 2008). Es por esto que la denominación, en sí misma, ya implicaba una contradicción, pues para ser llamados tales, los juegos han de ser divertidos (Koster, 2013). Además, esta designación puede inducir al equívoco de pensar que solo los juegos serios, que no tienen por qué divertir, sirven para enseñar, reforzando las ideas erróneas sobre juego y aprendizaje ya comentadas.

Actualmente, en la práctica, la denominación de juegos serios se ha asimilado a la de juegos educativos, con el matiz de estar destinados a formar en el dominio de un contenido específico. Lo que sí debieran conservar los *serious games* para constituir una subcategoría dentro de los juegos educativos, es la filosofía de las simulaciones, buscando replicar una determinada realidad y la máxima inmersión en ella, de modo que el aprendizaje adquirido jugando sea lo más parecido a desempeñar una tarea o cumplir con una finalidad en su contexto real. Quizás, más que serios (pues, según Huizinga, todos los juegos lo son), debieran denominarse «juegos realistas» e incluir en su definición que su narrativa simule una realidad, además de ser juegos que capaciten e informen (Michael y Chen, 2005). Esta es la idea que siguen algunos denominados juegos serios donde se pretende situar a los

participantes en contextos reales complejos, y que comparten con los juegos de rol la intencionalidad de crear algún tipo de conciencia, sensibilidad, compromiso o cambio de comportamiento en sus participantes (Schmidt *et al.*, 2014), buscando que sus jugadores se impliquen en los problemas actuales de índole medioambiental, económica, social o cívica (Baaden *et al.*, 2018; Ouariachi *et al.*, 2017).

Las últimas tendencias en juegos educativos y, especialmente, en *serious games* apuntan al uso de juegos digitales y videojuegos (Ouariachi *et al.*, 2017; Pisabarro Marrón y Vivaracho, 2018), pero no por ello hay que pensar que las experiencias de juego que se lleven a cabo en las aulas del futuro van a estar basadas en soportes electrónicos mayoritariamente. Es cierto que, en los últimos años, el uso de simuladores y de juegos digitales ha aumentado, pero no hay que olvidar la potencia de los juegos de rol y los juegos de mesa, que son de los más utilizados educativamente, ya que es más fácil y asequible adaptar sus elementos a los contenidos curriculares, que modificar un videojuego o diseñarlo expresamente para lo que se pretende abordar. En el uso educativo de juegos, igual que ocurre con otros materiales didácticos, lo ideal sería el equilibrio entre los formatos físicos y digitales.

Pero, ¿qué es un juego? Y, sobre todo, ¿qué lo distingue de una mera actividad que resulte divertida al alumnado? Existe todo un debate acerca de la conceptualización de lo que es un juego (Plass *et al.*, 2015; Stenros, 2017), de modo que, ni de «juego» (*play*), ni de «juegos» (*games*) existe una definición unívoca y completamente consensuada en la literatura específica (Koster, 2013), si bien se encuentran algunos puntos de convergencia. Un juego ha de ser divertido (Koster, 2013), aunque esta condición necesaria no es suficiente. La propuesta de definición de David Myers (2009) resume las características de los juegos en cuatro esenciales: reglas, objetivos, oposición y representación. Para detallar su redacción, proponemos que un juego es un desafío contra una tarea u oponente buscando un objetivo propio, implica un conjunto de reglas que lo controlan, y representa una situación arbitraria ficticia, claramente delimitada en el tiempo y en el espacio desde la vida real. Por tanto, atendiendo a lo que más interesa desde un punto de vista educativo, una diferencia clave entre una actividad divertida y un juego es que este último tiene su propio fin u objetivo, paralelo al educativo: algo que tienen que conseguir en el mundo propio del juego quienes se implican en él mientras juegan. Además de ese objetivo que da fin y finaliza el juego, denominado condición de victoria, es necesario que existan una serie de reglas que estipulen cómo avanzar para alcanzarlo, que se denominan condiciones de progresión. La narrativa o contexto, que actúa como hilo conductor de lo que sucede en el juego, si bien suele ser muy representativa (Jenkins, 2005), no es imprescindible (hay muchos juegos abstractos, como el tres en raya o el parchís, aunque los materiales de estos, con frecuencia, proceden históricamente de una realidad que se ha abstraído).

Para referirse a cualquier experiencia que tenga relación con los juegos, popularmente se utiliza el término gamificación, pero en realidad existen diferentes planteamientos a la hora de utilizar el juego desde un punto de vista educativo (Gómez

Urquiza, 2019) y sería más adecuado hablar de aprendizaje lúdico (Hirsh-Pasek *et al.*, 2003; Marín, 2018; Resnick, 2004, 2017). Concebimos el aprendizaje lúdico (*playful learning*) como un marco metodológico que ampara todas las estrategias didácticas fundamentadas en la integración de juego y aprendizaje, como pueden ser el Aprendizaje Basado en Juegos – ABJ (*Game-Based Learning* – GBL), la gamificación y el uso de recursos lúdicos (cómic, dibujos animados, películas, series, pasatiempos...) (Figura 21.1). Este marco aglutina otras denominaciones similares presentes en la literatura, tales como «aprendizaje a través del juego» (*learning through play* o *learning by playing*) o «aprendizaje basado en el juego» (*play-based learning*), pudiendo denominarse de un modo más general como «aprendizaje a través de la diversión» (Fernández-Oliveras, 2019).



Figura 21.1. Estrategias metodológicas integradas en el aprendizaje lúdico (Fernández-Oliveras, 2019).

Aprendizaje Basado en Juegos vs. gamificación

Como se ha indicado, la gamificación y el aprendizaje basado en juegos se fundamentan en la idea de aprender a través de la diversión, es decir, en el aprendizaje lúdico, pero presentan algunas diferencias que, a grandes rasgos, son:

- El Aprendizaje Basado en Juegos (ABJ) es la utilización de juegos como vehículo de aprendizaje (Plass *et al.*, 2015).
- La gamificación es la aplicación de elementos de juego en entornos que no son estrictamente lúdicos (Teixes, 2014; Zichermann y Linder, 2013).

Una posible forma de definir la gamificación bastante ajustada con la idea del aprendizaje lúdico puede ser la siguiente: Parte del conocimiento de los elementos que hacen atractivos a los juegos e identifica, dentro de una actividad, tarea o mensaje determinado en un ámbito de no-juego, aquellos aspectos susceptibles de ser convertidos en dinámicas lúdicas. Todo ello para conseguir una vinculación especial con los usuarios, incentivar un cambio de comportamiento o transmitir un mensaje o contenido, es decir, para crear una experiencia significativa y motivadora (Marín y Hierro, 2013).

En el ámbito educativo, la idea de la gamificación no es jugar juegos como en el ABJ, sino valerse de los sistemas de puntuación-recompensa-objetivo que normalmente componen los juegos para incidir beneficiosamente en el aprendizaje. Insignias, avatares, puntos, clasificaciones, niveles, equipos, etc. son elementos específicos que emplean los juegos para materializar lo definido en sus mecánicas y que la gamificación «toma prestados» (Quintanal Pérez, 2016; Pisabarro Marrón y Vivaracho, 2018). También puede adoptar el uso de componentes, materiales o no, tales como dados, cartas, tableros, peones, personajes y habilidades, así como la narrativa o contexto del juego. Lo que no es necesario en la gamificación, siendo imprescindible en el ABJ, es que todos esos elementos de juego estén debidamente integrados y coordinados mediante unas reglas que definan un fin propio (condición de victoria) y cómo aspirar a conseguirlo (condiciones de progresión). Sin esa debida integración no se puede lograr una verdadera experiencia de juego. Los participantes podrán realizar las acciones indicadas para avanzar (tirar dados, mover fichas, coger tarjetas, hacer subastas...) o recibir las recompensas en función de los objetivos alcanzados, pero no se sentirán verdaderamente como jugadores jugando un juego, valga la redundancia. Así, estar dentro de un sistema que está «gamificado» no tiene que implicar necesariamente que se esté jugando de forma explícita, si bien la finalidad es que se adopte una actitud lúdica.

He aquí la diferencia esencial, y es que el ABJ consiste en aprender jugando juegos, siendo el propio proceso de jugar el que hace aprender, mientras que la gamificación es introducir elementos de juego que ayuden a aprender. El planteamiento del ABJ puede resultar más exigente y profundo, pues supone que el «trabajo cognitivo» que requiere el aprendizaje se realiza jugando, de modo que hay que escoger muy bien el o los juegos (Koster, 2013; Marín, 2018). En cambio, en la gamificación, los elementos de juego funcionan como «incentivos» que fomentan el proceso cognitivo conducente al aprendizaje (Burke, 2016; Kapp, 2012), pero no es jugar en sí, directamente, lo que hace aprender. *Grosso modo*, con la gamificación se busca que la inmersión asociada a la diversión favorezca el aprendizaje, sin que implique necesariamente un juego, mientras que en el ABJ, jugar a un juego es la actividad que va a conducir el aprendizaje.

En consecuencia, como en el ABJ la idea es aprender mediante la práctica de juegos, el profesorado tendrá que elegir dichos juegos en función de su idoneidad, adaptarlos o, incluso, diseñarlos *ad hoc*, mientras que en la gamificación buscará

motivar al alumnado introduciendo expresamente elementos de juego en el diseño de la propuesta didáctica (Cornellà *et al.*, 2020).

Estando ambas estrategias fundamentadas en el aprendizaje lúdico, encontramos aconsejable distinguirlas aquí esencialmente para hacer hincapié en las características particulares de los estudios en el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales que se van a mostrar a modo de ejemplos y antecedentes, los cuales están asociados al diseño e implementación de juegos, si bien existen también estudios centrados en el uso de recursos lúdicos, como cómics o dibujos animados (Carrascosa-Alís, 2006; Vílchez-González y Perales-Palacios, 2006), y en propuestas gamificadas (Jiménez-Valverde *et al.*, 2025). Como afirma el premiado maestro autor de juegos de mesa, Manuel Sánchez Montero (2021):

Utilizar la nomenclatura nos ayuda a investigar y profundizar sobre las posibilidades que nos ofrece el juego en el ámbito educativo, pero que estas definiciones no nos limiten en el trabajo que queremos hacer con nuestro alumnado. Han de servir como guía y no como un fin, ya que el juego es el que se pone a nuestro servicio y no al contrario (p.58).

EL CAMINO RECORRIDO: EJEMPLOS DE APRENDIZAJE BASADO EN JUEGOS EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

En la literatura de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales existen ejemplos de estudios sobre ABJ en todas las etapas educativas: infantil (Fernández-Oliveras *et al.*, 2016), primaria (Manassero-Mas *et al.*, 2021; Montejo-Bernardo y Fernández-González, 2021), secundaria (Franco-Mariscal *et al.*, 2012, 2015, 2016), así como en la formación inicial del profesorado (Aragón y Vicente, 2024; Huidobro *et al.*, 2025; Montejo-Bernardo y Fernández-González, 2021). La mayoría de los estudios trata sobre prototipos de juegos educativos diseñados *ad hoc*, algunos con procesos explícitos de validación (Vázquez-Vílchez *et al.*, 2021) o diseñados por el propio profesorado en formación participante (Martín-Ferrer *et al.*, 2022), aunque también hay ejemplos de uso educativo de juegos comerciales (López-Fernández y Torres-Blanco, 2025) y tradicionales (Fernández-Oliveras *et al.*, 2021).

Una línea muy interesante la componen investigaciones centradas en juegos epistémicos (Manassero-Mas, *et al.*, 2021; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2023, 2024; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017). Un ejemplo claro es el juego del cubo descrito por Manassero-Mas *et al.* (2021). En este estudio, docentes de primaria en ejercicio ocultan una de las caras de un cubo y piden a su alumnado, organizado en pequeños grupos, que infiera qué hay en la cara oculta a partir de las caras visibles. Para avanzar, el estudiantado debe registrar sistemáticamente sus observaciones, buscar patrones en los datos (por ejemplo, regularidades entre las caras opuestas), proponer hipótesis sobre la cara que falta y discutir en grupo qué

explicación está mejor apoyada por las pruebas. Las respuestas se trabajan siempre acompañadas de argumentos, que el alumnado recoge en organizadores gráficos donde anota datos, hipótesis, justificaciones y la conclusión final. La actividad se cierra con una puesta en común en gran grupo, en la que se comparan las distintas soluciones y se analiza por qué algunas explicaciones son más robustas que otras. De este modo, el juego no se limita a adivinar lo que hay en una cara, sino que recrea una situación epistémica en la que el alumnado practica procedimientos propios de la ciencia: observar, modelizar, argumentar con evidencias y revisar sus ideas.

Existe otro tipo de investigaciones en las que los juegos estudiados no se centran en hacer explícitas las prácticas científicas, sino en trabajar con modelos conceptuales específicos. Por ejemplo, en el campo disciplinar de la Química, el juego de mesa *Chemical Battleship* usa un tablero tipo “batalla naval” sobre la tabla periódica para situar elementos y familias con pistas que exigen reconocer propiedades y lenguaje simbólico (Montejo-Bernardo y Fernández-González, 2021), y el videojuego *Elemental Home* sitúa al alumnado en distintas estancias de una vivienda para localizar elementos químicos en objetos de uso diario, relacionar propiedades con aplicaciones y tomar decisiones justificadas con pistas contextuales y retroalimentación inmediata (Juárez-González *et al.*, 2025). En el ámbito de la Biología, *Los microorganismos en nuestra vida* emplea cartas-concepto y eventos (vacunas, antibióticos, higiene) que obligan a clasificar, decidir y argumentar con evidencias (Corbacho-Cuello *et al.*, 2023). En conjunto, estos juegos convierten el modelo de conceptos científicos que se quiere trabajar (estructura de la tabla periódica, relaciones microorganismo-salud) en el núcleo de las reglas y de la información disponible, de modo que la posterior puesta en común pueda apoyarse en los datos generados durante la partida para construir explicaciones causales y poder establecer criterios de evaluación explícitos.

Así, el conocimiento generado, que se plasma en la literatura de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, muestra cómo el ABJ no es un mero recurso motivador que se añade al final, sino un andamiaje completo que permite trabajar con conceptos, procedimientos y actitudes propios de la ciencia.

Aplicación a un eje transversal: El Aprendizaje Basado en Juegos en Educación para la Sostenibilidad

Desde esta base de ABJ para la Didáctica de las Ciencias Experimentales, miramos a la Educación para la Sostenibilidad como un eje transversal del área donde las bondades educativas del juego pueden ponerse al servicio de los problemas socioambientales. En este marco, se busca aprovechar las experiencias de juego para estimular el compromiso del alumnado mediante un enfoque activo y centrado en los estudiantes, que les invita a reflexionar sobre los retos de la sociedad y el papel que tienen como individuos para afrontar los problemas ambientales (Stokes y Selin, 2014; Susskind y Corburn, 2000). Por ejemplo, los juegos les ayudan a visualizar-

se en el futuro y a ver las consecuencias de sus acciones en diferentes momentos (Wiek e Iwaniec, 2014), incitándoles a encontrar soluciones nuevas y más eficaces que a menudo implican un proceso de ensayo y error (Mendler de Suárez *et al.*, 2012). Además, el juego ofrece la oportunidad de mostrar la interacción de las diversas dimensiones implicadas en la sostenibilidad, como la social, la ambiental, la económica, la política, la educativa y la cultural, en un proceso de aprendizaje de conocimiento integrado que permite desarrollar el pensamiento sistémico, tan necesario debido a la complejidad del tema (Waddington y Fennewald, 2018).

Los juegos de mesa centrados en la sostenibilidad permiten al alumnado experimentar de forma lúdica los dilemas entre bienestar, impactos ambientales y justicia social en distintos escenarios. Propuestas como *Keep Cool, S.O.S. Civilizaciones, ¡Ahorremos energía!* o *Un Planeta en el Abismo* (Figura 21.2) sitúan a los jugadores ante decisiones sobre emisiones, consumo de recursos y reparto de responsabilidades frente a los impactos ambientales, de modo que deben negociar, priorizar y justificar sus elecciones (Eisenack, 2013; González-Robles y Vázquez-Vílchez, 2022; Jiménez-Aleixandre y Gallástegui-Otero, 2006; Vázquez-Vílchez *et al.*, 2021). Sobre esta base, la educación en riesgos naturales ofrece un terreno especialmente fértil para el ABJ, con juegos como *Hazagora, Play to Learn* o *Risk Detective*, que trabajan procesos geológicos y estrategias de reducción del riesgo de desastres a través de la planificación ante multiamenazas y la discusión de las consecuencias de cada decisión (Filomena *et al.*, 2023; Mossoux *et al.*, 2016; Piangiamore *et al.*, 2024). En todos estos diseños, los modelos de sostenibilidad o de riesgo quedan plasmados en el tablero y en las reglas, de manera que las trayectorias de juego generan evidencias que pueden analizarse con el alumnado para identificar qué opciones resultan realmente más sostenibles o seguras y por qué.

Por otra parte, los juegos *online* constituyen también una vía relevante de ABJ en Educación para la Sostenibilidad, al permitir simular problemas como el cambio climático, la gestión de recursos o los riesgos naturales y explorar diferentes respuestas en un tiempo limitado (Ouariachi *et al.*, 2017; Reckien y Eisenack, 2013). Videojuegos como *EnerCities* o *Climate Challenge* sitúan al alumnado en el rol de gestores que toman decisiones sobre energía, urbanismo o políticas climáticas y observan sus efectos en indicadores de bienestar y emisiones (Katsaliaki y Mustafee, 2015; Knol y de Vries, 2011), mientras que otros, como *Earth Girl Volcano*, se centran en la gestión del riesgo ante amenazas específicas (Kerlow *et al.*, 2020). En estos entornos digitales, las decisiones quedan registradas y se ofrece retroalimentación inmediata, lo que facilita que la puesta en común vincule la experiencia de juego con el razonamiento basado en evidencias y la reflexión crítica sobre los modelos de sostenibilidad que se ponen en juego.



Figura 21.2. Juego de mesa *Un Planeta en el Abismo* (Vázquez-Vílchez *et al.*, 2021).

RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES A TENER EN CUENTA PARA SU APLICACIÓN EN EL AULA

Como se ha apuntado, la eficacia del ABJ está influenciada por el diseño del juego y el propósito educativo específico (Plass *et al.*, 2015). Si pensamos en el diseño de juegos educativos, es crucial enraizar los objetivos didácticos en las reglas y mecánicas de juego para que la experiencia de los participantes esté bien cohesionada, se mantenga la motivación intrínseca propia de la acción de jugar y se produzca el aprendizaje debido a dicha acción (Sánchez Montero, 2021).

Uno de los problemas esenciales que afecta al diseño de juegos educativos es encontrar el equilibrio entre los objetivos de aprendizaje perseguidos y la diversión en la experiencia de juego (Plass *et al.*, 2015; Sánchez Montero, 2021), teniendo en cuenta que esta última es la que ha de conducir al logro de los primeros, tal y como corresponde a la idea de aprendizaje lúdico. Es decir, el éxito educativo del juego radica precisamente en mantener a quienes juegan en un «estado de flujo» que les hace comprometerse con el aprendizaje pretendido (Kapp, 2012). Obviamente, si se diseña un juego educativo que acabe por ser aburrido, no cumplirá su fin como juego y no podrá decirse que el aprendizaje que asociado a su uso pueda producirse sea debido a la diversión.

Una precaución para evitar esa situación es no caer en el planteamiento de retos aislados, sino construir una red de «puzzles anidados» bien integrados alrededor de la narrativa o contexto del juego, para evitar que el alumnado acabe por sentirse como si realizara ejercicios de clase «enmascarados», y perciba que realmente está jugando a un juego. La desconexión entre las mecánicas de juego y la narrativa

promovería un tipo de refuerzo de aprendizaje que sería externo al juego en sí, es decir, los participantes no sentirían un verdadero interés por jugar (Sánchez Montero, 2021). La clave es combinar un sistema de aprendizaje fácil de usar que permita llegar a los contenidos educativos con un juego que sea suficientemente desafiante como para mantener vivo el interés por jugarlo. Este equilibrio debe garantizar, por un lado, que el sistema de aprendizaje sea intuitivo y fácil de usar, lo cual evita la desesperación de los participantes, y por otro, que siga manteniendo el reto y la tensión para asegurar la diversión, el sentimiento de «fluir» en el juego y el compromiso (Kapp, 2012; Sánchez Montero, 2021).

No obstante, existen algunas dificultades recurrentes. La primera es el tiempo de preparación: definir reglas, prever materiales y establecer indicadores evaluables requiere planificación. La segunda es la evaluación difusa: cuando no se fijan de antemano productos y procesos observables, el juego puede quedar como una actividad pedagógicamente opaca. Para evitarlo, la literatura propone triangulación entre producto (informes y explicaciones), proceso (registros de la dinámica de juego: decisiones, interacciones, estrategias) y percepción (interés, autoeficacia, disfrute), con herramientas de evaluación capaces de detectar cambios reales en el alumnado (Bellotti *et al.*, 2013; Connolly *et al.*, 2012). La tercera es el riesgo de sobredimensionar la motivación extrínseca: si el sistema de puntos o recompensas no está conectado a decisiones con contenido, se corre el peligro de erosionar la motivación intrínseca. La solución no es renunciar a las recompensas, sino subordinarlas a tareas que exigen razonamiento y uso de evidencias (Fischer *et al.*, 2019). Estas tres dificultades no invalidan el ABJ, sino que obligan a tratarlo como estrategia didáctica completa y compleja, no como recurso puntual de motivación.

En particular, el panorama actual sugiere que el ABJ aporta más valor en Didáctica de las Ciencias cuando a través de las reglas de juego el alumnado se ejercita en prácticas propias de la ciencia (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017), cuando lo ocurrido en el juego se documenta para poder analizarlo después y cuando el profesorado guía la reflexión con preguntas que obligan a usar datos y revisar explicaciones. También el aumento del compromiso emocional y cognitivo que se logra jugando se traduce en mejores explicaciones cuando el diseño obliga a documentar decisiones y las pruebas resueltas se discuten con criterios de la disciplina (Sánchez-Martín *et al.*, 2020).

Agradecimientos. Las autoras agradecen a MICIU/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE la financiación del proyecto de I+D+i PID2024-160481OB-I00.

Capítulo 22. Enseñar y aprender ciencias al aire libre: fundamentos y experiencias didácticas

Josu Sanz, Teresa Zamalloa, Maialen Sistiaga, Lidia Caño, Araitz Uskola
Departamento de Didáctica de la Matemática, Ciencias Experimentales y Sociales,
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
Contacto: josu.sanz@ehu.eus

“Los placeres que perduran al contacto con la naturaleza no están reservados a científicos, sino que están al alcance de cualquiera que se sitúe bajo el influjo de la tierra, el mar y el cielo y su asombro por la vida”
Rachel Carson, *El sentido del asombro*.

INTRODUCCIÓN

Términos como aprendizaje en la naturaleza, educación al aire libre, pedagogía en verde, las bosque-escuelas y, por supuesto, las salidas de campo, engloban y encarnan un tipo de enseñanza y aprendizaje que no conlleva simplemente trasladar fuera lo que se hace en el aula o una observación real de lo visto en clase, sino que generan contextos educativos genuinos, con procedimientos y estrategias de enseñanza y aprendizaje propias. Conocer esos factores es clave para que estas experiencias formativas fuera del aula sean significativas y rigurosas en cuanto a contenidos y prácticas, ya que el mero hecho de salir con nuestro alumnado al aire libre no garantiza el aprendizaje. En todas las etapas educativas, desde infantil a la universitaria de formación del profesorado, está surgiendo la necesidad de articular actividades formativas en y con la naturaleza, con características inherentes a cada etapa y que suponen oportunidades para hacer ciencia trabajando las prácticas científicas de una manera contextualizada y auténtica. Así, en este capítulo se recogen, por un lado, los fundamentos metodológicos y las estrategias didácticas comunes para la enseñanza fuera del aula y, por el otro, varias experiencias que quieren ilustrar diferentes posibilidades que sitúan el entorno natural en el centro de la práctica educativa: la bosque-escuela como ejemplo de una relación continuada y sostenida con la naturaleza para construir una identidad ecológica y promover el aprendizaje científico desde la primera infancia, la charca escolar como escenario local para trabajar las interacciones ecológicas y el pensamiento sistémico y, finalmente, la salida de campo, que ejemplifica en este caso la práctica por excelencia en la geología.

¿POR QUÉ SALIR DEL AULA?

Cada uno/a de nosotros/as responderíamos de manera distinta a la anterior pregunta ya que nuestra formación previa, nuestra afinidad hacia la naturaleza o el grado de seguridad que tengamos en nuestros conocimientos acerca de los procesos naturales puede hacer que tengamos una mayor o menor confianza e intención para plantear actividades al aire libre con nuestra clase.

Pero es evidente, por un lado, que los fenómenos naturales y científicos se dan de forma real y por tanto se pueden estudiar mejor fuera del aula y, por otro lado, que cuanta más formación tengamos y más salgamos al medio más disposición tendremos para utilizar los recursos naturales a nuestro alcance como herramientas pedagógicas.

La impronta que deja la actividad al aire libre desde un punto de vista actitudinal y emocional es generalmente positiva. Los futuros docentes que han vivido experiencias positivas en la naturaleza en su formación muestran una mejor disposición para implantar este tipo de actividades en su práctica docente futura, por lo que en su formación como docentes deben conocer y vivenciar experiencias en la naturaleza que les sean útiles en el futuro (Bravo *et al.*, 2021).

Las actividades educativas planificadas al aire libre, sobre todo las que se dan de manera continua y contextualizada, es decir, más allá de la mera interacción con la naturaleza, permiten una generación de conocimiento que a su vez pueden resultar en conductas pro-ambientales y conservacionistas desde edades tempranas. Todo ello es especialmente necesario en el contexto social actual, ya que el modo de vida y de consumo nos lleva a desconectarnos de la naturaleza al tiempo que se remarca la dicotomía ser humano-ecosistema, llevando todo ello a una pérdida de conocimiento ecológico y una distancia afectiva y moral hacia el resto de seres vivos y el entorno. El contexto escolar es un reflejo del social y en muchas ocasiones el modo de enseñar, con libros o materiales que ilustran ecosistemas exóticos y donde salir fuera del aula se percibe como algo opcional o excepcional, refuerza esa falta de contacto directo y sostenido con el medio ambiente, es la denominada “extinción de la experiencia”. Esa percepción mediada de la realidad da como resultado un bajo conocimiento de los ciclos ecológicos básicos y una baja apreciación de los entornos y las especies locales dando lugar, por ejemplo, a la “ceguera hacia las plantas”. En muchas ocasiones el profesorado en formación tiene esas mismas carencias por lo que una forma de romper esa dinámica es actuar capacitando a los/as futuros/as docentes comenzando con prácticas educativas tan sencillas como la identificación de especies en el propio campus o fomentando la observación del ecosistema del contexto escolar local (Skarstein y Skarstein, 2020).

En las metodologías de enseñanza fuera del aula se remarca la importancia de estudiar ejemplos de hábitats locales como el propio patio escolar, un bosque, un afloramiento geológico cercano o un río (Sáez Bondía *et al.*, 2021). Se conecta así el proceso de enseñanza y el área de estudio en un aprendizaje situado que pro-

mueve en el alumnado un sentido de pertenencia y que en muchos casos persigue también una resignificación de ‘no-lugares’ cotidianos como charcas, descampados o parques urbanos (Corbacho-Cuello *et al.*, 2025). De este conocimiento científico más profundo de la realidad emergen también posibilidades de conectar esos escenarios locales con problemáticas socioambientales más cercanas a la experiencia personal del alumnado (González Picáns y Puig, 2017), ofreciendo un marco para la acción ambiental que permite movilizar a la comunidad educativa. Esta urgencia en implicar a los actores educativos y que la escuela se convierta en un escenario y motor de cambio es una de las razones para la incorporación del ámbito ecosocial y de las competencias en sostenibilidad (*GreenComp*) en el currículo educativo.

El aprendizaje científico en la naturaleza

Al igual que el salir a un entorno natural no garantiza por sí mismo un aprendizaje, tampoco se hace ciencia fuera del aula si el/la docente no dispone de la capacidad para guiar intencionalmente la curiosidad y el potencial para indagar, reflexionar, dialogar y para construir significados conjuntos sobre conceptos clave de ese entorno o ecosistema. Es decir, para ver la potencialidad de ese ecosistema como modelo de enseñanza de las ciencias.

La naturaleza es un entorno ideal para el aprendizaje científico porque en ella podemos encontrar variabilidad y estabilidad a la vez. Aunque en la naturaleza todo puede parecer más incontrolable en realidad es un espacio organizado en ciclos y sistemas, muy adecuado para promover aprendizajes y modelos en función de la edad del alumnado. Un entorno natural nos ofrece una realidad diversa y en permanente cambio, lo que favorece el interés y el sentido del asombro, pero también sigue unos patrones, y es por tanto predecible, lo que permite dar sentido a esos fenómenos naturales a través de los modelos científicos. Así, desde edades tempranas podemos ayudar a los/as más pequeños/as a reconocer los patrones que nos ofrece la naturaleza (en formas, texturas, colores, pero también en eventos que se repiten) para fomentar procesos como la clasificación, la comparación y para plantear preguntas investigables. Si queremos dar sentido a cualquier sistema (geológico o biológico) tenemos que saber cuantificar, representar y recoger evidencias de los cambios en diferentes escalas (por ejemplo, el tiempo geológico) y ámbitos (por ejemplo, las dinámicas de poblaciones o cambios sucesionales de ecosistemas). La irrupción de la tecnología en el ámbito escolar es siempre una oportunidad y está en la mano de cada docente conjugar técnicas de muestreo y destrezas más tradicionales y al mismo tiempo tan eficaces como el dibujo naturalista o la ilustración científica (Martínez Peña y Gil-Quílez, 2014) con el uso (siempre racional) de dispositivos que nos ayudan en el tratamiento de datos, la identificación de especies o la localización y catalogación digital de espacios (Alcántara y Medina, 2019).

Como veremos en el siguiente apartado cada docente debe saber situar su práctica educativa fuera del aula en el marco de las prácticas científicas y en el de la competencia científica. En el aprendizaje en la naturaleza —bien en experiencias puntuales como las salidas de campo o bien de forma continuada como en las escuelas del bosque—, se investiga el ‘mundo real’, lo cual es clave para construir diseños para la indagación científica. Definir el grado de estructuración está en mano del/la docente pero es siempre recomendable implicar al alumnado en el diseño de la investigación desde la misma pregunta de indagación.

Por último, es importante tener en cuenta las características propias de cada disciplina y las dificultades del alumnado, ya que éstas también pueden darse fuera del aula. Por ejemplo, en el caso de la Geología —una ciencia con un marcado carácter interpretativo donde se modelizan los hitos geológicos del pasado— antes y durante el trabajo de campo los estudiantes pueden trabajar con esquemas, maquetas o infografías para mejorar el razonamiento visual y la capacidad de abstracción, lo que les permitirá modelizar mejor los procesos geológicos que están ocultos a simple vista (Pedrinaci *et al.*, 1994). Además, es conveniente trabajar previamente otras técnicas procedimentales como la orientación en el campo, la identificación de rocas, la lectura de mapas o el uso de herramientas de localización (Figuras 22.1A y 22.1B), ya que de lo contrario los/as estudiantes pueden sentirse poco cómodos/as e incluso desarrollar actitudes negativas hacia el trabajo de campo.

ORIENTACIONES METODOLÓGICAS PARA LA ORGANIZACIÓN DE SALIDAS DE CAMPO

Planificar adecuadamente una salida de campo es clave para garantizar que se convierta en una auténtica experiencia de aprendizaje y no en una mera visita al entorno (Pedrinaci *et al.*, 1994). Para ello, conviene entender la salida como un proceso articulado en tres momentos —antes, durante y después— en el que se equilibran los objetivos didácticos, el grado de estructuración y el papel del alumnado. El alumnado debe tener claro los objetivos que se esperan alcanzar, las tareas a realizar y en qué fase se encuentra durante la salida, incluyendo detalles como el recorrido previsto – tipo, inicio, final, distancia, duración y paradas.

Asimismo, resulta fundamental evitar lo que Brusi (1992) denomina la *sobreestructuración de la salida*, es decir, un exceso de pautas o tareas que puede mejorar el logro conceptual, pero que reduce la motivación y la actitud positiva del alumnado. Encontrar un equilibrio metodológico es imprescindible para favorecer un aprendizaje significativo.

En función del tipo de actividades, las salidas pueden adoptar diferentes formatos: las de tipo *look and see*, centradas en la observación y transmisión de contenidos; las investigativas, con el foco en el proceso de exploración; y las indagativas, que enfatizan la toma de decisiones del alumnado. A su vez, según el rol docente, las

visitas pueden ser dirigidas, semidirigidas o no dirigidas (Brusi, 1992), lo que permite ajustar el nivel de autonomía del alumnado y el tipo de prácticas científicas que se quieran promover.

Momento antes: preparación y reducción de la novedad

La fase inicial busca preparar al alumnado para la experiencia, evitando que la salida sea percibida como un evento desconectado de su formación. Para ello, el o la docente debe explicar los objetivos y contenidos a trabajar, procurando así reducir el denominado “factor novedad” (Orion y Hofstein, 1994, p. 1). Este factor abarca tres dimensiones: la cognitiva, relacionada con los conocimientos y habilidades necesarias; la geográfica, vinculada con la familiarización con el lugar; y la psicológica, referida a la relación entre lo que espera el alumnado y la realidad del entorno. Así, en esta fase se deberán realizar actividades previas como lecturas, guías de observación o discusiones iniciales, y, en algunos casos, puede ser conveniente que el alumnado adquiera previamente ciertas destrezas en el laboratorio o en el aula, las cuales serán necesarias para su aplicación durante la actividad de campo: lectura de mapas topográficos y geológicos, manejo de materiales como lupas, pinzas... Una preparación adecuada favorece que la salida pueda plantearse como indagativa y no como una mera visita pasiva.

Por otro lado, es importante que el profesorado organice la logística de la salida y explique claramente a las familias y al alumnado su objetivo y desarrollo.

Momento durante: desarrollo de la salida

Posteriormente, en la segunda fase, se desarrolla la salida —o las distintas salidas en caso de que se visite el mismo espacio en varias ocasiones (como por ejemplo la charca, el huerto...)— propiamente dicha, que debe integrarse en consonancia al currículo y orientarse hacia la exploración e investigación del fenómeno en estudio, siendo el alumnado el protagonista. El papel docente debe centrarse en guiar, abrir posibilidades interpretativas y favorecer conexiones con los modelos científicos, sin caer en una sobreestructuración que limite la experiencia de campo. Por otro lado, es importante contar con las fichas de recogida de datos, cuadernos de campo, máquinas fotográficas o material necesario para la realización de la práctica. La utilización de cuadernos de campo elaborados por los/as estudiantes ha demostrado ser una estrategia eficaz para potenciar el conocimiento del entorno natural y evaluar los aprendizajes alcanzados (Scott y Boyd, 2016).

Momento después: reflexión y consolidación de aprendizajes

La fase posterior no solo busca consolidar el aprendizaje obtenido durante la salida de campo, sino también ordenar, clasificar y procesar la información recogida, así como interpretarla y elaborar nuevas inferencias a partir de ella. Se trata de un momento clave para profundizar en lo investigado y construir significado a partir de la experiencia vivida. En este momento, el o la docente promueve espacios de reflexión en los que el alumnado retoma las dudas, preguntas o inquietudes surgidas en el terreno, sistematiza la información recogida y establece conexiones entre lo vivido y la teoría. Se recomienda que este proceso se realice lo antes posible para aprovechar que la experiencia es reciente y evitar que se pierdan detalles significativos. Además, puede complementarse con actividades posteriores como el procesamiento de muestras y registros, el tratamiento de datos o tareas de observación, dibujo, clasificación, cálculo y elaboración de gráficos. Asimismo, pueden incluirse informes escritos, debates, proyectos colaborativos en pequeños grupos o presentaciones, que permitan profundizar y transferir los aprendizajes alcanzados a otros contextos.

Las prácticas científicas en las experiencias fuera del aula

Las salidas de campo constituyen un contexto especialmente adecuado para el trabajo basado en prácticas científicas. Sin necesidad de redefinirlas —puesto que ya se han descrito en apartados previos—, conviene subrayar cómo se manifiestan en el propio proceso.

En el contexto de las salidas de campo, la modelización se activa cuando los estudiantes interpretan los fenómenos observados, establecen relaciones entre variables y elaboran representaciones —dibujos, gráficos, mapas, diagramas o maquetas— que les permiten organizar e interpretar la información recogida. Como señalan Uskola *et al.* (2022), el trabajo de campo ofrece un marco especialmente valioso para integrar la modelización como práctica científica, ya que permite al alumnado formular hipótesis, evaluar la coherencia de sus interpretaciones y aplicar sus modelos en un contexto real, yendo más allá de la mera observación o recogida de datos. En este sentido, el entorno natural se transforma en un laboratorio abierto donde es posible contrastar los modelos teóricos con los datos obtenidos sobre el terreno. Asimismo, se ha comprobado que las charcas constituyen espacios especialmente adecuados para trabajar el modelo de ecosistema en contextos reales. La representación gráfica de la charca es clave en este proceso de modelización ya que invita al alumnado a observar con detenimiento los elementos y las relaciones que conforman el entorno, favoreciendo una comprensión más profunda y una vivencia más significativa de la experiencia (Lehrer y Schauble, 2012).

En cuanto a la práctica de indagación, las escuelas del bosque constituyen un escenario privilegiado para el aprendizaje basado en la indagación. En estos entornos

al aire libre, el alumnado participa activamente en la observación de fenómenos naturales como los cambios estacionales, la identificación de especies o el estudio de las relaciones entre los seres vivos y su entorno. El aprendizaje está estrechamente ligado por tanto a la realización de observaciones, investigaciones y la formulación de hipótesis (Thomas y Harding, 2011). En la misma línea, las charcas, además de para trabajar la modelización, también son indicadas para promover la indagación científica dentro del ámbito escolar (Eberbach *et al.*, 2021). A través de ellas, el alumnado puede muestrear, explorar, observar y realizar indagaciones para construir y revisar sus propias explicaciones sobre los fenómenos naturales que observa, favoreciendo así una comprensión más profunda de los modelos científicos (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009).

Finalmente, la argumentación científica adquiere un papel especialmente relevante en las salidas de campo, ya que estos entornos permiten abordar problemas medioambientales o ecosociales —como la presencia de especies invasoras, la deforestación o la contaminación— que pueden generar distintas interpretaciones y requieren justificar las ideas con evidencias. Este tipo de situaciones favorece que el alumnado construya y defienda explicaciones fundamentadas sobre los fenómenos observados. Tal como señalan Uskola *et al.* (2022), el trabajo de campo se convierte así en un espacio idóneo para fomentar la argumentación, al propiciar situaciones reales en las que el alumnado debe comunicar, defender y revisar sus ideas en interacción con sus compañeros y con el entorno natural, desarrollando tanto su pensamiento crítico como su conocimiento científico (Uskola y Seijas, 2021).

Por último, preparar y llevar a cabo una salida de campo no es una tarea sencilla. Son muchos los factores que intervienen en su planificación, desarrollo y evaluación, por lo que resulta esencial que el profesorado disponga de una formación práctica que le permita diseñar propuestas coherentes con los objetivos educativos y con las necesidades del alumnado. En este sentido, la formación universitaria y otros espacios de formación continua pueden desempeñar un papel clave, promoviendo el conocimiento del entorno natural y ofreciendo estrategias didácticas que favorezcan la realización de experiencias significativas fuera del aula.

Además, conviene tener en cuenta que el perfil del profesorado varía según la etapa educativa. En los niveles de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, el personal docente suele contar con un mayor bagaje disciplinar y un conocimiento más profundo de los métodos de estudio científico, lo que facilita la identificación de oportunidades de aprendizaje fuera del aula. En cambio, en Educación Infantil y Primaria estas experiencias pueden requerir un acompañamiento formativo más específico que ayude a integrar la exploración del entorno con propuestas didácticas ajustadas a la edad y al currículo. Del mismo modo, el intercambio de experiencias entre docentes constituye una fuente valiosa de aprendizaje profesional, ya que permite compartir enfoques, dificultades y buenas prácticas, enriqueciendo así la manera de diseñar y desarrollar las salidas de campo.

Los siguientes apartados se centran en dos recursos clave para el aprendizaje en la naturaleza —la bosque-escuela y la charca— y en un ejemplo concreto de salida a la naturaleza. Este recorrido nos permite ilustrar buenas prácticas vinculadas a cada estrategia y recurso, tal y como se plantea en los requerimientos del capítulo. Se considera fundamental que, en la formación de las futuras maestras y los futuros maestros, se incluyan actividades en las que puedan participar como estudiantes y reflexionar, en aquellos recursos, métodos y prácticas que en su futuro es deseable que utilicen en sus aulas.

EXPERIENCIA 1: EL BOSQUE COMO ESPACIO DE INDAGACIÓN CONTINUA

A mediados del siglo XX surgió en Dinamarca el concepto de *udeskole* —escuela al aire libre—, donde los niños y niñas pasaban buena parte del día en espacios naturales, explorando y aprendiendo en contacto con la naturaleza. Con el tiempo, esa idea germinó en modelos como *forest school*, *forest kindergarten* o escuela bosque, especialmente en países nórdicos y en décadas recientes ha ido extendiéndose a otros contextos. En el territorio de Gipuzkoa, las escuelas que usan el bosque como espacio pedagógico conforman una red de soporte que acompaña con asesoramiento, formación, enlaces entre centros y apoyo técnico. Antes de comenzar con el proyecto, los profesores participan en talleres sobre la metodología del bosque y uso de recursos naturales, lo cual genera estrategias más seguras de intervención, menos temor al fracaso y una mejor lectura del bosque como aula. Además, dentro de la red se organizan conferencias anuales de “Educación en la Naturaleza” a través de la Fundación de Cursos de Verano de la Universidad del País Vasco, con el fin de facilitar el intercambio de prácticas entre centros y docentes. Esa trama institucional proporciona sostenibilidad, ayuda a que el proyecto no dependa únicamente de la voluntad o de un/a docente entusiasta, sino que cuente con respaldo técnico, recursos y comunidad educativa.

Así, la escuela bosque lleva la idea de salidas de campo un paso más allá, no se trata de ir “de vez en cuando” al bosque, sino de integrarlo en el pulso del curso. El bosque no es un complemento ocasional, sino un espacio educativo recurrente y central. Troncos, raíces, hojarasca, insectos y humedad se convierten en materiales con los que aprender (Egan, Egan y Brophy, 2022). En lugar de plantear una única excursión se configura una relación continua con el ecosistema de modo que los estudiantes lleguen a reconocer rincones, notar cambios estacionales, comparar condiciones ambientales y formular nuevas preguntas a partir de lo vivido. Cuando un bosque cercano a la escuela deja de ser un destino especial y se vuelve cotidiano, cada caminata, cada estación, cada hoja caída se convierte en una ventana al aprendizaje (Figuras 22.1C y 22.1D).

Buenas prácticas dentro de la escuela bosque de Infantil a Primaria

Caminar con niños por un bosque es invitarles a habitar un espacio de preguntas pequeñas, que con constancia pueden consolidarse en una mirada científica. Las buenas prácticas científicas no están separadas del relato, están imbricadas en las pausas, los silencios, los “¿Por qué?” que emergen del terreno: “¿por qué se caen las hojas?”, “¿cómo se hace la lluvia?”, “¿por qué las lombrices no tienen ojos?”. Pero para que esta riqueza se transforme en aprendizaje significativo es preciso acompañar esas preguntas iniciales para que evolucionen hacia cuestiones investigables y puedan conectar con la indagación.

El ritual puede comenzar con un gesto simbólico de respeto inspirado en prácticas de comunidades indígenas que propone hacer una breve pausa al llegar al bosque, en círculo, y pronunciar una frase colectiva o individual (puede ser algo sencillo, como “Bosque, te pedimos permiso para habitarte hoy, para observarte y aprender contigo”) antes de entrar. Ese acto simbólico no es una exigencia espiritual, sino una invitación ética: introducir la idea de que no somos colonizadores/as del bosque, sino dependientes de él.

En la Educación Infantil el alumnado de la escuela del bosque inicia su recorrido científico mediante la observación directa, el uso de los sentidos (por ejemplo, escuchar el viento, sentir la humedad de una hoja, observar distintos tamaños de cortezas) y la clasificación básica (hojas grandes/pequeñas, troncos rectos/torcidos). Estas actividades despiertan la curiosidad y construyen los cimientos de las destrezas de proceso científico: observar, comparar, clasificar. Por ejemplo, se puede comenzar eligiendo un rincón —una raíz prominente, un tronco caído, una rocalla— y permanecer unos minutos en silencio. El alumno observa, escucha, huele, palpa. Esa rutina semanal construye la memoria del lugar: al regresar, los/as niños/as comparan qué ha cambiado —musgo, hojas, insectos, condiciones de luz— y pueden establecer relaciones sobre cómo “ha crecido más musgo porque ha llovido más”.

Pero no basta con observar. Si al alumnado se le ofrece el tiempo suficiente, el bosque invita a aprovechar esas diferencias para formular preguntas, diseñar comparaciones y contrastes, y proponer experimentos modestos. En esa familiaridad creciente, se dan numerosas situaciones donde los/as niños/as despliegan habilidades científicas para solucionar distintas problemáticas (comparaciones entre parcelas, muestreos temporales, mediciones ambientales, registros fotográficos, contrastes entre zonas más sombreadas y soleadas, etc.). También podría surgir la idea de experimentar: “¿qué pasaría si dejamos una bolsita con hojas en sombra y otra al sol para ver su descomposición?” En esas prácticas, los/as niños/as ya no solo miran el bosque, sino que lo manipulan con preguntas positivas, experimentan y recogen evidencias. Así emergen temas como ciclos, variaciones y patrones, propios del pensamiento científico. Así, lo que en una salida típica puede limitarse a observaciones aisladas, en la escuela bosque puede escalar a investigación longitudinal del propio ecosistema (García González y Schenetti, 2019).



Figura 22.1. A y B) Salidas geológicas en el Geoparque de la Costa Vasca, C y D) Niños y niñas de la red pública Eskola Txikiak (escuelas rurales) en el bosque, E) Alumnado universitario en la charca de la Facultad de Educación de Donostia, muestra de larva de odonato, F) Alumnado muestreado en la charca escolar, Fuente: A. Algorri Interpretazio Zentroa, C y D. Eskola Txikiak Sarea, F. Bizilore Eskola Aktiboa

Al final de cada sesión, es vital disponer de un espacio de reflexión compartida. En círculo, los/as niños/as relatan sus hallazgos, comparan resultados de diferentes grupos (*“hemos encontrado un bicho muy raro”*, *“hoy los charcos estaban helados”*), lanzan nuevas preguntas para la siguiente visita (*“¿cuando volvamos otra vez quedará hielo?”*), y esbozan planes para continuar. En esa conversación reside el corazón de la ciencia: no solo observar, sino dialogar, cuestionar y proyectar.

En conclusión, las destrezas científicas adquiridas por el alumnado de infantil son la base para el desarrollo de otras destrezas científicas más complejas en etapas superiores, tales como la elaboración de preguntas investigables (*“¿por qué aquí hay más musgo que allá?”*), el registro de datos simples (medir el número de hojas caídas, contar insectos) y la representación gráfica o mediante dibujo de hallazgos. En etapas más avanzadas se incorporan la planificación del diseño experimental con control de variables, la obtención de datos cuantitativos y cualitativos, su organización, el análisis e interpretación de patrones, y la argumentación basada en evidencias, etc. Por ejemplo, se puede proponer una comparación: elegir dos o tres rincones con condiciones distintas (más luz, más sombra, más riesgo de agua) y registrar humedad, presencia de musgo, insectos visibles, etc. Finalmente, estas prácticas pueden transformarse en proyectos continuados de investigación (monitoreos sistemáticos, cotejos entre zonas, propuestas de mejora del ecosistema) que cierran el ciclo de observación-indagación-acción, vinculando la experiencia del bosque con el currículo de ciencias, ambiental y ético. De ese modo, lo que en Infantil es exploración sensorial guiada en Primaria se convierte en investigación con evidencia y en actividad científica robusta con participación activa, diseño, análisis, argumentación y acción transformadora. En este sentido, la clave es que las actividades se diseñen como escalas: lo sencillo y cercano al inicio, lo complejo y contextualizado en cursos posteriores, manteniendo siempre el hilo que une el contacto directo con la naturaleza y la construcción gradual de las competencias científicas.

Por último, ninguna ciencia en el bosque se debe desvincular del respeto ecológico. La escuela bosque auténtica no solo observa la naturaleza, sino que la habita con responsabilidad. Si un bosque es tratado como laboratorio sin respeto, pierde su dignidad ecológica y el aprendizaje científico se contradice con un impacto negativo sobre el entorno. Estas prácticas acompañadas por estrategias de diseño flexible, acompañamiento consciente y apertura al imprevisto permiten que los alumnos participen activamente del proceso científico. No requieren instrumentos sofisticados, sino una mirada paciente, acompañamiento sensible y diseño fluido que dé cabida tanto al asombro como a la sistematización.

EXPERIENCIA 2: LA CHARCA ESCOLAR Y SU VALOR EDUCATIVO

La charca escolar es un espacio natural que, al situarse en la escuela o cerca de ella, permite al alumnado -al igual que la escuela del bosque- establecer un vínculo

y una experiencia de aprendizaje continuada a lo largo de los años. Las charcas son pequeñas masas de agua permanentes o estacionales, artificiales o naturales, de una superficie entre 1 m² y 2-5 ha y profundidad máxima de 8 m.

Las charcas tienen un alto valor ecológico, pero también están sometidas a varias amenazas que están provocando su desaparición y el estado crítico de algunas de las especies que las habitan. Gran parte de la labor de restauración y protección de charcas se lleva a cabo desde iniciativas sociales y ciudadanas. Por este motivo, las charcas tienen un gran valor educativo como herramienta de sensibilización para la conservación de la naturaleza. Por ejemplo, el proyecto *Charcos com Vida* (<https://charcoscomvida.pt>) en Portugal creó alrededor de 100 charcas con participación ciudadana involucrando a más de 5300 estudiantes en actividades de observación y exploración. En el País Vasco y Navarra, la Sociedad de Ciencias Aranzadi ha recuperado o creado más de 50 charcas en entornos escolares o cercanos a ellos mediante el trabajo comunitario con alumnado, docentes y familias, lo que ha dado lugar a la Red de Escuelas con Charcas (www.urmaelaeskolan.eus).

La construcción de una charca en el recinto escolar o en el entorno es una iniciativa relativamente sencilla que permite acercar la naturaleza a la escuela y fomentar apego y conciencia ambiental. Hay que tener en cuenta algunas consideraciones sobre el diseño, pero este recurso tiene la ventaja de que requiere poco o ningún mantenimiento (Sanz-Azkue *et al.*, 2023). Pese al gran potencial didáctico de este recurso natural, las experiencias educativas con charcas aún son escasas (Caño *et al.*, 2026). Las charcas son contextos reales ideales para el enfoque de la enseñanza-aprendizaje basado en la indagación, mediante preguntas investigables como “¿Quién vive en la charca?”, “¿Qué organismo es?”, “¿Cómo lo sé?” (Figura 22.1E). El alumnado puede responder a las preguntas de primera mano mediante prácticas y procedimientos científicos en la propia charca investigando los seres vivos, los factores ambientales, modelizando o argumentando predicciones o decisiones en base a esos modelos o a datos obtenidos en la charca (Caño, 2021). Presentamos algunos ejemplos de uso científico de la charca en base a nuestra propia experiencia en la Red EUS con estudiantes de los Grados de Educación en la Universidad del País Vasco (Caño, 2021) y con estudiantes de escuelas.

En el Grado de Educación Primaria, se diseñó e implementó una situación de enseñanza-aprendizaje (SEA) basada en un suceso real de la charca del campus en torno a la pregunta “¿Qué les ocurrirá a los seres vivos de la charca si se introducen unos peces exóticos?”. Se generó así la necesidad de construir y aplicar un modelo de red ecológica para explicar las relaciones de interdependencia de los seres vivos de la charca que pudieran usar para hacer una predicción. Para ello tomaron muestras de los organismos acuáticos, observando, identificando y clasificando los animales y plantas de la charca y alrededores, e investigaron las relaciones de interdependencia entre ellos utilizando guías de campo y material bibliográfico específico, para elaborar un modelo de red ecológica que les permitiera responder a la pregunta (Caño *et al.*, 2026). En otras SEAs implementadas en los Grados de

Educación, el estudio de los seres vivos se realizó en torno a la noción de cambio, con preguntas como *“¿Cómo cambian los organismos de la charca a lo largo del año en respuesta a los cambios ambientales?”*, *“¿Hay mosquitos en la charca?, ¿Cómo se desarrollan?”*.

Esta SEA puede transferirse a diferentes etapas educativas adaptando su nivel de complejidad. En Secundaria, las muestras recolectadas en la charca (cianobacterias, algas unicelulares, filamentosas, protozoos...) pueden observarse al microscopio para abordar los conocimientos sobre la célula y la histología y los criterios de clasificación de los reinos. Una observación de los organismos a nivel macroscópico permitirá trabajar las clasificaciones de los grandes grupos de animales y plantas con mayor profundidad en la ESO (*“¿Tiene esporas?”*, *“¿Tiene tejidos?”*) o de manera más general en Primaria (*“¿Tiene flores?”*, *“¿Tiene huesos?”*). Hemos comprobado que conceptos como la metamorfosis pueden ser comprendidos desde el primer ciclo de Primaria, no solo mediante la observación de ranas y renacuajos, sino también a través de las larvas de mosquitos y libélulas recolectadas en la charca (Figura 22.1F). En cuanto a las relaciones ecológicas, aunque en Secundaria se pueden abordar redes ecológicas complejas incluyendo más especies que en Primaria, hemos podido observar que no hay gran diferencia entre los tipos de interacciones que se pueden trabajar con niños/as pequeños/as y jóvenes, siempre que éstas estén basadas en la observación directa: *“las larvas de libélulas necesitan juncos para salir del agua”*, *“las arañas necesitan plantas para poner sus telas”*, *“los insectos necesitan flores y las flores necesitan a los insectos”*.

La charca permite además aplicar un enfoque STEAM. En los Grados de Educación se han realizado SEAs en las asignaturas de Ciencias Sociales, Arte y Matemáticas. Por ejemplo, para trabajar competencia científica y matemática de manera interdisciplinar, se planteó al alumnado: *“Si la temperatura del aire sigue aumentando año tras año como resultado del cambio climático, ¿qué efectos se observarán en la charca?”*. Para responder a la pregunta, desarrollaron un modelo relacionando la materia y la energía en base a cambios observados en la charca. Para ello identificaron las variables relevantes, diseñaron estrategias de recopilación de datos y, a lo largo del otoño, registraron datos diarios sobre la temperatura del aire y del agua de la charca, las precipitaciones, el nivel del agua y la conductividad eléctrica. Tras utilizar estadísticas descriptivas y representaciones gráficas para identificar e interpretar patrones, presentaron un informe de investigación en el que aplicaron el modelo generado para responder a la pregunta inicial.

Esta SEA también puede implementarse en Secundaria, ya que tanto los procedimientos utilizados como los cambios en la hidrosfera y la atmósfera en relación al cambio climático y la teoría cinético-molecular forman parte de los currículos. En el caso de Primaria, se debería sustituir la aproximación matemática por un enfoque más observacional, basado en medidas simples de los cambios de la temperatura y altura del agua, fomentando la explicación de los cambios de estado del agua en base a discusiones de ideas y dibujos sobre el modelo de la materia.

En conclusión, como se ha visto, las actividades propuestas pueden ser transferidas a la Educación Secundaria y Primaria adaptando el nivel de complejidad. Cualquier pregunta de indagación en la charca implica al alumnado en procedimientos y formas de pensar científicas, adaptables en función de la edad: desde descripciones o gráficos sencillos en Primaria hasta observaciones sofisticadas o formulaciones matemáticas en Secundaria. Desde el punto de vista conceptual, la charca ofrece la oportunidad de abordar saberes básicos curriculares de las Ciencias Naturales (célula, clasificación, nutrición y reproducción, ciclos de vida, ecosistemas, materia, energía...) pero también de las Matemáticas (magnitud, medición, estadística...) o de las Ciencias Sociales (paisajes naturales y humanizados, consecuencias de la actividad humana, huellas de la historia, patrimonio natural...) (Caño, 2021). Finalmente, plantear actividades en la charca sobre problemas ambientales reales que inviten a la acción, ayuda al alumnado a adquirir competencias para la sostenibilidad, como el desarrollo del pensamiento crítico y sistémico, habilidades para la alfabetización sobre el futuro, la promoción de la naturaleza, la formulación de problemas y la acción colectiva.

EXPERIENCIA 3: SALIDA A LA NATURALEZA COMO FUENTE DE PRUEBAS EN FORMACIÓN DE PROFESORADO

La salida a la naturaleza se utilizó en dos cursos consecutivos dentro de una secuencia de enseñanza-aprendizaje en la que los y las estudiantes (80 estudiantes de 4º de Grado de Educación Primaria) trabajaron en grupo para modelizar fenómenos geológicos. Se considera fundamental que, en la formación de las futuras maestras y los futuros maestros, se incluyan actividades en las que puedan participar como estudiantes y reflexionar, en aquellos recursos, métodos y prácticas que en su futuro es deseable que utilicen en sus aulas. En este caso, en la secuencia se trabajaron las prácticas científicas de argumentación y modelización, y como recursos, la salida a la naturaleza y la construcción de maquetas tridimensionales.



Figura 22.2. Vista desde el Salto del Nervión.

En el Curso 1, 5 grupos modelizaron la hidrodinámica de la zona kárstica visitada (Sierra Salvada, Figura 22.2) y 4 la formación del diapiro también visitado. En el Curso 2, los 8 grupos modelizaron la hidrodinámica. El análisis de las observaciones y producciones de los estudiantes ambos años permitió concluir ciertas implicaciones educativas.

Curso 1

En el Curso 1, la salida a la naturaleza se realizó al inicio de la secuencia. Se grabaron en audio las 6 sesiones de trabajo grupal posteriores a la salida, en las que los grupos plantearon sus modelos y construyeron maquetas tridimensionales para representarlos. Se observó que todos los grupos se refirieron a la salida al menos una vez y que tres grupos lo hicieron cerca de 20 veces. Este hecho es revelador, ya que no se les pidió que aludieran a la salida, sino que lo hicieron espontáneamente mientras trataban de construir sus modelos de los fenómenos observados, lo que da una idea de que, ciertamente, la salida tuvo para ellos un valor educativo más allá de considerarla un mero acto social. De hecho, cuando se les preguntó sobre su valoración de la salida al finalizar la secuencia, la inmensa mayoría (97%), además de valorarla positivamente, pudo enumerar al menos una aportación que la salida a la naturaleza había supuesto en su propio proceso de aprendizaje.

Es más, se observó que más allá de meramente mencionar la salida, utilizaban lo observado. Por ejemplo, para recordar la posición de los distintos tipos de roca e inferir las edades relativas. Así, Garazi (pseudónimo) ordenó lo observado:

Garazi: Primero vimos esto. Luego bajamos y vimos los [estratos] verticales. Luego bajamos al autobús y allí yeso y lutita. Como las encontramos más abajo, son más viejas.

También para poner a prueba las hipótesis que iban formulando, sus modelos. Por ejemplo, en el grupo E discutían acerca del origen del agua del río y recordaron que habían observado la cascada seca, lo que les obligaba a plantear otra hipótesis. En ese momento, Elena planteó que podría surgir de la propia roca:

Elena: De entre las piedras. Lo último que vimos en la excursión era que estaba cayendo el agua entre las piedras, ¿no?

Esta idea era complicada de asumir en el grupo y ella volvió a aludir a que lo habían visto.

Curso 2

Las maquetas elaboradas y los modelos representados en las preguntas finales en el Curso 1 presentaron carencias, por ejemplo, en cuanto a la representación del nivel freático o a la consideración de los cambios que éste experimenta según las circunstancias. Debido a esto, se realizaron cambios en la secuencia, entre otros, los grupos realizaron una primera representación en forma de maqueta de su modelo inicial antes de realizar la salida. Con esto, en la salida, uno de los objetivos fue

evaluar y revisar la maqueta en construcción. Para ello, tras haber visitado todos los puntos y recogido todos los datos, se dejaron 25 minutos para que los grupos evaluaran la maqueta que estaban construyendo en base a lo observado. En esta evaluación, todos los grupos contrastaron el material utilizado (arena, tierra...) con el real (roca). Además, se dieron cuenta de sus errores conceptuales, como no considerar que algunas rocas pueden ser permeables:

Marisa: vale, nosotros pensábamos que era tierra, en plan, tierra, tierra... Y en realidad, es caliza.

Mirari: Que el agua puede filtrarse en el interior de la piedra... a ver, al principio pensábamos que la parte permeable de la montaña era tierra, porque para nosotros era imposible pensar que el agua se pudiese filtrar por dentro de la piedra.

Se plantearon cómo mejorar, revisar las maquetas y de nuevo contrastaron las maquetas con la realidad. Por ejemplo, cuando una persona del grupo planteó la posibilidad de meter piezas de cartón entre la tierra y las rocas para que simulara el lecho del río (otros lo plantearon con un trozo de plástico), Ortzi puso en entredicho la estrategia:

Ortzi: ¿Y qué representa [el cartón]? claro, tú lo que estás haciendo es, para conseguir lo que tú quieres, poner eso, ya, pero tienes que conseguir lo más realista posible, entonces, qué... ¿Qué representa eso? ¿Qué es [el cartón] en la realidad?

Los resultados finales fueron mejores en el Curso 2, y los/las estudiantes mostraron niveles más altos en todos los aspectos del sistema considerado. La revisión y la manipulación de las maquetas fue clave, y la salida a la naturaleza jugó un rol relevante en tal revisión.

La percepción del futuro profesorado sobre las aportaciones de la salida a la naturaleza en su proceso de aprendizaje en este Curso 2 también mostró una mejora comparando con el Curso 1, en cuanto a la aportación a la construcción de la maqueta.

En conclusión, la búsqueda de correspondencias y no correspondencias entre la maqueta y la realidad ofrece oportunidades relevantes de aprendizaje y para realizar dichas comparaciones, la salida a la naturaleza es un recurso educativo valioso. De hecho, los resultados de esta experiencia muestran que es un recurso inestimable para obtener pruebas que se puedan utilizar para poner a prueba modelos y representaciones de los mismos (p. e. maquetas) actuando esta evaluación (Jiménez-Aleixandre, 2010) como clave en el proceso de modelización (Schwarz *et al.*, 2009). La percepción del futuro profesorado se alineó con esta perspectiva, ya que fundamentalmente destacaron el acercamiento a la realidad. Dado que la modelización implica moverse desde la realidad hasta el modelo representado y a la teoría general (y al contrario), el papel de la salida de campo es en este caso facilitar

estos movimientos a través de la observación. De esta manera, se vio que algunas de las observaciones realizadas en las salidas (estratos verticales, cascada seca...) les hacía formularse preguntas, hipótesis, rechazarlas o aceptarlas. En cierta medida, se observó que se cumplía la perspectiva de Egger (2019) según el cual, el campo es el criterio para juzgar o evaluar cualquier modelo en Geología.

Capítulo 23. Huertos escolares como contextos al aire libre para la educación científica y ambiental

Marcia Eugenio-Gozalbo¹, Daniel Zuazagoitia² y Andrea Estrella-Torres³

¹ Facultad de Educación de Soria, Universidad de Valladolid; ² Facultad de Educación y Deporte de Vitoria-Gasteiz, Universidad del País Vasco; ³ Cooperativa Germinando, Madrid (España).

Contacto: marcia.eugenio@uva.es

INTRODUCCIÓN

Breve recapitulación histórica: los huertos en la escuela

El uso educativo de huertos fue propuesto por filósofos y pedagogos desde el s. XVIII. Rousseau señaló la necesidad de educar a los infantes en el medio, en base a su propia experiencia y a la satisfacción de su curiosidad; Pestalozzi iniciaba a los niños en el cuidado del huerto, utilizando la observación directa para la comprensión de hechos y fenómenos; Fröbel fundó los jardines de infancia, que contenían plantas, animales, materiales de construcción y herramientas sencillas; Dewey destacó el aprendizaje experiencial, que utiliza y transforma los ambientes para extraer aquello que proporcione experiencias valiosas a los aprendices; Montessori introdujo en su método los ejercicios de la vida práctica, consistentes en el cuidado de plantas y animales domésticos; Decroly promovía la observación de la naturaleza y sus fenómenos, incidiendo en la necesidad de introducir el estudio de la vida y la interacción con el ambiente en los programas escolares; y Freinet defendió una educación científica que partiera de la experiencia, concibiendo el huerto como un recurso que facilita la observación y experimentación. Desde mediados del s. XIX, el uso educativo de huertos se vinculó específicamente con la enseñanza-aprendizaje de la agricultura.

Fue a partir de los años 70 del s. XX, con la finalización de un régimen político que desde los años 40 había reducido las posibilidades de renovación y la libertad de enseñanza en la escuela a la mínima expresión, cuando llegaron a España las primeras escuelas Waldorf y movimientos de renovación pedagógica de inspiración freinetiana, que incorporaban el uso de huertos escolares. Desde los años 90, el objetivo fundamental era —además de proporcionar a los estudiantes la oportunidad de salir y moverse— la enseñanza-aprendizaje de aspectos relacionados con la alimentación. Inicialmente, se hablaba de “alimentación saludable”, porque los huertos promovían el consumo de frutas y verduras mediante el contacto directo con su producción. Actualmente, hablamos de “alimentación saludable y sostenible”, porque se han incorporado nociones como producción ecológica, local, de tempo-

rada, etc. El uso de huertos educativos ha evolucionado también en relación con otros aspectos muy relevantes. En cuanto a su manejo agrícola, se ha pasado de un modelo más convencional, con foco en el resultado (la producción de alimentos) a uno más sostenible, con foco en el proceso (la forma de producirlos). En cuanto a su gobernanza, se vinculan en mayor medida a los proyectos educativos de centro, y se han diversificado las formas de organización y los colectivos implicados. En cuanto a su didáctica, se han diversificado la variedad de temas sobre los que se enseña, y de estrategias mediante las que se aproximan. Esta evolución ha sido paralela a una expansión de los huertos escolares debida tanto a iniciativas de los propios centros educativos, como al surgimiento de programas de apoyo por parte de las administraciones locales y regionales.

Panorama actual de los huertos educativos en España

El reciente “Diagnóstico sobre los Huertos Escolares Agroecológicos (HEA) y otras Iniciativas de Agroecología y Cultura Alimentaria Escolar en España” (Estrella-Torres, 2025), constituye el mapeo territorial más amplio y sistematizado sobre la situación de los huertos escolares en España. Ha identificado 4.458 centros (desde escuelas infantiles hasta centros de FP) con huerto escolar, lo que equivaldría al 16% de los centros educativos del país. Esta cifra constituye un mínimo verificable, puesto que la implantación real es mayor, y podría situarse entre 5.000 y 6.000 centros de considerarse tanto programas de gran escala (como Huertos de Biodiversidad, impulsado por Fundación Global Nature-ADEAC y Ecoembes) como huertos que no pertenecen a redes o programas formales. El análisis territorial de los datos revela patrones de concentración donde hay apoyo institucional, a nivel regional (Programa Andaluerto en Andalucía y Programa Voz Natura en Galicia) y local (Red de Huertos Escolares Sostenibles en Madrid y Red de huertos escolares Agroecológicos en Zaragoza). También revela zonas de vacío en territorios con menor presencia digital o sin programas consolidados, como Castilla-La Mancha, Castilla y León, Extremadura o Cantabria.

En este panorama, es útil diferenciar entre programas —que están orientados a proporcionar recursos, formación o acompañamiento técnico— y redes —que articulan la interacción entre centros, favoreciendo los intercambios de conocimientos y el apoyo mutuo—. En la práctica, muchos programas se autodenominan “red” sin generar dinámicas horizontales reales, mientras que algunas iniciativas locales sí operan como redes efectivas pese a su menor formalización. Esta disparidad, junto con la falta de mecanismos estables de coordinación supraautonómica, explica en parte las desigualdades que se observan en la capacidad de los centros para sostener sus proyectos de huerto en el tiempo. Según el diagnóstico, en general el apoyo a los huertos escolares ha aumentado sustancialmente en las dos últimas décadas, de forma que actualmente existen más de 50 programas o redes autonómicas, provin-

ciales o municipales (Estrella-Torres, 2025). También ha aumentado la legitimación institucional de estos espacios, que van incorporándose a los Proyectos Educativos de Centro (PEC) y Programaciones Generales Anuales (PGA), más allá de la tradicional vinculación exclusiva al área de Ciencias Naturales. Y cada vez más, los huertos actúan como nodos en torno a los que se articulan otras experiencias vinculadas a la alimentación saludable y sostenible o, en un sentido más amplio, a la educación para la sostenibilidad. Así, el huerto escolar está dejando de ser una actividad complementaria para convertirse en un recurso estable (Estrella-Torres, 2025).

MARCO TEÓRICO

Huertos escolares como espacios de educación al aire libre: salud y bienestar

Los huertos ofrecen experiencias de aprendizaje al aire libre sin salir de la escuela, en un contexto global en que la mayoría de nuestros infantes y jóvenes están creciendo en ambientes urbanos, y su contacto con la naturaleza es probablemente escaso o insuficiente (ONU, 2025). La psicología ambiental señala que la experiencia directa en y de la naturaleza juega un papel vital e insustituible en el desarrollo afectivo y cognitivo de las personas (Drissner *et al.*, 2010), y que el contacto habitual o frecuente con ella tiene un efecto reparador sobre recursos adaptativos tan relevantes como la atención dirigida o el bienestar (Kaplan, 1995). Es decir, que disponer de espacios verdes en las escuelas y utilizarlos de manera regular para realizar actividades con los estudiantes repercute positivamente sobre su salud y bienestar, y mejora su capacidad de atención (Collado y Corraliza, 2016; Moll *et al.*, 2022).

También se sabe que las experiencias regulares de contacto con la naturaleza fomentan el desarrollo de actitudes y conductas de cuidado y protección del entorno, particularmente cuando ocurren desde edades tempranas (Evans *et al.*, 2018; Moll *et al.*, 2022). Y ésta es una de las razones por las que organismos tan prestigiosos como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza señalan que la naturalización de los espacios escolares es prioritaria, no sólo para favorecer el desarrollo infantil saludable, sino también para educar ciudadanos comprometidos con la protección del medio ambiente (UICN, 2016). Los huertos juegan un papel importante a este respecto, pues ponen en contacto a los estudiantes con seres vivos y elementos naturales. Ahora bien, para que sus beneficios se materialicen de forma estable, es necesario encajar su uso en el marco curricular y organizativo de los centros.

El huerto en la escuela: currículo, competencias y evaluación

El modelo educativo español está basado en la enseñanza-aprendizaje por competencias. En 2018 se definieron a nivel europeo las ocho competencias clave que

posteriormente se han ido integrando en todas las etapas del sistema educativo español. Las competencias se definen como saberes multidimensionales que engloban las dimensiones cognitiva, procedimental, actitudinal y relacional. En Educación Ambiental, y también en relación con los huertos educativos, ya se habla de competencias para la acción (en lugar de procedimentales) y del dominio afectivo (en lugar del actitudinal) (Eugenio-Gozalbo *et al.*, *in press*). En el contexto de un modelo de enseñanza-aprendizaje por competencias, la metodología debe facilitar que los estudiantes pongan en juego sus habilidades, capacidades, conocimientos y actitudes en contexto. Enseñar mediante un huerto se considera una metodología activa, denominada *garden-based learning* en la literatura anglosajona (Desmond *et al.*, 2004). Se fundamenta en el aprendizaje experiencial, que implica involucrar a los estudiantes en el proceso de aprender a partir de la experiencia y, más específicamente, de aprender mediante la reflexión sobre el hacer (Kolb, 1984). Una evaluación cualitativa basada en el análisis de los diarios de nuestros estudiantes nos permitió comprobar que, efectivamente, utilizar un huerto para enseñar ciencias naturales desarrolla aprendizajes no solo conceptuales, sino también procedimentales, actitudinales y relacionales, en un contexto que además mejora su bienestar (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2019).

Ajustarse al currículo es una preocupación fundamental de los docentes, ya que todas las propuestas didácticas (*situaciones de aprendizaje*) que vayan a implementar en sus aulas deben estar alineadas con los contenidos (*saberes básicos*) y las competencias específicas definidas para cada asignatura, materia o área. Uno de los temores más comunes es considerar que usar un huerto les aparta de “lo que hay que enseñar”. Muy al contrario, el huerto es un recurso que facilita acercarse a los currículos en todas las etapas educativas; en cuanto a metodología (puesto que, como argumentábamos antes, los estudiantes desarrollan competencias, y no solo saber conceptual), contenidos (dada la relevancia que tienen en ellos los contenidos del ámbito de la sostenibilidad), y a promover una enseñanza-aprendizaje contextualizada.

Otro aspecto que suele preocupar a los docentes es la evaluación: ¿Cómo puedo evaluar cuando uso un huerto para enseñar? Con los años de experiencia en la enseñanza-aprendizaje por competencias, la evaluación competencial se ha ido incorporando también a las aulas, y cada vez más los docentes utilizan actividades o pruebas de evaluación que no contemplan solo la reproducción memorística del conocimiento conceptual, sino que engloban también las otras dimensiones de la competencia.

Otra cuestión diferente pero relacionada es la necesidad de evaluar de forma robusta y consistente entre intervenciones didácticas los aprendizajes que promueve el uso de huertos. Desde la universidad, hemos abordado el diseño y validación de instrumentos cuantitativos, y disponemos de dos cuestionarios sobre hábitos de compra e ingesta alimentaria (Ramos-Truchero *et al.*, 2026), que ya se han implementado para evaluar intervenciones sobre alimentación saludable y sostenible, mostrando

mejoras en las conductas de los maestros/as en formación inicial (Adelantado-Renau y Eugenio-Gozalbo, 2026). También disponemos de un cuestionario validado para evaluar el uso de huertos en educación primaria, considerando los aprendizajes en las dimensiones cognitiva (*yo pienso*), afectiva (*yo siento*) y conductual (*yo hago*) que promueve (Eugenio-Gozalbo *et al.*, *in press*). Finalmente, estamos trabajando para validar un cuestionario de actitudes sobre la agricultura sostenible (Eugenio-Gozalbo *et al.*, *in press*), puesto que investigaciones previas de corte cualitativo nos han mostrado que la percepción de los estudiantes sobre la actividad agrícola cambia tras utilizar huertos para la enseñanza-aprendizaje (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2021).

Huertos para la educación científica y ambiental

Desde un punto de vista científico, un huerto es un agroecosistema, es decir, un sistema funcional de relaciones complementarias entre organismos vivos y su entorno, que mantienen un estado de equilibrio constante, a la vez que son dinámicas (Odum, 1996). Por tanto, los huertos son valiosos para la enseñanza de las ciencias, puesto que el estudio de sus componentes y procesos puede aproximarse desde los métodos y los conocimientos de la ciencia. Este sistema tiene la particularidad de ser gestionado por el ser humano con el propósito de producir alimentos, por lo que su estructura, función y propiedades emergentes se ven modificadas (Altieri, 1995). Así, un huerto es una interfaz entre naturaleza y acción humana, y resulta un contexto idóneo para abordar cuestiones medioambientales relevantes relacionadas con su gestión (que implica la del suelo, el agua, la biodiversidad, etc.) (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2021).

Desde la perspectiva de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, el uso de huertos con finalidad educativa facilita abordar una serie de temas relevantes en la educación científica y ambiental (Eugenio-Gozalbo y Zuazagoitia, 2023), articulándolos con las denominadas *prácticas científicas*. Para desarrollar la competencia científica en los estudiantes, la investigación propone reproducir en la escuela las prácticas en las que se basa la comunidad científica para construir el conocimiento, destacando la modelización (Garrido y Couso, 2025), la indagación (Jiménez-Liso, 2020) y argumentación (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2007), y hacerlo de una manera contextualizada y significativa para los estudiantes (Bennett *et al.*, 2007; Fensham, 2009).

Sin embargo, la actividad científica real trasciende lo puramente epistémico (García-Carmona, 2021). Las científicas y científicos también participan en prácticas no-epistémicas de naturaleza social, ética, organizativa, comunicativa y económica, que son igualmente determinantes en la construcción del conocimiento científico. El enfoque didáctico habitual se ha centrado casi exclusivamente en las prácticas epistémicas, desatendiendo esta otra dimensión no-epistémica, que resulta esencial para proyectar una imagen auténtica de la ciencia. En el huerto, estas prácticas

incluyen dimensiones organizativas (distribución de responsabilidades), éticas (tratamiento respetuoso de seres vivos), comunicativas (cuadernos de campo, informes) y de reflexión crítica sobre factores sociales y culturales que inciden en las prácticas agrícolas locales.

BARRERAS AL ESTABLECIMIENTO Y LA PERDURABILIDAD DE LOS HUERTOS ESCOLARES

A pesar de su expansión y reconocido potencial como espacio educativo, los huertos escolares conviven con diversas limitaciones que dificultan tanto su establecimiento como su perdurabilidad en el tiempo. La literatura reciente señala que ésta última depende de factores estructurales que operan a diferentes niveles (pedagógicos, organizativos, institucionales, normativos y territoriales), por lo que, para asegurarla, son necesarios cambios normativos, arquitectónicos y organizativos que van más allá de los propios centros (Estrella-Torres y Jiménez, 2020; Estrella-Torres, 2025).

La falta de tiempo constituye el principal obstáculo según hasta un 80% de los centros. El profesorado describe sobrecarga de tareas, insuficiente coordinación y rigidez organizativa del currículum como elementos que limitan una participación e implicación más amplia y duradera. Esto obliga a sostener el proyecto de huerto desde el voluntarismo y genera desigualdades internas, sobrecarga y desmotivación. Esta falta de tiempo aparece sistemáticamente asociada a otras dificultades, como la falta de continuidad o la baja implicación de parte del claustro (Estrella-Torres, 2025). Otra barrera es la falta de conocimientos agrícolas, y las dificultades para adaptar el currículo o desarrollar propuestas didácticas contextualizadas. El profesorado señala una falta de formación específica, tanto técnica como didáctica, que deriva en inseguridad profesional y dificultades para integrar el huerto en el currículo, reduciendo su valor educativo efectivo. A ello se suma la ausencia de reconocimiento institucional, dado que el trabajo de coordinación raramente se acompaña de horas lectivas liberadas (Estrella-Torres, 2025).

Muchos centros señalan que el huerto está sostenido por una sola persona que asume la coordinación, la formación y el mantenimiento, sin reconocimiento formal ni relevo asegurado. Cuando esta persona cambia de destino o se agota, el proyecto se detiene o desaparece, un fenómeno descrito tanto en el diagnóstico de la Red de Huertos Escolares Sostenibles de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2016) como en el diagnóstico realizado a nivel estatal, donde un 24% de los centros identifica los cambios de profesorado como un factor crítico para la continuidad del huerto (Estrella-Torres, 2025). La falta de financiación estable y los apoyos institucionales dependientes de los ciclos políticos son otra de las dificultades mencionadas. La compra de herramientas, instalación de riego o contratación de educadores/as ambientales exige recursos económicos que muchos centros no pueden asumir. Los ciclos políticos se traducen en recortes o discontinuidades que afectan a la perdurabilidad a medio y largo plazo.

Una dificultad extendida se refiere al abandono del huerto durante el verano. Coincidiendo con los meses de mayor actividad biológica, los centros educativos cierran, lo que ocasiona pérdidas de cosechas y dependencia de turnos de riego y mantenimiento voluntarios; esta estacionalidad genera frustración y limita la continuidad pedagógica (Estrella-Torres, 2025). Por último, el diseño arquitectónico de los centros constituye una barrera física persistente. La planificación tradicional priorizó los patios diseñados desde una lógica de vigilancia y limpieza, y transformar esta realidad material requiere inversiones y trámites administrativos que a menudo exceden la capacidad de gestión de los propios centros.

Todas estas limitaciones evidencian que la perdurabilidad y el éxito de los huertos escolares no pueden recaer exclusivamente en el esfuerzo individual del profesorado ni en la voluntad aislada de los centros. Su consolidación requiere marcos normativos que los reconozcan explícitamente, estructuras organizativas que los integren de manera estable, y transformaciones espaciales. Sin estos apoyos, los huertos son vulnerables a cambios de personal, variaciones presupuestarias y dinámicas políticas locales.

CLAVES DEL ÉXITO DE LOS PROYECTOS DE HUERTO ESCOLAR

A continuación, presentamos las claves para que un proyecto de huerto escolar sea exitoso, que se resumen al final en la Figura 23.2.

Legitimación e institucionalización

Aunque la Estrategia Española de Desarrollo Sostenible 2030 (EEDS, 2030), la LOMLOE (2020) y el Plan de Acción de Educación Ambiental para la Sostenibilidad 2021-2025 (PAEAS) configuran un marco que sitúa la sostenibilidad, la equidad y la acción climática en la educación formal, ninguno de estos documentos menciona explícitamente los huertos escolares, limitando así su institucionalización, reconocimiento y acceso a recursos y apoyo estables. Esto obliga a muchos centros a justificar sus programaciones y proyectos a partir de interpretaciones indirectas del marco curricular, generando desigualdades entre territorios y dificultando el reconocimiento.

Esta ausencia se reproduce en los decretos autonómicos, aunque existen diferencias entre comunidades autónomas. En algunos casos sí se reconoce la importancia del tiempo al aire libre, como sucede en País Vasco para la Educación Infantil, que se regula mediante Decreto 75/2023, de 30 de mayo, y establece que "las actividades incluirán tanto aquellas a realizar dentro del aula como las desarrolladas en zonas abiertas del exterior, procurando que estas últimas se realicen diariamente", promoviendo "actividades que permitan el contacto directo con la naturaleza"

(Gobierno Vasco, 2023). Sin embargo, otras comunidades autónomas carecen de menciones en esta línea.

El sistema de niveles de concreción curricular determina cómo se despliega el currículo desde la normativa estatal y autonómica hasta la práctica de aula. El segundo nivel de concreción corresponde a las instituciones educativas, que deben recoger sus decisiones pedagógicas en el PEC, y concretarlas anualmente en la PGA. Finalmente, es el profesorado quien, en el tercer nivel, planifica la acción educativa en el aula, adaptando los elementos curriculares a las características socioculturales y ambientales de su contexto concreto. Este esquema se sostiene sobre el principio de autonomía de los centros, que habilita a cada comunidad educativa para desarrollar enfoques propios dentro del marco común, proporcionando así oportunidades para la legitimación del huerto escolar, especialmente cuando su uso se articula con los hábitos de vida saludable, la sostenibilidad o el territorio.

El uso educativo del huerto debe abordarse no como una actividad aislada o complementaria, sino de forma integrada con el currículo. Para ello, es imprescindible diseñar productos didácticos que conecten el trabajo en el huerto con los elementos curriculares prescriptivos: saberes básicos, competencias específicas y criterios de evaluación de las diferentes áreas. Las situaciones de aprendizaje y las secuencias de enseñanza-aprendizaje constituyen los instrumentos idóneos para esta integración. Estos productos curriculares permiten contextualizar los aprendizajes en el huerto, estableciendo conexiones explícitas entre las experiencias vividas en este espacio y los objetivos curriculares de cada etapa educativa, garantizando así la legitimidad de este espacio educativo y su coherencia con el PEC.

Un factor clave es la integración del huerto a lo largo de las distintas etapas. Para ello, resulta fundamental que lo sostenga un grupo motor estable, formado por profesorado y otros actores de la comunidad educativa. Es fundamental que se reconozca la figura del coordinador/a a nivel organizativo en el centro, y que se atribuya tiempo a sus tareas. La figura de “coordinación de sostenibilidad” (vinculada al PEC) asegura continuidad, coherencia pedagógica y relevo, articulando el huerto como un eje transversal. Esta lógica de continuidad debe abarcar también secundaria y formación profesional, etapas en las que el huerto es útil para ampliar ciertos enfoques y profundizar en ciertos temas. De hecho, el huerto puede ser un elemento de unión entre etapas, por ejemplo, a partir de proyectos de APS interniveles.

En la educación superior, los huertos universitarios se consolidan a través de estructuras institucionales que los integran en la estrategia de sostenibilidad del campus (Zuazagoitia *et al.*, 2024). Las oficinas de sostenibilidad, aliadas clave en este proceso, han logrado transformar estos espacios que inicialmente eran proyectos marginales en activos estratégicos. Una estrategia complementaria consiste en equiparlos a espacios educativos plenamente reconocidos, como los laboratorios, asignándoles recursos, personal técnico y presupuesto estable. Paralelamente, su integración en la formación inicial del profesorado, mediante contenidos de didáctica

de entornos naturales en los Grados de Educación y Másteres de Secundaria, y sobre gestión de grupos al aire libre, es determinante para que las futuras generaciones de docentes lleguen a las escuelas con capacidad real de sostener estos proyectos.

Diseño espacial y manejo agrícola

Lo que se puede enseñar en un huerto depende en gran parte de cómo es el huerto y de cómo lo cultivamos o, en un sentido más amplio, lo gestionamos. Respecto al modelo espacial, nos referimos a cuestiones como la dimensión del espacio físico que ocupa (es grande, mediano o pequeño), su localización (está en un entorno urbano, semiurbano o natural), su estructura espacial (contiene distintos “lugares”, incluyendo bancales de cultivo, zona de compostero y/o vermicompostero, espacio de mesa y bancos, etc.) y sus elementos (bidones para recolectar agua de lluvia, trituradora para la materia orgánica, etc.). Un huerto de buen tamaño, en un entorno semiurbano, con cierto número de subáreas y los elementos necesarios para una adecuada gestión de los suelos, residuos, agua y biodiversidad proporcionará más oportunidades de enseñanza-aprendizaje (Figura 23.1). Así, un huerto en un entorno natural o seminatural resultará más adecuado para estudiar la biodiversidad de polinizadores locales que otro en un entorno predominantemente urbano. O sólo podremos investigar sobre el compostaje si disponemos de composteras o de espacio para compostar al aire libre.

Lo mismo ocurre con el manejo agrícola. Una propuesta ampliamente aceptada es el manejo sostenible del huerto educativo, porque implica el uso de prácticas que son más elaboradas y, en consecuencia, más capaces de generar conocimientos conceptuales más complejos sobre el funcionamiento de los ecosistemas en los estudiantes, y más valiosas desde el punto de vista educativo. Algunos ejemplos de principios y prácticas sostenibles, que se siguen en agroecología, agricultura ecológica, o permacultura, son: aprovechar al máximo los recursos, como el espacio o el agua; distribución de las plantas y rotaciones de cultivos basadas en las asociaciones y compatibilidades entre las diferentes especies; sistemas de acolchado que ahorran agua, reducen la erosión y la aparición de adventicias, y protegen la fauna edáfica; aprovechar las interacciones entre especies (favoreciendo la polinización mediante bandas florales o evitando plagas mediante plantas compañeras); minimizar la producción de residuos (compostando y/o vermicompostando); mimar el suelo (evitando el labrado que destruye los horizontes, añadiendo periódicamente capas de compost o vermicompost, acolchando); y no usar biocidas u otros productos químicos de síntesis que alteran la funcionalidad propia del ecosistema.



Figura 23.1. El huerto universitario del campus de Soria (Universidad de Valladolid) como ejemplo de modelo espacial: entorno y diversidad de espacios y elementos de gestión que amplían las posibilidades de enseñanza-aprendizaje

Aplicar estas técnicas en el huerto educativo implica aprendizajes procedimentales, permite desarrollar aprendizajes conceptuales relevantes sobre los ciclos de materia (en la naturaleza la materia nunca se desecha, siempre se recicla), flujos de energía (inputs y outputs en el agroecosistema, que dependen en gran medida de su manejo), existencia limitada de recursos (suelo, agua, etc.) y límites a la producción que imponen los mismos, interacciones bióticas (planta-planta, planta-parásitos, planta-simbiontes, etc.), papel de los descomponedores (bacterias y hongos) en los ecosistemas, el suelo como componente vivo de un ecosistema (y no sólo como sustrato inerte), etc. El aprendizaje actitudinal que fundamentalmente se pretende es claro: el respeto y el cuidado de la vida.

Modelo de gestión ecosocial

El enfoque *whole-school* parte de la idea de que los centros educativos funcionan como sistemas complejos, en los que interactúan dimensiones materiales, organizativas, sociales, culturales y simbólicas. Desde esta perspectiva, el huerto escolar no se concibe como un recurso didáctico aislado, sino como un elemento que se interrelaciona con otros, como pueden ser el comedor, el patio o las iniciativas de participación comunitaria. En este marco, el manejo sostenible del huerto adquiere un significado que va más allá de la aplicación de determinadas técnicas de cultivo. La agroecología, entendida como enfoque educativo, permite articular el huerto como parte de una visión más amplia del sistema agroalimentario escolar, incorporando no solo la producción de alimentos, sino también su transformación, consumo y

organización comunitaria. Esta aproximación, denominada *agroecología escolar*, ha sido descrita como una praxis educativa que sitúa el sistema alimentario escolar en el centro del aprendizaje, promoviendo procesos de construcción de conocimiento orientados a la transición agroecológica y al desarrollo de competencias ecosociales (Estrella-Torres, 2025; Llerena y Espinet, 2017).

Desde esta lógica, el huerto se configura como un nodo que conecta distintas prácticas y actores del centro, y que contribuye a dotar de coherencia a los proyectos de educación para la sostenibilidad, favoreciendo dinámicas de corresponsabilidad, cooperación y toma de decisiones compartidas. Concebir el huerto desde un enfoque *whole-school* implica también atender a su contextualización territorial y cultural. El huerto escolar se convierte así en un espacio donde se recuperan, actualizan y resignifican saberes agrícolas, alimentarios y culturales propios de cada territorio, incorporando conocimientos locales y reconociendo la diversidad de prácticas. Esta dimensión permite fortalecer el vínculo entre escuela y territorio y favorece procesos de apropiación social del huerto por parte de diferentes agentes, contribuyendo a su perdurabilidad.

Enfoque didáctico y formación

El huerto escolar constituye un contexto de gran valor para el desarrollo de prácticas científicas, tanto epistémicas como no epistémicas (García-Carmona, 2021). El desafío radica en diseñar propuestas educativas con una intencionalidad clara, que activen dichas prácticas de forma progresiva y coherente con el currículo (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2018; Eugenio-Gozalbo y Zuazagoitia, 2023). Superar la lógica de tareas rutinarias (sembrar, regar, cosechar) implica diseñar situaciones de aprendizaje que conviertan el manejo cotidiano del espacio en motivo de preguntas, contrastes y decisiones fundamentadas. Cuando procesos como el compostaje, la gestión del agua, las asociaciones de cultivos o el seguimiento del suelo se integran en secuencias didácticas orientadas, el huerto se transforma en un contexto educativo donde los estudiantes pueden observar, predecir, modelizar, experimentar y argumentar (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2022; Eugenio-Gozalbo y Ortega-Cubero, 2024; Sanz *et al.*, 2021).

La investigación didáctica muestra que los huertos permiten trabajar conceptos científicos complejos —ciclos biogeoquímicos, flujos de energía, interacciones bióticas, procesos de descomposición, fertilidad del suelo— mediante experiencias contextualizadas que facilitan la construcción de modelos explicativos más robustos (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2018; Garrido y Couso, 2025; Zuazagoitia *et al.*, 2021). Estos procesos posibilitan que el alumnado avance desde habilidades básicas, como la observación o la clasificación, hacia niveles superiores de pensamiento científico, que incluyen la formulación de hipótesis y la experimentación propiamente dicha (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2022).

El huerto resulta particularmente adecuado en educación infantil, pues el currículo promueve la exploración sensorial, el inicio del pensamiento científico y el desarrollo de actitudes de cuidado del entorno. Actividades como la exploración del suelo, el seguimiento del crecimiento de las plantas o la observación de pequeños invertebrados integran de forma natural estas cuestiones (Eugenio-Gozalbo *et al.*, 2026). En primaria y secundaria, su potencial se amplía hacia contenidos de mayor complejidad ecológica, social y tecnológica, vinculados a la sostenibilidad y a los sistemas alimentarios. Este potencial solo se despliega plenamente cuando el huerto se utiliza de forma interdisciplinar. Así, las matemáticas permiten analizar superficies o interpretar datos de crecimiento; la lengua se vincula con la elaboración de informes, cuadernos de campo o debates; las ciencias sociales facilitan el análisis del sistema alimentario o de las prácticas agrícolas locales. Esta transversalidad evita que el huerto quede limitado a las ciencias naturales y lo convierte en un espacio integral de educación para la sostenibilidad (Eugenio-Gozalbo y Zuazagoitia, 2023).

La efectividad didáctica del huerto depende, en gran medida, de la intencionalidad docente. No es la abundancia de recursos materiales lo que determina la calidad de la enseñanza-aprendizaje, sino la capacidad del profesorado para orientar la experiencia mediante preguntas, retos cognitivos y conexiones con los procesos científicos (Sanz *et al.*, 2021). Un huerto modesto puede ser formativo con la mediación adecuada; por el contrario, un espacio muy equipado puede no generar aprendizajes significativos sin una guía intencional. Finalmente, el diseño de propuestas debe adaptarse al contexto específico de cada centro: características del alumnado, conocimientos y apoyos disponibles para el profesorado, espacio físico, condiciones territoriales o presencia de redes locales. No existe un único modelo válido; existen principios que deben contextualizarse. Lo esencial es que el huerto funcione como un ecosistema educativo vivo, donde la acción, la reflexión y la comprensión ecológica avancen de manera coherente y situada.



Figura 23.2. Claves del éxito de los proyectos de huerto escolar organizadas en cuatro dimensiones fundamentales que se articulan en torno al nodo eco-educativo del centro.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES: DEL HUERTO COMO RECURSO AL HUERTO COMO ECOSISTEMA PEDAGÓGICO

Los huertos escolares se han consolidado en las últimas décadas como una de las propuestas educativas más fértiles para articular educación científica, sostenibilidad y bienestar en contextos educativos diversos. Esta expansión, no obstante, ha ido acompañada de una notable fragilidad en la implementación de muchos proyectos, marcada por enfoques instrumentales, dependencia de personas clave y falta de integración en la estructura y organización escolar. El potencial transformador de los huertos educativos reside en la forma como se integran pedagógica, curricular y organizativamente en la vida de los centros. Concebir el huerto como un recurso puntual limita su alcance educativo y contribuye a la fragilidad y discontinuidad de muchos proyectos. Por el contrario, concebirlo como un ecosistema pedagógico permite articular aprendizajes científicos significativos, prácticas de cuidado del entorno y dinámicas comunitarias coherentes con los retos ecosociales actuales.

La expansión de los huertos escolares en España convive con barreras estructurales persistentes que operan a múltiples niveles. La falta de tiempo reconocido, finan-

ciación estable, formación específica y apoyo institucional no puede abordarse como un problema particular, sino como una cuestión sistémica que requiere respuestas coordinadas desde las políticas educativas, la organización escolar y la formación docente. Esta fragilidad se ve reforzada cuando el huerto continúa siendo concebido, explícita o implícitamente, como un recurso añadido y no como un elemento estructural del proyecto educativo.

Desde una perspectiva teórica y didáctica, los huertos escolares ofrecen un contexto privilegiado para una educación científica basada en prácticas, en contacto con sistemas vivos complejos y con problemas reales. No se trata únicamente de aprender contenidos científicos, sino de comprender cómo el conocimiento se construye, se negocia y se vincula a decisiones éticas, sociales y ambientales. En este marco, la calidad de la mediación docente y la intencionalidad pedagógica emergen como factores clave, por encima incluso de las características materiales del espacio.

Es necesario repensar la formación inicial y continua del profesorado para que los huertos dejen de ser percibidos como una carga adicional y se conviertan en contextos legítimos de enseñanza y aprendizaje. Esto implica dotar al profesorado de herramientas para diseñar situaciones de aprendizaje integradas, evaluar procesos complejos y gestionar grupos en espacios educativos abiertos, así como reconocer institucionalmente estas competencias.

En un contexto marcado por la crisis climática, la pérdida de biodiversidad y el distanciamiento creciente entre infancia y naturaleza, los huertos escolares no pueden seguir ocupando un lugar periférico en la agenda educativa. Avanzar hacia esta integración real no es solo una cuestión metodológica, sino una decisión educativa y política que interpela a administraciones, centros y comunidades educativas sobre qué tipo de educación científica queremos construir en tiempos de crisis ecosocial.

Capítulo 24. Tecnologías emergentes en la educación científica escolar

Araceli García-Yeguas¹, Susana Rams^{1,2}, Francisco Silva-Díaz^{3,1}, Javier Carrillo-Rosúa¹,
Nicole Saldes-Toledo^{4,1}

¹ Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada (España);

² Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Málaga (España);

³ Facultad de Educación. Universidad Autónoma de Chile (Chile);

⁴ Facultad de Ingeniería. Universidad de Valparaíso (Chile)

Contacto: araceligy@ugr.es; fjcarri@ugr.es

INTRODUCCIÓN

Hasta finales del siglo XX, prácticas como la comunicación mediante videoconferencia pertenecían al ámbito de la ciencia ficción, tal como ya anticipaba la película *2001: A Space Odyssey* de Stanley Kubrick (1968). En la actualidad, estas tecnologías forman parte de la vida cotidiana de los entornos educativos, evidenciando la celeridad con la que los avances tecnológicos redefinen los modos de comunicación, aprendizaje y producción de conocimiento.

En este escenario, tecnologías como la inteligencia artificial y la realidad virtual contribuyen de forma significativa a los procesos de aprendizaje, a la comprensión de la cognición y a las maneras en que el aprendizaje se registra y evalúa (EDUCAUSE, 2025). Desde una perspectiva histórica, estas transformaciones se inscriben en un proceso sostenido, que va desde herramientas simbólicas iniciales hasta instrumentos científicos cada vez más complejos, mediante el cual la tecnología ha impulsado cambios que amplían las capacidades humanas de comprensión y actuación sobre la naturaleza (Huidobro y Vergara, 2016). La pandemia por COVID-19, iniciada a finales de 2019 y expandida globalmente en pocos meses, consolidó un punto de inflexión en educación, ya que el cierre de centros educativos durante 2020 intensificó el uso de plataformas de videoconferencia y otros recursos digitales para sostener clases y comunicación con el alumnado en un contexto excepcional (Calle y Mediavilla, 2021), favoreciendo su integración posterior como un medio más en diversos escenarios formativos.

El informe EDUCAUSE Horizon Report (EDUCAUSE, 2025) identifica anualmente tendencias en tecnologías emergentes con influencia en los procesos de enseñanza-aprendizaje, actualmente con foco en educación superior. Siguiendo a Silva-Díaz *et al.* (2022), estas tecnologías pueden clasificarse en: i) robótica educativa y sistemas basados en microcontroladores y sensores; ii) *makerspaces* y entornos de aprendizaje vinculados a la cultura *maker*; iii) tecnologías analíticas y análisis de datos educativos; iv) entornos de simulación, visualización científica y laboratorios virtuales; v) realidad extendida -XR- (realidad virtual inmersiva, aumentada y

mixta); vi) inteligencia artificial aplicada a contextos educativos; vii) Internet de las Cosas (IoT) y dispositivos inteligentes. Entre las tendencias señaladas destacan el avance y la mayor asequibilidad de la XR, junto con nuevas formas de registro del aprendizaje y de resultados educativos.

En la enseñanza de las ciencias experimentales, progresivamente se han incorporado instrumentos, dispositivos y entornos tecnológicos orientados a aproximar al alumnado a su conocimiento (Gallego Martínez, 2025). En este contexto, el presente capítulo indaga en el papel de las tecnologías emergentes desde la perspectiva de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, atendiendo a sus aportaciones, limitaciones y desafíos educativos.

ROBÓTICA EDUCATIVA Y SENSORES: APRENDER CIENCIAS HACIENDO CIENCIA

La robótica educativa y el trabajo con sensores se han consolidado como recursos pedagógicos con un potencial particularmente alto para la Didáctica de las Ciencias Experimentales, en la medida en que permiten aproximar al estudiantado a una lógica de indagación que se sostiene en la observación sistemática, la medición, el registro y la interpretación de datos. Respecto a su potencial didáctico, su valor no reside únicamente en “hacer” o “construir”, sino en la posibilidad de tensionar ideas previas, modelizar fenómenos y argumentar con evidencia, situando a las y los estudiantes en un rol activo frente a problemas que requieren decisiones, contrastación y comunicación de resultados. Desde esta perspectiva, la robótica y los sensores aportan cuando se diseñan para apoyar aprendizajes científicos específicos, y no cuando se reducen a experiencias llamativas desconectadas de propósitos curriculares.

Robótica educativa y sensores como mediación de prácticas científicas escolares

La evidencia sobre la integración de la robótica educativa en educación escolar muestra resultados favorables, aunque condicionados por el tipo de tareas propuestas, el tiempo de implementación y la mediación docente. En particular, las síntesis de literatura en el contexto de Educación Primaria han destacado que el aporte de la robótica se observa con mayor claridad cuando se integra a secuencias con intencionalidad STEM, vinculadas a problemas auténticos y con espacios para el ensayo, el error y la mejora, evitando su uso como actividad aislada o meramente demostrativa (Ferrada *et al.*, 2020). En esa misma línea, la literatura sobre tecnologías emergentes en educación STEM muestra que la robótica y, en menor medida, el Internet de las cosas (IoT) aparecen de forma recurrente en la producción científica, lo que refuerza su lugar como recurso transversal; sin embargo, también se advierte que su aporte educativo depende de cómo se integran a decisiones pedagógicas y evaluativas claramente definidas (Silva-Díaz *et al.*, 2022).

La incorporación de sensores (temperatura, humedad, luminosidad, CO₂, entre otros) y microcontroladores permite ampliar el repertorio de prácticas científicas escolares, especialmente al favorecer experiencias de medición sostenida y análisis de patrones que difícilmente se alcanzan con instrumentos tradicionales. Esto abre oportunidades para trabajar con series de datos, variabilidad, error de medición, calibración y criterios de validez, aspectos centrales para comprender cómo se construyen evidencias en ciencias. Un ejemplo acotado, pero potente, es el diseño de una indagación sobre calidad del aire en espacios escolares, donde el estudiantado construye un dispositivo simple, define condiciones de medición, registra datos en distintos momentos, contrasta resultados y propone explicaciones conectadas con ventilación, ocupación del espacio y hábitos de autocuidado. En este tipo de experiencias, el “artefacto” no es el fin, sino el medio para sostener preguntas investigables, analizar evidencias y comunicar conclusiones, evitando que la actividad se agote en el ensamblaje o en la programación. En el ámbito de la educación científica, también se han desarrollado guías y propuestas que buscan reducir la barrera técnica (por ejemplo, usando programación por bloques) para mantener el foco en la investigación escolar y en el sentido formativo de la instrumentación (Ga y Chang, 2025; Kubínová y Šlégr, 2015; Sun *et al.*, 2024).

Consideraciones didácticas para la integración de robótica educativa y sensores

Para que estas tecnologías funcionen como recursos pedagógicos y no como “actividades espectaculares”, se vuelve crítico cuidar al menos tres condiciones. Primero, definir con precisión el aprendizaje científico que se pretende desarrollar, explicitando qué concepto, práctica o forma de razonamiento se espera trabajar y cómo la robótica o el sensor lo hace posible. Segundo, diseñar una progresión que combine desafíos alcanzables, tiempos reales del trabajo y apoyos (plantillas de registro, preguntas guía, rutinas de verificación), anticipando que el error y la depuración forman parte del proceso. Tercero, evaluar el aprendizaje más allá del producto final, incorporando evidencias de proceso (bitácoras, decisiones de diseño, análisis de datos, justificación de ajustes), de modo que la actividad no se reduzca a “que funcione”, sino a comprender y explicar.

En este marco, el acompañamiento docente es un factor estructural. La literatura sobre integración tecnológica ha mostrado que las creencias pedagógicas, la auto-eficacia y las condiciones de apoyo inciden directamente en la adopción y en la calidad del uso en el aula (Ertmer *et al.*, 2012). Por ello, la incorporación sostenida de robótica y sensores requiere formación docente, especialmente en el ámbito de las competencias digitales, entendidas no solo como manejo técnico, sino como capacidad de seleccionar, adaptar y evaluar tecnologías con criterio didáctico y ético (Cabero y Barroso, 2016; Mishra y Koehler, 2006; Redecker, 2017).

REALIDAD EXTENDIDA Y SIMULACIÓN PARA LA VISUALIZACIÓN Y MODELIZACIÓN DE FENÓMENOS CIENTÍFICOS

En la enseñanza de las ciencias experimentales, la visualización y la modelización constituyen un desafío didáctico recurrente, particularmente cuando los fenómenos operan en escalas no observables, requieren control de variables o demandan representar dinámicas complejas. En este contexto, la Realidad Virtual Inmersiva (RVI) y los simuladores virtuales se han posicionado como recursos que amplían las posibilidades de experiencia y representación, pero su contribución depende de que se integren con intencionalidad pedagógica, mediación docente y criterios de evaluación coherentes con el aprendizaje científico que se busca promover (Radianti *et al.*, 2020; Silva-Díaz *et al.*, 2023).

Realidad virtual inmersiva

En la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales, la RVI aporta al estudiantado comprender y explicar fenómenos, y no solo “experimentar” un entorno inmersivo. La evidencia indica que variables vinculadas a la experiencia afectiva y de presencia pueden influir en cómo se valora el aprendizaje en RVI, aunque esto no garantiza por sí mismo comprensión conceptual, lo que obliga a cuidar la mediación docente y el diseño de las tareas (Makransky y Lilleholt, 2018). En formación docente, además, la RVI adquiere sentido cuando se integra como recurso pedagógico dentro de experiencias estructuradas y con propósito STEM, favoreciendo que el futuro profesorado aprenda a diseñar, implementar y evaluar propuestas que trasciendan la novedad tecnológica (Silva-Díaz *et al.*, 2023).

Simuladores

Las simulaciones aportan a la educación científica cuando se emplean como modelos interactivos que permiten manipular variables, observar patrones y contrastar predicciones, siempre que su uso se articule con preguntas investigables y momentos de formalización. La investigación muestra efectos positivos en aprendizaje, aunque dependientes del nivel de guía, del tipo de interacción y de la coherencia con los objetivos de la secuencia didáctica (Rutten *et al.*, 2012; Smetana y Bell, 2012). En este contexto, simuladores como PhET resultan especialmente útiles para hacer visibles relaciones entre magnitudes y conectar múltiples representaciones en tópicos como energía, electricidad, gases o estructura atómica, evitando que la actividad se reduzca a manipulación sin interpretación.

Integración de la Realidad Virtual inmersiva y los simuladores

Como integración didáctica, la RVI y simuladores, particularmente PhET, pueden operar de manera complementaria dentro de una misma secuencia. PhET y otras simulaciones son particularmente pertinentes para explorar relaciones funcionales y depurar modelos mediante control de variables; la RVI puede aportar contexto, escala y experiencia situada para otorgar sentido a un fenómeno; y el cierre didáctico debe asegurar traducción a explicaciones, argumentación y criterios de evaluación consistentes con el aprendizaje esperado. Las revisiones sobre RVI en educación superior coinciden en que los resultados dependen de decisiones de diseño, apoyos y andamiajes, más que del dispositivo en sí, reforzando la idea de que la tecnología debe quedar subordinada a la intencionalidad pedagógica (Radianti *et al.*, 2020; Silva-Díaz *et al.*, 2023).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

La inteligencia artificial y su especificidad en la enseñanza de las ciencias

Desde el año 2020 se ha presentado un incremento de trabajos que abordan la inteligencia artificial (IA) en la educación científica. En este marco, la literatura reciente no se limita a reportar las posibilidades que entrega esta tecnología, sino discute las condiciones de integración, alcances y tensiones de la IA en aulas con diversidad de tareas, metas y criterios de logro (Fayzullina *et al.*, 2025). La especificidad de estos sistemas, frente a otras tecnologías educativas, radica en que operan sobre las producciones del estudiantado y generan salidas interpretativas que pueden tomar la forma de puntuaciones, clasificaciones o perfiles de desempeño. No obstante, la precisión de estas salidas es sensible a la complejidad del constructo, por lo que tareas de argumentación presentan mayores desafíos para el reconocimiento algorítmico que la identificación de conceptos aislados. En consecuencia, desde esta mirada se hace relevante considerar qué se reconoce como evidencia, qué se considera logro y qué acciones se activan durante el aprendizaje de las ciencias (Haudek y Zhai, 2024; Wilson *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

Inteligencia artificial como mediadora de prácticas científicas

Tratar la IA como mediación pedagógica implica situar su participación dentro de prácticas científicas escolares, más que describirla como un conjunto de funciones aisladas. En ciencias experimentales, las prácticas científicas escolares se definen por el trabajo con evidencia empírica y su validación, en interacción con la materialidad del fenómeno. Cuando la IA se inserta en este entramado, se vuelve

relevante examinar qué criterios epistémicos quedan incorporados en el modo en que la evidencia se traduce a registros analizables y en cómo esos registros son leídos para valorar el desempeño (Erduran y Levrini, 2024). En estudios donde respuestas abiertas se codifican mediante rúbricas y esa codificación alimenta modelos que automatizan la evaluación de habilidades de indagación, la mediación no consiste solamente en agilizar el proceso. En efecto, esta intervención altera las condiciones bajo las cuales se construye la evidencia y se atribuye valor a componentes como afirmaciones, razones o justificaciones (Wilson *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025). Por otro lado, cuando se emplean analíticas del aprendizaje para reconstruir las trayectorias de trabajo, la evidencia pasa a depender de cómo se definen las fases de la indagación y de qué indicadores se seleccionan para representarlas (Chen y Chen, 2025).

Más allá de la automatización, la mediación de la IA se puede entender como un encadenamiento en el que la evidencia escolar se transforma en registros digitales analizables, a partir de los cuales se generan salidas que orientan la interpretación del desempeño y las intervenciones en el aula. En esta cadena, la autoridad epistémica no reside únicamente en el docente ni en el sistema, sino que se distribuye en un ensamblaje donde criterios, rúbricas, datos y algoritmos participan en la validación de lo que se reconoce como explicación o justificación aceptable (Erduran y Levrini, 2024; Haudek y Zhai, 2024). Por ello, la decisión didáctica no se reduce a si la salida es conceptualmente correcta, sino a qué criterios se han incorporado en el modelo y qué tipo de evidencia queda representada o excluida, especialmente cuando el trabajo científico se apoya en la materialidad y la contrastación empírica (Tang y Cooper, 2024). En este sentido, la literatura sugiere que estas condiciones afectan tanto a la evaluación como al acompañamiento de la indagación, en la medida en que la información algorítmica reorganiza el seguimiento del proceso y de la retroalimentación (Chen y Chen, 2025; Fayzullina *et al.*, 2025).

Consideraciones didácticas para la integración de la inteligencia artificial en ciencias

Una integración pedagógica responsable requiere mantener la coherencia entre todos los artefactos didácticos y el modo en que se configura la IA, para que la salida algorítmica sea interpretable y útil para orientar la intervención docente sin sustituir el juicio profesional (Haudek y Zhai, 2024; Wilson *et al.*, 2024). Desde esta perspectiva, resulta pertinente organizar los apoyos algorítmicos en fases de la indagación, considerando que operen como andamiaje y no como entrega de soluciones, con el fin de sostener la autonomía cognitiva y reflexiva del estudiantado (Erduran y Levrini, 2024; Kunnath y Botes, 2025). En este contexto, es necesario establecer criterios epistémicos situados para definir límites y supuestos, así como comprender los alcances de la IA, de modo que su uso se mantenga crítico y no se reduzca a aceptación automática de resultados.

En términos de diseño, se debe definir la práctica objetivo y el tipo de evidencia que se considerará pertinente, de modo que la tarea produzca registros interpretables y no solo respuestas optimizadas para el sistema. Por su parte, cuando la IA participa en evaluación o diagnóstico, se requiere alinear rúbricas analíticas, definiciones de desempeño y elecciones de modelado, porque la complejidad del constructo condiciona la precisión y el tipo de retroalimentación posible (Haudek y Zhai, 2024; Wilson *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025). En actividades de indagación, resulta estratégico organizar los apoyos algorítmicos en fases de exploración y explicación, por ejemplo, con marcos como el 5E, condicionando que la IA opere como andamiaje y preguntas orientadoras (Kunnath y Botes, 2025). Finalmente, en ciencias experimentales, Tang y Cooper (2024) subrayan que estas decisiones deben preservar el vínculo con la materialidad del fenómeno y con la validación empírica, especialmente frente a sistemas generativos.

APORTACIONES Y DESAFÍOS DE LA INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA

La integración tecnológica en la Didáctica de las Ciencias Experimentales puede examinarse desde dos perspectivas complementarias: las aportaciones que ofrece al proceso de enseñanza-aprendizaje y los desafíos asociados a su implementación en contextos educativos reales.

Aportaciones

Las tecnologías digitales han ampliado de forma significativa las posibilidades de enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales, especialmente en lo que respecta al acceso a la información, la visualización de fenómenos complejos y el desarrollo de habilidades cognitivas y procedimentales. En este sentido, diversos estudios han señalado que, cuando la tecnología se integra desde un enfoque pedagógico adecuado, puede contribuir al aprendizaje significativo de las ciencias (Romero-Ariza y Quesada, 2014).

Entre las principales aportaciones identificadas en la literatura se encuentra el apoyo al desarrollo de habilidades asociadas a la resolución de problemas, particularmente en contextos de tipo cuantitativo, donde el uso de recursos digitales puede facilitar la comprensión de relaciones matemáticas y físicas implicadas en los fenómenos científicos (Diederer *et al.*, 2005). Asimismo, se ha señalado su contribución al aprendizaje de conceptos y procedimientos relacionados con la medición de variables físicas, al permitir la representación dinámica y el tratamiento de datos experimentales (Kiboss, 2002).

Otros trabajos destacan el potencial de las tecnologías digitales para favorecer el desarrollo de destrezas espaciales, especialmente relevantes en disciplinas como

la geografía y la astronomía, en las que la comprensión de escalas, movimientos y estructuras tridimensionales resulta fundamental (Hansen *et al.*, 2004; Piburn *et al.*, 2005). De igual modo, se han descrito mejoras en la comprensión de conceptos clave en áreas como la física y la química, particularmente cuando se emplean simulaciones y representaciones visuales que permiten explorar fenómenos difíciles de observar de manera directa (Trindade *et al.*, 2002; Venkataraman, 2009; Zucker y Hug, 2008).

En relación con tecnologías más específicas, la realidad aumentada ha sido señalada como una herramienta con un notable potencial motivador, al facilitar experiencias de aprendizaje más interactivas y contextualizadas. Estudios como el de Mora-Jara y Moreno-Vargas (2018) indican que este tipo de tecnologías puede favorecer la exploración de contenidos científicos que tradicionalmente se presentaban de forma estática mediante libros de texto o presentaciones, promoviendo una mayor implicación del alumnado en el proceso de aprendizaje.

Por su parte, la robótica educativa ha sido analizada como un recurso relevante en el marco de la educación STEM, al integrar de forma articulada contenidos científicos, tecnológicos y de ingeniería. Investigaciones recientes señalan que su implementación puede contribuir al desarrollo de habilidades cognitivas y al fortalecimiento de la comprensión de conceptos científicos, siempre que se plantee desde propuestas didácticas coherentes y bien estructuradas (Hernández-Álvarez *et al.*, 2024).

Finalmente, la Inteligencia Artificial (IA) ha experimentado un notable desarrollo en los últimos años, lo que ha generado un creciente interés por sus aplicaciones en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Revisiones sistemáticas recientes muestran que las herramientas basadas en IA se están incorporando con diversos fines pedagógicos, tales como la mejora del entorno de aprendizaje, la elaboración de cuestionarios, la evaluación del trabajo del alumnado o la predicción de su rendimiento académico (Almasri, 2024). No obstante, se trata de un campo aún en pleno desarrollo, cuyas aportaciones educativas deben analizarse con cautela y cuyo impacto real dependerá, en gran medida, del diseño pedagógico, la formación del profesorado y las consideraciones éticas asociadas a su uso.

Desafíos

La integración de las tecnologías digitales en la Didáctica de las Ciencias Experimentales no está exenta de limitaciones y desafíos que deben ser considerados para lograr una implementación pedagógicamente efectiva. Desde la perspectiva del profesorado, diversos estudios señalan barreras de carácter estructural, formativo y organizativo que condicionan el uso de la tecnología en el aula de ciencias (Bravo *et al.*, 2024).

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentra la falta de tiempo para la planificación, ya que la integración tecnológica requiere un diseño previo

cuidadoso de las actividades, la selección de recursos adecuados y la adaptación de los contenidos curriculares, lo que supone una carga adicional para el profesorado. Asimismo, la infraestructura tecnológica inadecuada continúa siendo un obstáculo relevante. A pesar del potencial atribuido a la tecnología educativa para la enseñanza de las ciencias naturales, su implementación efectiva se ve limitada en muchos contextos por la disponibilidad insuficiente de recursos, problemas técnicos o desigualdades de acceso.

Otro desafío señalado de manera recurrente hace referencia a las limitaciones en el desarrollo profesional docente. En este sentido, los programas formativos existentes son percibidos como insuficientes cuando no integran de forma coherente los aspectos tecnológicos, pedagógicos y disciplinares. El desarrollo de competencias tecnopedagógicas resulta, por tanto, un elemento clave para el éxito de la integración de la tecnología en el aprendizaje científico (Bravo *et al.*, 2024).

En relación con la robótica educativa, diversos autores advierten que su mera incorporación en el aula no garantiza mejoras en el aprendizaje. Como señala Alimisis (2013), la robótica debe entenderse como una herramienta al servicio del currículo, y no como un fin en sí misma, siendo imprescindible que su uso responda a objetivos educativos claramente definidos.

Otros desafíos están relacionados con el alto coste económico de determinadas tecnologías, como ocurre con los dispositivos y recursos necesarios para la realidad virtual inmersiva, que incluyen desde gafas específicas hasta ordenadores y aplicaciones de alto rendimiento. Asimismo, la falta de confianza del profesorado en el uso de tecnologías emergentes constituye otra limitación relevante, ya que puede dificultar su integración con fines educativos en la Didáctica de las Ciencias Experimentales (Al Farsi *et al.*, 2021).

Por último, en el caso de la inteligencia artificial, la literatura subraya la necesidad de mejorar la infraestructura tecnológica, incrementar la fiabilidad de los sistemas, abordar las implicaciones éticas asociadas a su uso, favorecer la motivación del alumnado y reforzar la formación del profesorado para que su integración pedagógica resulte efectiva (Fayzullina *et al.*, 2025).

UN CASO DE ESTUDIO: LA MICROSCOPÍA ESCOLAR COMO TECNOLOGÍA EDUCATIVA FLEXIBLE

Entre la gran cantidad y variedad de tecnologías científicas escolares, la microscopía ocupa una posición destacada en el imaginario colectivo. Los microscopios suelen considerarse un recurso clásico, asociado a los laboratorios escolares y a prácticas consolidadas, de amplio recorrido histórico. Sin embargo, esta aparente familiaridad contrasta con la incomodidad que el instrumento todavía genera para determinados perfiles y contextos educativos de Educación Primaria y Secundaria (Ruščić *et al.*, 2018), pues existe: (a) gran desconocimiento de modelos disponibles y opciones

asequibles; (b) marcada inseguridad en su uso; (c) una visión más relacionada con ciencia profesional que con ciencia escolar y, lo que es más preocupante en términos educativos, (d) dificultades para integrarlos en secuencias con sentido didáctico.

Resulta necesario, por tanto, tras conocer cada tecnología como objeto y/o procedimiento con ciertas prestaciones, desplazar después la mirada hacia las prácticas educativas que se construyen en torno a ellos, huyendo de una tecnofilia sin sentido escolar (Walan, 2020). Si se concibe la tecnología exclusivamente desde la novedad del objeto, su sofisticación o su grado de digitalización, se pierde de vista su dimensión formativa.

¿Existe el «microscopio escolar»?

Es frecuente escuchar hablar del «microscopio escolar» como si se tratara de una entidad claramente definida, un instrumento específico, adaptado a la edad del alumnado y simplificado técnicamente respecto a los modelos científicos profesionales: menor robustez, precisión óptica y complejidad de los ajustes. Esta forma de nombrar encierra un supuesto implícito que merece ser examinado con detenimiento, es decir, la idea de que exista un tipo particular de microscopio cuyo carácter «escolar» resida en el propio objeto.

Se propone que «microscopía escolar» sea entendida como una práctica de observación intencional mediada, con la que se transponen didácticamente conceptos, procedimientos y actitudes propios de la ciencia profesional al contexto particular y situado de la escuela. De este modo se transforma profundamente el significado de la utilización del instrumento, ya que el objetivo de su uso escolar no es generar nuevo conocimiento científico a través de datos precisos y fiables, sino contribuir a la formación del alumnado (Hofstein, 2017). La observación microscópica deja de ser un fin en sí misma para convertirse en un medio al servicio de la comprensión, la reflexión y el diálogo en el aula.

Tecnologías escolares y acceso a lo invisible

El acceso empírico a lo invisible para el ojo humano en la escuela es una experiencia personal de umbral. El alumnado descubre que el mundo no termina en lo que se ve «a simple vista» y que existen otros niveles de realidad. Microscopios, telescopios, estetoscopios o linternas de luz ultravioleta, por ejemplo, crean escenas excepcionales con un carácter difícilmente replicable en la vida cotidiana y que moldean la configuración de los modelos mentales del mundo en el individuo.

Cuando ese acceso a lo invisible ocurre por primera vez suele activarse un régimen emocional intenso, precisamente porque se mezclan expectativas altas con incertidumbre (Mellado *et al.*, 2014). La promesa implícita de vivir algo increíble y

sorprenderse puede disparar anticipación, curiosidad y deseo de confirmación; pero también puede preparar el terreno para la frustración si la evidencia no aparece, si el aparato no funciona o si lo observado no coincide con la imagen mental previa. Esta experiencia de acceso a lo invisible no es independiente del nivel tecnológico del dispositivo. Por ejemplo, con un microscopio óptico analógico clásico el alumno ha de regular la intensidad de la luz, el diafragma, ajustar el enfoque, mover la preparación, etc., lo que le hace relacionar fácilmente que la configuración de los parámetros repercute sobre las características de la imagen obtenida. En cambio, cuando el grado tecnológico aumenta, al emplear captura digital, autofocus, apps de medición, IA de realce, etc., parte de esa relación descansa en algoritmos y automatismos que pueden operar de forma inconsciente para el alumnado. Eso suele reducir barreras iniciales y puede incrementar el «efecto wow» temprano, pero también puede debilitar la comprensión de por qué lo visto es o no fiable, qué artefactos podría haber o qué papel tiene el procedimiento en la producción del dato (Kara, 2018).

Breve cronología sobre el desarrollo tecnológico de la microscopía

La paternidad del microscopio se encuentra discutida, aunque es seguro que a comienzos del s. XVII circulaban por distintas ciudades de Europa algunos modelos de baja magnificación con dos lentes convergentes (*Janssen, Galileo, Hooke*). En la segunda mitad del mismo siglo, sin embargo, se desarrolló un modelo de alta magnificación con una sola lente esférica (*Leeuwenhoek*) con el que despegó la microscopía como herramienta de desarrollo del conocimiento científico, no sin ciertas controversias que duraron bastante tiempo.

No fue hasta el s. XIX cuando se pudo corregir de forma práctica la aberración cromática y esférica (*Lister*), reduciendo la dependencia del virtuosismo individual y, con ello, el riesgo de frustración técnica en manos inexpertas. Posteriormente llega la estandarización (*Zeiss*): se desarrolla el condensador (*Köhler*) y se funda la teoría moderna de formación de imagen (*Abbe*), de modo que la calidad deja de ser misterio y pasa a ser calibrable como apertura numérica, resolución, etc. En el s. XX se produce una bifurcación. Aparece primero la microscopía electrónica (*Ruska, Knoll*), de transmisión y de barrido, que sustituye los fotones por electrones y supera el límite de resolución de la luz, pero exige aparatosas infraestructuras y expertos que las sepan manejar. Luego llega la microscopía confocal (*Minsky*), con una lógica de escaneo y reconstrucción que anticipa la microscopía como «señal más software». Ya en la era digital, el hito técnico es la digitalización navegable del portaobjetos o WSI que se generaliza paralelamente con la capacidad informática e internet a partir de comienzos del s. XXI. La reciente aparición de la microscopía remota y de AR/VR no afectan a la óptica clásica, sino que amplían el repertorio de acceso, compartición y preparación técnica (Abdüsselam y Erten, 2022).

Pero la microscopía no es únicamente una tecnología de observación, sino un conjunto de prácticas que incluyen, de manera inseparable, la preparación de las muestras (Kremer, 2012): en fresco, deshidratadas, en inclusión, microtomizadas, con tinción selectiva, con marcaje, con pulverización catódica, etc. Desde una perspectiva científica, la calidad de la observación microscópica depende en gran medida de cómo se obtiene, conserva y presenta el material observado. Estas técnicas adquieren un valor formativo propio en la escuela, al hacer visible que el conocimiento científico no surge de una mirada directa y neutra, sino de una serie de decisiones técnicas, conceptuales y culturales. Un objetivo didáctico fundamental es el de comprender que la imagen microscópica no es un reflejo directo de la realidad, sino una representación construida.

Formación de profesorado

Hablar de «microscopía escolar» implica reconocer, además, el papel central de la mediación docente. El instrumento no enseña por sí solo, ni garantiza experiencias de aprendizaje significativas. Es el profesorado quien diseña las condiciones en las que la observación cobra sentido: qué tipo y modelo de instrumento de microscopía se selecciona (analógica, digital, virtual, remota, etc.), qué se observa, cómo se preparan las muestras, con qué propósito, en qué momento de la secuencia didáctica y con qué tipo de acompañamiento conceptual y emocional. De este modo, los microscopios dejan de ser recursos aislados para integrarse en una práctica pedagógica coherente.

Desafortunadamente, se constata que la realización de prácticas de microscopía en la educación obligatoria no es todo lo frecuente que sería deseable, sino que mayoritariamente se lleva a cabo de forma ocasional e incluso anecdótica. El acceso al mundo invisible submilimétrico, en general, se limita a la narrativa docente asociada a imágenes ya producidas en los libros de texto, a esquemas explicativos o a materiales audiovisuales. Las razones principales que se esgrimen para no utilizarlo son (Vallespín *et al.*, 2019): la falta de formación específica del docente, el coste del instrumento, el alumnado poco cuidadoso, la percepción de exceso de responsabilidad, la dificultad técnica para el alumnado y para el profesorado, la carencia general de recursos de ciencias en algunos centros y la falta de motivación. Existen también entre el profesorado dos ideas preconcebidas erróneas en relación con las necesidades de recursos para la práctica de la microscopía escolar: una, respecto al número de instrumentos ópticos necesarios, ya que parece extendida la creencia de un óptimo de igual número de microscopios que de alumnos en una clase; la otra, respecto a la necesidad de existencia de un aula-laboratorio diferente al aula ordinaria.

El contacto con la microscopía suele producir un doble impacto en el profesorado en formación. Por un lado, confronta a los futuros docentes, especialmente de Edu-

cación Primaria, con la necesidad de revisar su propia relación con el conocimiento científico. Muchos estudiantes han tenido experiencias previas con los microscopios marcadas por la reproducción de procedimientos técnicos, la observación descontextualizada o la frustración ante la dificultad de «ver lo que se supone que hay que ver». Estas vivencias, lejos de ser irrelevantes, influyen en las expectativas con las que se aproximan a los procesos de enseñanza-aprendizaje de este tema y condicionan su disposición a integrarla en su futura práctica docente (Penn y Mavuru, 2020). Por otro lado, pone de manifiesto la distancia entre saber usar un instrumento y saber enseñarlo, lo que resulta más llamativo en futuros docentes de Educación Secundaria. Manejar un microscopio, en el sentido de saber ajustar la iluminación, enfocar correctamente o preparar una muestra, no equivale a ser capaz de diseñar una situación de aprendizaje en la que la observación microscópica tenga sentido educativo. Esta transformación, de usuario técnico a mediador didáctico (Arabit-García *et al.*, 2021), constituye uno de los principales desafíos formativos asociados a todo tipo de tecnologías educativas.

La microscopía escolar se configura así como una tecnología educativa formativamente exigente. A través de ella, se ponen en juego cuestiones fundamentales relacionadas con la transposición didáctica del conocimiento científico, la función de las tecnologías educativas y la responsabilidad del profesorado como mediador entre el mundo natural y la comprensión escolar.

Agradecimientos: Este trabajo forma parte del proyecto I+D+i PID2023-147028NB-I00 EduCA-STE(A)M "STE(A)M y CIUDADANÍA. Desarrollo con procesos de indagación y argumentación en la formación del docente de ciencias y su enseñanza. Estudio identitario, entornos y género", financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España. También se agradece al Proyecto TED2021-129474B-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR

PARTE 4.
APORTES DESDE LA TRANSVERSALIDAD

Capítulo 25. Educación Ambiental y para la Sostenibilidad como eje transversal en la Didáctica de las Ciencias Experimentales en España

Carlota López-Fernández, Esther Paños y José Reyes Ruiz-Gallardo

Didáctica de las Ciencias Experimentales, Departamento de Pedagogía. Facultad de Educación de Albacete, Universidad de Castilla-La Mancha.

Contacto: josereyes.ruiz@uclm.es

INTRODUCCIÓN: EDUCAR EN UN MUNDO EN TRANSFORMACIÓN

Durante buena parte del siglo XX, predominó en nuestra sociedad la sensación de que el progreso era un camino sin límites. La tecnología, la producción y los indicadores económicos avanzaban con fuerza, y con ellos la idea de un bienestar en continuo crecimiento. Sin embargo, a medida que este desarrollo se aceleraba, también lo hacían sus sombras: contaminación del aire y del agua, pérdida de biodiversidad, agotamiento de recursos, desigualdades cada vez más profundas y fenómenos climáticos extremos. Hoy sabemos que no se trataba de advertencias aisladas, sino de señales de un proceso de degradación acelerada que desemboca en numerosos conflictos socioambientales.

Los sucesivos informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 1992, 2023) han sintetizado con claridad esta evidencia: el planeta se encuentra en un punto crítico. Las alteraciones del clima, la presión sobre los ecosistemas y la tensión sobre los ciclos biofísicos muestran que nuestro modelo de vida no encaja con los límites del planeta. Pero la crisis ambiental no es solo ecológica; también es social, económica y cultural. Abordarla implica revisar cómo pensamos, sentimos y actuamos en relación con el entorno.

En este escenario, la educación adquiere un papel fundamental. Tradicionalmente vinculada al progreso social, hoy se ve llamada a formar ciudadanos capaces de comprender estos desafíos y actuar ante ellos. No basta con transmitir información ecológica o enumerar problemas, necesitamos una ciudadanía que entienda la complejidad de las relaciones entre sistemas naturales, económicos y sociales, y que sea capaz de tomar decisiones informadas.

La Educación Ambiental (EA) y la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) surgen precisamente como respuestas educativas a esta situación. Aunque ahora hablamos de ellas con naturalidad, su evolución no ha sido lineal y su integración en los sistemas educativos ha sido gradual. En realidad, cuando nos referimos a la EA/EDS no pensamos solo en un contenido o una asignatura más, sino en una perspectiva transversal que atraviesa el currículo y reorienta la enseñanza hacia la comprensión crítica del mundo y la promoción de hábitos más responsables.

Esta visión transformadora aparece claramente en documentos internacionales como la *Conferencia Mundial sobre la EDS* (UNESCO, 2014), que reconoce a la EA/EDS como una herramienta clave para impulsar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Entre ellos, el ODS 4.7 señala la necesidad de que todo el alumnado desarrolle competencias vinculadas a la sostenibilidad: pensamiento crítico, toma de decisiones responsable, acción colectiva y conciencia ética.

En España, la legislación educativa vigente incorpora explícitamente la sostenibilidad y el consumo responsable como elementos transversales en todas las etapas educativas. Pese a ello, distintas investigaciones muestran que el profesorado en formación y en ejercicio aún no se siente suficientemente preparado para abordarlos (Cuesta *et al.*, 2024; Sánchez-Carracedo *et al.*, 2021). Esta falta de seguridad hace que sea especialmente relevante profundizar en las bases conceptuales y didácticas de la EA/EDS en la enseñanza de las ciencias.

Partimos, por tanto, de una idea central: enseñar ciencias en el siglo XXI exige mucho más que explicar leyes, fenómenos o métodos. Implica contextualizar los contenidos científicos en los grandes retos socioambientales de nuestro tiempo y mostrar al alumnado cómo estos conocimientos pueden ayudarle a interpretarlos y transformarlos. Para ello es necesario comprender qué entendemos por EA/EDS, cómo han evolucionado estas perspectivas y qué fundamentos pedagógicos las sostienen, además del papel que desempeñan en la formación de estudiantes críticos, informados y comprometidos.

RAÍCES HISTÓRICAS Y EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL Y PARA LA SOSTENIBILIDAD

La EA y la EDS constituyen hoy un campo educativo reconocido, interdisciplinar y en constante evolución. Sin embargo, llegar a este punto ha sido un proceso complejo, marcado por transformaciones sociales, avances científicos y movimientos ciudadanos que han ido ampliando y redefiniendo los fines de la educación en relación con el medio ambiente. Comprender esta evolución es imprescindible para quienes se adentran por primera vez en el área, ya que permite situar los debates actuales, reconocer sus fundamentos y comprender las razones por las que la sostenibilidad se ha convertido en un eje vertebrador de la educación científica.

Qué es la Educación Ambiental: comprender, sentir y actuar

La Educación Ambiental comenzó a tomar forma a mediados del siglo XX. En el año 1968 surgió la primera propuesta institucional de EA en el Reino Unido y los países nórdicos (Novo, 2006). Esta consistía en una revisión y transformación de los currículos y metodologías educativas hacia un enfoque que fomentase la al-

fabetización ambiental. La EA se apoyó en tres grandes pilares: ciencia, emoción y acción ciudadana (Perales, 2023). Esta triple raíz explica su carácter interdisciplinar y su vocación transformadora.

El primer pilar es el científico, que tiene su origen en la ecología. Este enfoque aporta el fundamento para comprender las complejas relaciones entre los seres vivos (biocenosis) y el medio físico que habitan (biotopo), es decir, aquello que conforma un ecosistema. Gracias a esta mirada, hoy entendemos que cualquier alteración en uno de sus componentes repercute inevitablemente en el resto, subrayando la necesidad de pensar el medio como un entramado de relaciones interdependientes (Perales, 2023).

La EA se apoyó en esta ciencia para enseñar que la degradación ambiental no es un fenómeno aislado, sino un proceso sistémico. Este enfoque es crucial, pues la investigación en educación científica indica que comprender los sistemas naturales de una manera holística favorece el desarrollo de competencias en torno a la sostenibilidad, tales como el pensamiento crítico y la capacidad de analizar problemas complejos (Mostacedo-Marasovic *et al.*, 2023; Stern *et al.*, 2014).

El segundo pilar es el emocional, vinculado al disfrute y la conexión afectiva con la naturaleza. Esta experiencia ha inspirado tanto a artistas como a pensadores que han visto en el medio natural un espacio privilegiado para el desarrollo humano (Perales, 2023). Lejos de ser un aspecto secundario, esta dimensión contribuye a construir una relación significativa con el entorno y a reconocer su valor, generando actitudes de cuidado. El contacto directo con el entorno crea memorias, significados y vínculos que difícilmente se logran solo con información teórica.

La conducta de las personas, por ejemplo, en relación con el uso del agua como recurso, refleja la interacción constante entre sus conocimientos y sus emociones (Kang, 2022). Por ello, la alfabetización ambiental requiere una pedagogía «emocionalmente receptiva», entendida como la capacidad del profesorado para reconocer, regular y canalizar tanto emociones negativas (e.g., ecoansiedad), como positivas (e.g., esperanza), hacia el compromiso colectivo (Dunlop y Rushton, 2022). De ahí que diversos estudios subrayen que la efectividad de los programas de educación ambiental se sustenta en las conexiones emocionales que los estudiantes construyen a lo largo de su participación (Stern *et al.*, 2014).

El tercer pilar es el activista, ligado al ecologismo como movimiento social. A lo largo del siglo XX, sucesivos informes, movilizaciones y denuncias públicas hicieron visibles los efectos de la degradación ambiental y reclamaron cambios urgentes en la manera en que nos relacionamos con el planeta (Perales, 2023). En este sentido, la *Primavera silenciosa* (Carson, 1962) visibilizó el efecto devastador de los pesticidas y mostró que la acción humana podía alterar ecosistemas completos. Estas movilizaciones evidenciaron que la educación debía contribuir a cuestionar modelos de desarrollo y empoderar a la ciudadanía para exigir cambios. Por eso, la EA se configuró desde sus inicios como un campo no neutro, comprometido con la justicia ambiental y la participación democrática. De este pilar surge su dimensión más ciudadana y transformadora.

Estos tres fundamentos han sido descritos tradicionalmente como una educación sobre, en y para el medio (Lucas, 1972): conocer el entorno desde la ciencia, vivirlo y experimentarlo de manera significativa, y actuar para protegerlo y mejorarlo. Este triple origen explica por qué la EA es interdisciplinar, crítica, diversa, y cómo ha evolucionado al ritmo de las transformaciones sociales y ambientales.

Evolución de la Educación Ambiental: de la sensibilidad ecológica al enfoque sistémico

La Educación Ambiental no ha sido un concepto estático, sino una construcción que ha ido ampliándose a medida que se comprendía mejor la complejidad de los problemas socioambientales y las implicaciones éticas que estos conllevan. Así, ha experimentado una profunda evolución desde sus primeras formulaciones hasta su configuración actual como un marco que integra dimensiones ambientales, sociales, económicas y éticas. Novo (2006) distingue tres grandes etapas que permiten comprender esta evolución histórica.

La primera, entre 1968 y 1980, fue una etapa de conceptualización que supuso la construcción de las bases teóricas y pedagógicas de la EA. Su desarrollo se apoyó en los avances de la ecología como ciencia, en la renovación de los enfoques educativos y en la creciente conciencia social en torno a los problemas ambientales. En esta etapa, la EA se centra en comprender el medio natural y sensibilizar a la ciudadanía. Las intervenciones educativas se desarrollan principalmente en contextos no formales. La educación formal empieza a incorporar contenidos ambientales, pero de manera fragmentaria y con un enfoque predominantemente naturalista.

En este contexto surge la definición de la IUCN (1971), que concebía la EA como un proceso orientado a reconocer valores, clarificar conceptos y fomentar actitudes que permitieran apreciar las interrelaciones entre el ser humano, la cultura y el medio biofísico. Si bien sigue siendo una referencia fundamental, esta formulación inicial dejaba fuera dimensiones sociales y económicas que más tarde se considerarían imprescindibles. La *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano* (Naciones Unidas, 1972) supuso un cambio de paradigma al reconocer que tanto el medio natural como el transformado por la actividad humana requieren atención. A partir de aquí, documentos posteriores como la *Carta de Belgrado* (UNESCO-UNEP, 1975) comenzaron a insistir en la necesidad de replantear modelos y políticas centrados exclusivamente en el crecimiento económico para incorporar una perspectiva que tuviera en cuenta el cuidado del medio ambiente. Finalmente, la *Conferencia Intergubernamental de Tbilisi* (UNESCO-UNEP, 1977) consolidó estas ideas y estableció las bases de la EA moderna, al subrayar de forma explícita la importancia de integrar también las dimensiones económicas y socioambientales.

La segunda etapa, de 1980 a 1992, supuso un proceso de politización y compromiso social. La EA mostraba ya una clara expansión: se formaron los primeros

grupos de educadores ambientales, y se organizaron seminarios y congresos. A nivel internacional comenzaba a asumirse que los problemas ambientales estaban muy relacionados con los modelos económicos, y, por tanto, que demandaban respuestas integradas. Consecuentemente, los gobiernos debían incorporar esta dimensión en sus políticas educativas. Documentos como *Los límites del crecimiento* (Meadows *et al.*, 1972) o el *Informe Brundtland* (WCED, 1987) fueron decisivos para consolidar el concepto de Desarrollo Sostenible (DS): satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las de las generaciones futuras.

De esta forma, se incorporó la variable económica y se reforzó la necesidad de un enfoque global. Este periodo culminó en la *Cumbre de Río* en 1992, que dio lugar a la Agenda 21, donde se propuso un enfoque que vinculaba sostenibilidad con participación ciudadana, políticas públicas y educación, dando origen a iniciativas como la Agenda 21 Escolar, concebida para promover una ciudadanía crítica y corresponsable. La EA adquiría así un componente de ciudadanía activa y se incorporaba a políticas públicas educativas.

La tercera etapa, de 1992 hasta la actualidad, representa el tránsito hacia el paradigma de la sostenibilidad. A partir de Río, la EA amplía su mirada y se transforma progresivamente en Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), reconociendo que los problemas ambientales no pueden comprenderse aislados de los sistemas sociales, económicos y culturales que los generan. Y, consecuentemente, ampliando su foco hacia cuestiones como la justicia social, la equidad, la participación ciudadana, el desarrollo económico y la ética intergeneracional.

Este cambio implica adoptar una visión sistémica que permita abordar la complejidad, la incertidumbre y la interdependencia que caracterizan al mundo contemporáneo (Perales, 2022; Watanabe *et al.*, 2022). No se trata únicamente de proteger ecosistemas, sino de cuestionar los modelos que generan deterioro ambiental y desigualdad. En definitiva, la EA deja de entenderse solo como educación “sobre” el medio y se convierte en una educación “para” construir un futuro viable. De este modo, la sostenibilidad deja de ser una cuestión exclusivamente ecológica para convertirse en un reto sistémico que exige repensar los estilos de vida y los marcos que sostienen nuestras sociedades.

Qué es la Educación para el Desarrollo Sostenible: integrar lo ecológico, lo social y lo económico

La consolidación de la EDS responde a la necesidad de contar con un enfoque educativo capaz de afrontar los desafíos actuales desde una perspectiva integral. Su reconocimiento institucional se fortaleció con *Río+20* (Naciones Unidas, 2012), donde se adoptó formalmente el término y se subrayó que la educación debía cuestionar los modelos de desarrollo vigentes y promover alternativas económicas, sociales y éticas coherentes con la sostenibilidad. O lo que es lo mismo, abordar

los problemas ambientales desde un enfoque integrado que contemple medio ambiente, economía y sociedad.

Posteriormente, la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2015) situó a la educación en el centro de los procesos de transformación necesarios para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El ODS 4.7 es especialmente significativo, ya que plantea que todo el alumnado debe adquirir las competencias necesarias para promover estilos de vida sostenibles, la ciudadanía global y la equidad. Del mismo modo, el ODS 13 enfatiza la urgencia de actuar frente al cambio climático, recordando que la educación es clave para transformar hábitos, valores y decisiones. La educación aparece así como una herramienta estratégica para promover actitudes críticas, compromisos éticos y capacidades orientadas a la transformación social.

En esta misma línea, la *Conferencia Mundial sobre la EDS* (UNESCO, 2014) reforzó el papel estratégico de la educación en la consecución de los ODS y estableció el *Programa de Acción Mundial*, que da continuidad al *Decenio de la EDS* (2005–2014). Este programa, concebido para ampliar la EDS y acelerar los avances hacia un futuro sostenible, estableció dos objetivos fundamentales:

- Reorientar la educación hacia la sostenibilidad mediante conocimientos, habilidades, valores y actitudes.
- Integrar la sostenibilidad en todas las políticas, programas y entornos de aprendizaje.

En conjunto, estos marcos internacionales subrayan una idea central: la sostenibilidad no puede seguir tratándose como un contenido secundario, sino como una dimensión estructural de cualquier disciplina, especialmente de las ciencias experimentales, donde se estudian los fenómenos que sostienen la vida y la actividad humana.

La EDS no es únicamente un enfoque pedagógico; es, en esencia, un proyecto que busca transformar la forma en que vivimos, producimos, consumimos y nos relacionamos con el planeta y con los demás. Educar desde esta perspectiva implica aprender a comprender la complejidad del mundo, actuar con responsabilidad y apostar por formas de vida compatibles con un futuro sostenible.

En un contexto marcado por la crisis ecológica y social, la sostenibilidad demanda una educación capaz de dotar de autonomía a las personas, fomentar el pensamiento crítico y promover acciones individuales y colectivas que contrarresten la tendencia autodestructiva de nuestro actual modelo de vida. Tanto en el ámbito formal como en los espacios no formales, la EDS se presenta como una vía imprescindible para repensar nuestros modos de pensar y actuar, así como avanzar hacia sociedades más justas, conscientes y sostenibles. De este modo, invita a cuestionar qué enseñamos, cómo lo enseñamos y, sobre todo, con qué propósito.

De los resultados indirectos a los impactos ecológicos: panorama de la investigación en EA/EDS

A lo largo de las últimas décadas, la investigación en EA/EDS ha pasado de centrarse casi exclusivamente en el conocimiento científico del alumnado a incorporar una mirada mucho más amplia sobre cómo piensa, siente, participa y actúa ante los desafíos socioambientales. Los análisis tempranos ya señalaban la importancia de evaluar cogniciones, actitudes y disposiciones, pero las revisiones más recientes muestran un campo mucho más complejo y multidimensional. Así, Ardoin *et al.* (2020) evidencian que, de 105 estudios analizados, el 87% se centra en los llamados antecedentes conductuales (conocimientos, actitudes, intenciones o habilidades que sustentan la acción proambiental) y un 39% en la capacitación comunitaria, que refleja la capacidad de grupos y comunidades para organizarse y actuar colectivamente. También son habituales las mediciones de comportamientos autoinformados, pese a sus limitaciones metodológicas. En contraste, los resultados directos (acciones ambientales realizadas, comportamientos observados o mejoras ecológicas cuantificables como biodiversidad o calidad del agua) son mucho menos frecuentes, ya que requieren más tiempo, recursos y rigor metodológico.

Paralelamente, estudios como los de Stern *et al.* (2014) y Ezquerria *et al.* (2019) muestran que la investigación ha ido incorporando nuevas dimensiones, desde el desarrollo socioemocional hasta la participación comunitaria, y ampliando los marcos de análisis para explorar cómo la educación conecta experiencias, contextos y formas de actuar. En conjunto, la evolución del campo revela una transición clara: de medir lo que el alumnado sabe a comprender cómo ese conocimiento se entrelaza con actitudes, emociones, prácticas y transformaciones ambientales reales, reflejando la creciente ambición de la EA/EDS por articular ciencia, justicia social y sostenibilidad.

PROBLEMAS AMBIENTALES CONTEMPORÁNEOS: EL CONTEXTO QUE HACE IMPRESCINDIBLE A LA EA/EDS

La urgencia de situar la EA/EDS en el corazón de la educación contemporánea se comprende con claridad cuando atendemos al contexto en el que vivimos: una auténtica emergencia planetaria marcada por la crisis socioambiental del Antropoceno. Este término, propuesto para describir una nueva época geológica, subraya el profundo impacto de las actividades humanas sobre los sistemas terrestres, hasta el punto de convertir a la humanidad en una fuerza geológica capaz de alterar de manera irreversible los equilibrios planetarios (Vilches y Gil-Pérez, 2021). No se trata de una crisis simple ni lineal, sino de un entramado de problemas interconectados y simultáneamente globales y locales, que exigen nuevas formas de comprender el mundo y de actuar. La mayoría de los problemas socioambientales entrarían bajo

el paraguas de los denominados perversos (*wicked problems*), que son aquellos marcados por la incertidumbre y los conflictos de valores, de modo que no existe una única solución posible (Gray *et al.*, 2019).

Como señalan Carrascosa *et al.* (2024), entre estos desafíos destaca la degradación y el agotamiento acelerado de recursos esenciales, cuya extracción y consumo superan ampliamente la capacidad de regeneración del planeta. A ello se suma una contaminación pluriforme que atraviesa fronteras y afecta al aire, agua y suelos, con la crisis de los plásticos y residuos como símbolo paradigmático de un modelo de producción y consumo insostenible. Paralelamente, la pérdida de biodiversidad y la degradación de ecosistemas avanzan con rapidez, debilitando los equilibrios ecológicos de los que dependen la salud humana, la seguridad alimentaria y la estabilidad climática. Estos problemas son cada vez más agudos debido al hiperconsumismo que caracteriza a nuestra sociedad actual, lo que deriva en el agravamiento de la crisis climática, evidenciado por el aumento de los gases de efecto invernadero y la intensificación de fenómenos extremos como olas de calor, sequías, incendios, inundaciones y alteraciones en la producción agrícola (IPCC 1992–2023). Estamos, por tanto, ante una crisis ecológica, humanitaria y de justicia social.

Estos desafíos se enmarcan en un modelo económico que prioriza el beneficio inmediato y el crecimiento ilimitado en un planeta finito, generando profundos desequilibrios socioeconómicos: mientras una minoría sostiene estilos de vida de alto impacto ambiental, millones de personas carecen de recursos básicos. Por ello, la crisis socioambiental es también una crisis ética.

En este escenario, la EA/EDS constituye una respuesta educativa imprescindible en tiempos de emergencia planetaria. No basta con alertar sobre los riesgos, es necesario formar personas capaces de interpretar críticamente el mundo que habitamos y de intervenir en él con criterio, creatividad y responsabilidad. Solo así será posible avanzar hacia un futuro que permita el despliegue digno y pleno de la vida en todas sus formas.

LA EA/EDS COMO EJE TRANSVERSAL EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

La EA/EDS se configura hoy como un eje transversal imprescindible en la enseñanza de las ciencias. Su carácter multidisciplinar y su estrecha relación histórica con la educación científica hacen que su integración en la Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE) no sea un añadido opcional, sino un requisito pedagógico, ético y científico. En un contexto marcado por el profundo impacto humano sobre la geosfera, la biosfera y la atmósfera (Barnosky y Hadly, 2016), la educación científica tiene la responsabilidad de situar los problemas socioecológicos en el centro de su misión formativa.

La insuficiente presencia de EA/EDS en la investigación en DCE

A pesar de la afinidad conceptual entre educación ambiental y educación científica, los estudios han evidenciado una presencia limitada de EA/EDS en la investigación en didáctica de las ciencias en España (Jiménez-Fontana y García-González, 2017). Esta carencia no es menor: dificulta la construcción de marcos teóricos sólidos, reduce la transferencia a la práctica docente y limita la capacidad del profesorado para abordar problemas complejos que exigen enfoques integrales (Novo, 2006).

La literatura advierte, además, que esta falta de atención contribuye a mantener visiones fragmentadas de la realidad socioambiental, similares a las percepciones superficiales predominantes entre la ciudadanía y, en ocasiones, también entre el profesorado (Mayoral *et al.*, 2023). De este modo, la falta de atención sistemática a la EA/EDS en la investigación educativa se traduce en un frágil acompañamiento conceptual y didáctico para enfrentar los desafíos ecosociales actuales.

La transversalidad como fundamento: por qué la EA/EDS debe atravesar toda la educación científica

La transversalidad de la EA/EDS se sostiene sobre varios principios:

La naturaleza compleja y sistémica de los problemas socioambientales

Los desafíos contemporáneos (cambio climático, pérdida de biodiversidad, agotamiento de recursos, crisis hídricas, contaminación) son multicausales, globales y estrechamente interdependientes (Perales, 2023). Afrontarlos requiere un pensamiento complejo y la integración de saberes científicos, sociales, económicos, emocionales y éticos. La DCE dispone de un marco privilegiado para trabajar esta complejidad, pero necesita adoptar una perspectiva ecosocial que supere los enfoques técnicos o puramente conceptuales.

El enfoque CTSA como herramienta para visibilizar lo ambiental

La incorporación explícita de la “A” de Ambiente en el enfoque CTSA responde a la necesidad de visibilizar la dimensión ambiental, a menudo relegada incluso en contextos donde ya se trabajan las relaciones CTS. Como señalan Gil-Pérez *et al.* (2021), explicar lo ambiental dentro del CTS “no es suficiente”, porque su relativa invisibilidad conduce a tratamientos superficiales o marginales. El marco CTSA, ampliado, se convierte así en una herramienta clave para que la DCE asuma la complejidad ecosocial y relacione la ciencia escolar con los grandes retos de nuestro tiempo.

La alfabetización ambiental como base del pensamiento crítico

Perales (2023) subraya la necesidad de una alfabetización ambiental que permita a los estudiantes comprender los ecosistemas, interpretar críticamente la información, a menudo sesgada por discursos mediáticos, y saber intervenir en problemas reales. Esto implica desarrollar no solo conocimientos conceptuales, sino también habilidades para analizar, comunicar, deliberar, colaborar y actuar.

La bidireccionalidad entre EA/EDS y DCE: una relación transformadora

La relación entre la DCE y la EA/EDS es profundamente bidireccional. La DCE aporta su experiencia en indagación, cambio conceptual, modelización y resolución de problemas; y la EA/EDS, a su vez, transforma la DCE al introducir problemas socioambientales reales como eje vertebrador del aprendizaje científico (Jiménez-Fontana y García-González, 2017). Este enfoque incorpora perspectivas críticas, ecosociales y transdisciplinarias que reorientan la enseñanza hacia la acción, la justicia ambiental y la sostenibilidad, integrando además dimensiones éticas, emocionales y participativas. Esta interacción refuerza la idea de que la EA/EDS no es un complemento, sino una condición epistemológica para actualizar la enseñanza de las ciencias en un mundo marcado por desafíos complejos.

El desarrollo de competencias ecosociales: el papel de la EA/EDS

Las competencias ecosociales se sitúan en el núcleo de la integración entre EA/EDS y DCE. Incluyen la comprensión de la interdependencia entre sistemas naturales y sociales, el análisis crítico de problemas socioambientales, la toma de decisiones fundamentadas, la comunicación y deliberación democrática, la colaboración en la resolución de problemas complejos y el compromiso con la acción transformadora.

Estos planteamientos coinciden con las directrices internacionales de la UNESCO, que señalan la necesidad de reorientar conocimientos, habilidades, valores y actitudes para empoderar a la ciudadanía en la transición hacia sociedades sostenibles (UNESCO, 2014). Asimismo, investigaciones previas muestran que los comportamientos ambientales son difíciles de modificar debido a su multicausalidad y al peso de factores emocionales, motivacionales, culturales y sociales (Gutiérrez-Pérez *et al.*, 2015; Kollmuss y Agyeman, 2002). Esto subraya la necesidad de promover no solo conocimiento, sino experiencias significativas, reflexión crítica y desarrollo emocional.

FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS DE LA EA/EDS

Los fundamentos pedagógicos de la EA/EDS se sostienen sobre una idea central: el aprendizaje debe permitir al alumnado comprender, sentir y transformar el mundo que habita. Las metodologías más efectivas, independientemente de la etapa educativa, son aquellas que ofrecen experiencias significativas desde un enfoque crítico y situado. La evidencia muestra que las propuestas que integran la justicia social, los saberes tradicionales y la mejora y el cuidado de los ecosistemas ayudan a los estudiantes a reconocer su capacidad real para afrontar los desafíos socioambientales (Martins *et al.*, 2024). Esta toma de conciencia no solo fortalece la comprensión conceptual, sino que alimenta un sentido de agencia imprescindible para la sostenibilidad.

En este marco, la competencia socioemocional adquiere un papel central, pues las pedagogías dialógicas y sensoriales, especialmente en contextos de aprendizaje al aire libre, fortalecen los vínculos entre docentes, estudiantes y entorno, cultivando empatía, responsabilidad ética y una conciencia ecosocial más profunda (Nascimento y Reis, 2025). El contacto directo con la naturaleza no solo mejora la comprensión de los sistemas ecológicos, sino que también favorece comportamientos más sostenibles (Martins, 2019; Santos-Pastor *et al.*, 2022).

Una característica fundamental de los programas más eficaces es su atención a problemas locales y relevantes, lo que permite vincular retos globales con acciones manejables y medibles (Ardoín *et al.*, 2020). Por tanto, es importante situar la cuestión ambiental en el entorno inmediato del alumnado (una cuenca hidrográfica cercana, un parque urbano, un espacio natural protegido o incluso el propio patio escolar), para conectar a los estudiantes con problemáticas más amplias y facilitar su implicación en procesos de aprendizaje y acción (García Fernández *et al.*, 2022). Trabajar a esta escala no solo hace más accesible la experiencia, sino que permite medir resultados concretos con mayor precisión: es más sencillo observar cambios en la calidad del agua de un arroyo local que atribuir variaciones en el deshielo del Ártico a una intervención educativa. Un ejemplo ilustrativo es el proyecto de reforestación desarrollado en México (Harder *et al.*, 2014), donde el alumnado creó viveros, mejoró sus capacidades como cuidadores del entorno y participó en plantaciones tanto en el recinto escolar como en áreas deforestadas de la comunidad.

Asimismo, los programas más consistentes integran el aprendizaje orientado a la acción como parte inherente del proceso educativo (Ardoín *et al.*, 2020). Estrategias como la ciencia ciudadana, el aprendizaje-servicio, el aprendizaje basado en proyectos o en problemas, el aprendizaje basado en el lugar y la investigación de cuestiones socioambientales permiten que el alumnado experimente la sostenibilidad desde la práctica (Perales, 2023; Stern *et al.*, 2014). Estas metodologías convierten el entorno en un espacio de investigación y transformación: retirada de especies invasoras y replantación con vegetación autóctona, limpiezas de residuos, análisis de la calidad del agua y posterior instalación de sistemas de filtrado, o actividades de

monitoreo ecológico vinculadas a mejoras tangibles en el territorio. De esta forma, muchos programas exitosos integran el aprendizaje experiencial, permitiendo que el alumnado adquiera nuevos contenidos y, al mismo tiempo, practique su aplicación en contextos reales (Linhares y Reis, 2023; López-Fernández *et al.*, 2025).

La EA/EDS debe, además, ofrecer una comprensión amplia y bien fundamentada de la situación del mundo, de sus causas y de las posibles respuestas, permitiendo tomar decisiones informadas (Gil-Pérez y Vilches, 2023). En definitiva, una perspectiva holística. Esta mirada global es esencial para superar las interpretaciones fragmentadas y parciales que suelen dificultar la comprensión profunda de la crisis socioambiental.

Metáforas como la rana hervida o el cristal que se astilla permiten explicar con sencillez procesos que, en realidad, son profundamente complejos. La imagen de la rana hervida, que no percibe los cambios graduales de temperatura hasta que es demasiado tarde, ilustra cómo la falta de reacción ante transformaciones lentas pero constantes puede conducir a situaciones de grave riesgo (Perales, 2023). Del mismo modo, el cristal que se agrieta con cada pequeño impacto recuerda que los daños ambientales, aunque parezcan menores de forma aislada, se acumulan hasta comprometer la estabilidad del sistema. Estas metáforas son especialmente útiles en EA/EDS porque ayudan a trabajar la anticipación, la percepción de riesgo y la resiliencia: competencias esenciales para comprender los desafíos socioambientales y actuar antes de que los límites críticos se vean superados.

La colaboración y las alianzas constituyen otra dimensión clave. La cooperación con científicos, entidades ambientales, instituciones públicas u organizaciones comunitarias aporta recursos, conocimiento especializado y continuidad a los proyectos (Ardoín *et al.*, 2020). Estos vínculos generan espacios sinérgicos en los que convergen investigación, acción y conocimiento local, manteniendo vivos los proyectos educativos y ampliando su alcance.

Finalmente, los programas más sólidos incorporan una evaluación intencional y rigurosa, que va más allá del registro de actividades y se orienta a medir resultados concretos desde la fase de planificación: tasas de supervivencia de árboles, reducciones energéticas, emisiones evitadas o indicadores de biodiversidad (Ardoín *et al.*, 2020). Este seguimiento permite documentar el impacto real y retroalimentar el proceso educativo, reforzando la coherencia entre enseñanza, acción y transformación.

En conjunto, estos fundamentos delinean un ciclo de aprendizaje activo, contextualizado y colaborativo, en el que la intención de generar impacto ambiental directo se refleja en la forma de enseñar, en los vínculos que se construyen y en los resultados que se miden. La EA/EDS se convierte así en un proceso que no solo explica el mundo, sino que acompaña al alumnado en la experiencia de cuidarlo y transformarlo.

EDUCACIÓN DEL CONSUMIDOR: UN PILAR ESENCIAL DE LA SOSTENIBILIDAD Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Si la EA y la EDS buscan capacitar a la ciudadanía para comprender y transformar el mundo, la educación del consumidor constituye uno de sus ámbitos más estratégicos. La razón es simple: la crisis ambiental que afrontamos es consecuencia de nuestros insostenibles patrones de producción y consumo (UN DESA, 2022). En otras palabras, una parte muy significativa de los impactos ambientales globales (emisiones de gases de efecto invernadero, destrucción de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, escasez de recursos) está directamente vinculada a los patrones de consumo cotidianos. El consumo, lejos de ser un acto individual aislado, es un fenómeno estructural donde confluyen ciencia, economía, cultura, psicología y ética.

Trabajar el consumo desde la enseñanza de las ciencias implica ayudar al alumnado a comprender los procesos biofísicos que sostienen la producción, el uso y la eliminación de los bienes que utilizamos a diario. A partir de ahí, el análisis del ciclo de vida de los productos desde la extracción de materias primas hasta su destino final permite desnaturalizar el acto de consumir y revelar impactos que a menudo permanecen ocultos: alteración de ecosistemas y pérdida de biodiversidad en la extracción, transformaciones químicas y emisiones durante la fabricación, combustibles fósiles y huella de carbono en el transporte, consumo energético en el uso y, finalmente, los distintos destinos del residuo, como el reciclaje, la incineración o el vertido. Esta mirada sistémica se complementa con el estudio de los residuos como manifestación visible del modelo lineal “extraer-producir-consumir-desechar”, una vía didáctica especialmente potente para abordar química de materiales, biodegradación, contaminación o energía incorporada. Del mismo modo, comprender la dimensión energética del consumo, presente en el transporte, los electrodomésticos, la calefacción o los dispositivos electrónicos, permite vincular decisiones cotidianas con conceptos científicos como eficiencia energética, potencia o combustión, y con su impacto global en forma de emisiones.

Sin embargo, uno de los retos más persistentes en educación ambiental es la brecha actitud-comportamiento: la distancia entre lo que las personas dicen y lo que realmente hacen (Park y Lin, 2020). En el ámbito del consumo, esta brecha es especialmente evidente: muchos jóvenes declaran preocuparse por el medio ambiente, pero sus decisiones de compra rara vez reflejan esa inquietud. Las causas son múltiples (económicas, emocionales, sociales, culturales y motivacionales) y se agravan por la influencia de la publicidad, la presión de las modas, la falta de alternativas sostenibles y la baja percepción de autoeficacia (Blas Riesgo *et al.*, 2023; Kreuzer *et al.*, 2019). Reducir esta brecha requiere combinar información rigurosa con oportunidades reales de acción y entornos sociales que apoyen el cambio (Monroe *et al.*, 2017).

Esta necesidad de transitar hacia formas de consumo más responsables aparece recogida a nivel global en el ODS 12, que busca garantizar modelos sostenibles de

producción y consumo. Se estima que modificar los patrones de consumo podría contribuir a reducir el cambio climático en un tercio (Terenteva *et al.*, 2023), lo que refuerza el carácter estratégico de la educación. La ECR empodera a las personas al mostrar el impacto real de sus decisiones cotidianas y ofrecer alternativas viables que permitan actuar con coherencia. Desde la perspectiva de la educación científica, el objetivo es formar estudiantes capaces de comprender los fenómenos implicados, tomar decisiones fundamentadas y asumir un papel activo como ciudadanos críticos y responsables.

En este marco, la ECR no es una dimensión marginal dentro de la EA/EDS, sino uno de sus pilares más significativos, especialmente en la DCE. A través del análisis de productos, materiales, energía y residuos, el alumnado desarrolla competencias que le permiten tomar decisiones informadas y coherentes con la sostenibilidad. La investigación muestra, además, que cuando la educación del consumidor se integra mediante el análisis crítico, la emoción, la acción real y la participación, se convierte en un motor educativo poderoso y transformador, independientemente de la etapa educativa (López-Fernández *et al.*, 2024, 2025).

Los contenidos de ciencias ofrecen, además, múltiples puertas de entrada. La contaminación por plásticos constituye un ejemplo paradigmático: aunque buena parte de los estudios didácticos se centran en sus propiedades y composición (63,4%), apenas un 11,3% aborda la concienciación ambiental y un 9,1% se orienta a la búsqueda de soluciones (López-Fernández *et al.*, 2022). En la práctica, enseñar sobre los plásticos implica trabajar un problema sociocientífico complejo que requiere integrar prácticas científicas, análisis de impactos y propuestas de acción. Algo similar ocurre con la industria textil y la moda rápida, uno de los sectores más contaminantes del mundo: su elevado consumo de agua, sus emisiones de CO₂ y la generación masiva de residuos la convierten en un tema privilegiado para explorar cadenas de producción, impactos ecosociales y estrategias de economía circular, como el reciclaje textil o los mercados de segunda mano (López-Fernández *et al.*, 2024, 2025).

En conjunto, integrar el consumo en la didáctica de las ciencias permite conectar fenómenos cotidianos con procesos biofísicos, sociales y económicos; desarrollar pensamiento crítico; y fortalecer competencias ecosociales que resultan esenciales para actuar con responsabilidad en un mundo profundamente interdependiente.

CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA: HACIA UNA EDUCACIÓN CIENTÍFICA QUE TRANSFORME EL MUNDO

La educación científica debe convertirse en un motor de sostenibilidad, y la sostenibilidad, a su vez, en el eje que otorgue sentido profundo a la educación científica. Educar científicamente en sostenibilidad no es únicamente transmitir contenidos ambientales, sino preparar a las nuevas generaciones para vivir y actuar

en un mundo en transformación. La crisis climática, la pérdida de biodiversidad, la desigualdad socioambiental o los sistemas de consumo global han configurado un escenario en el que la alfabetización científica y la EA/EDS se vuelven indisociables.

Las ciencias experimentales permiten comprender los procesos naturales, pero también los impactos humanos y las posibles soluciones. La EA/EDS aporta el marco ético, sistémico y transformador imprescindible para que ese conocimiento se convierta en acción significativa. Así, las ciencias nos ayudan a comprender el mundo; la EA/EDS, a transformarlo; y la educación del consumidor, a habitarlo con responsabilidad.

El reto educativo del siglo XXI consiste, por tanto, en formar personas capaces de entrelazar conocimiento, sensibilidad, pensamiento crítico y acción transformadora. La ciencia escolar no puede permanecer al margen de los desafíos que enfrenta el planeta. Sus finalidades deben ampliarse para incluir la preparación del alumnado ante fenómenos cada vez más complejos; la formación de una ciudadanía crítica, capaz de interpretar la realidad desde claves científicas; el fomento de una participación colectiva informada; y el acompañamiento en la transición hacia sociedades más resilientes y justas. Además, debe capacitar a las nuevas generaciones para actuar con una esperanza bien fundamentada.

En este escenario, la educación del consumidor constituye una dimensión esencial de la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Vivimos expuestos de forma continua a decisiones de consumo; el acto de consumir está atravesado por componentes emocionales, sociales y simbólicos, y la brecha entre actitud y comportamiento se hace especialmente visible en este ámbito. Los impactos ambientales del consumo ofrecen, además, una oportunidad didáctica singular, mientras que la moda y la tecnología proporcionan ejemplos cercanos y particularmente potentes para abordarlo en el aula.

La integración del análisis del consumo en la educación científica permite visibilizar el ciclo de vida de los productos, conectar la ciencia con la justicia social, desarrollar pensamiento crítico mediático frente a la publicidad y los discursos de mercado, y fortalecer competencias éticas y de participación. La educación del consumidor se convierte así en un puente privilegiado entre la alfabetización científica y la responsabilidad cotidiana.

Para avanzar en esta dirección, la formación inicial y continua del profesorado resulta decisiva. Los docentes deben ser capaces de diseñar proyectos y programas vinculados con problemas reales, integrar en ellos la emoción y la acción, trabajar las controversias sociocientíficas, analizar datos ambientales y recurrir a narrativas y metáforas que ayuden a acercar la complejidad al alumnado, fomentando su participación. A su vez, los centros educativos pueden convertirse en auténticos laboratorios vivos de sostenibilidad (huertos, proyectos de economía circular, reducción de residuos, auditorías energéticas, etc.) que refuercen la coherencia entre lo que se enseña y lo que se practica en la comunidad educativa.

Capítulo 26. La Educación para la Salud como línea de investigación e innovación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales

Marta Castellar Cárdenas, Sergio David Barón López, M. del Pilar Jiménez Tejada, Luis Ruiz Rodríguez y María del Carmen Romero López

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada

Contacto: romero@ugr.es

CONCEPTUALIZACIÓN DE LA EDUCACIÓN PARA LA SALUD

Origen y evolución del concepto de Educación para la Salud

Aunque no resulta sencillo determinar el momento exacto en el que comienza a utilizarse el término Educación para la Salud (EpS), existe un consenso amplio en situar la década de los años ochenta del siglo XX como un hito clave en su consolidación. Es en este periodo en el que el concepto adquiere entidad propia a nivel internacional y se consolida como un campo de acción y reflexión que trasciende al ámbito estrictamente sanitario. Este proceso se vincula de manera directa con la publicación, en 1986, de la Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud, documento fundacional que marca un cambio de paradigma en la comprensión de la salud y de las estrategias para su mejora.

La Carta de Ottawa define la promoción de la salud como “el proceso de capacitar a las personas para que aumenten el control sobre su salud y para que la mejoren”. Desde esta perspectiva, la salud no se concibe como un fin en sí mismo, sino como un recurso para la vida cotidiana, asociado al bienestar físico, mental y social. Esta concepción positiva de la salud enfatiza no solo las capacidades físicas, sino también los recursos personales y sociales, y establece que su promoción no es responsabilidad exclusiva del sector sanitario, sino que requiere actuaciones coordinadas en múltiples ámbitos sociales, educativos, económicos y ambientales.

Esta visión no surge de manera aislada. Ya en el momento de la constitución de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 1946, se había formulado una definición de salud que rompía con la concepción reduccionista de ausencia de enfermedad, al entenderla como “un estado de completo bienestar físico, mental y social”. Sin embargo, durante décadas, las prácticas educativas vinculadas a la salud se desarrollaron fundamentalmente desde un enfoque biomédico y asistencial, conocido como Educación Sanitaria. Con él se asumía que la población carecía de los conocimientos necesarios para proteger su salud y que debía limitarse a seguir las indicaciones de los profesionales sanitarios (OMS y Marcolino Gomes, 1969).

La progresiva superación de este modelo vertical y prescriptivo conduce, a finales del siglo XX, a la consolidación del término Educación para la Salud (EpS). En 1998, la OMS concreta este concepto desde una doble vertiente: por un lado, como un proceso orientado a proporcionar conocimientos, habilidades y destrezas para la promoción y protección de la salud; y por otro, como una estrategia para capacitar a los individuos y comunidades para participar activamente en la identificación de sus necesidades y en la definición de metas en salud (Organización Mundial de la Salud, 1998).

Desde esta perspectiva, la EpS se concibe como un proceso educativo intencional, que comprende oportunidades de aprendizaje creadas de forma consciente para mejorar la alfabetización sanitaria. Esta alfabetización no se entiende únicamente como el desarrollo de habilidades personales que permitan tomar decisiones responsables y fundamentadas en relación con la salud propia y colectiva. Se trata de un proceso interdisciplinar, dinámico y multiprofesional, en el que intervienen la administración, los servicios de salud, los agentes comunitarios, los profesionales de la educación, los investigadores y la propia ciudadanía. Para profundizar en este concepto, resulta esencial considerar la taxonomía propuesta por Nutbeam (2000), quien distingue tres niveles progresivos de alfabetización. El primero es la *funcional*, centrada en la transmisión de información básica. Le sigue la *interactiva*, orientada al desarrollo de habilidades personales en contextos variados. Finalmente, la *crítica* permite analizar social y políticamente los determinantes de la salud para actuar sobre ellos. Bajo este prisma, la EpS busca trascender el nivel funcional para empoderar al individuo en su entorno (Figura 26.1).



Figura 26.1. El ecosistema dinámico y multiprofesional de la EpS orientado a la alfabetización sanitaria.

Definición operativa de la EpS y elementos clave del proceso educativo

Un referente ampliamente utilizado en el ámbito iberoamericano es la definición de EpS propuesta por Costa y López (2008), quienes conceptualizan la EpS como un proceso deliberado de comunicación y enseñanza-aprendizaje. Este enfoque se orienta tanto a la adquisición y consolidación de estilos de vida saludables como al fomento de elecciones positivas, promoviendo la transformación de aquellos comportamientos que conllevan riesgos para la salud.

Esta definición permite identificar varios elementos esenciales para el diseño y desarrollo de programas de EpS. En primer lugar, el carácter deliberado del proceso implica la necesidad de una planificación rigurosa, basada en el análisis del contexto y de las necesidades reales de la población destinataria, así como en la definición explícita de objetivos y estrategias coherentes.

En segundo lugar, el concepto de *elección positiva* remite a la toma de decisiones informada, voluntaria y ética, lo que sitúa la capacitación personal en el centro de la EpS. La simple transmisión de información, aunque necesaria, resulta insuficiente en contextos caracterizados por la sobreabundancia de mensajes contradictorios o tendenciosos, incluidos aquellos que promueven comportamientos de riesgo.

Además, la EpS no puede centrarse únicamente en conductas aisladas, sino que debe abordar los *estilos de vida* en su conjunto, incorporando los contextos cotidianos en los que estos se construyen y se mantienen. Esta complejidad exige comprender la EpS como una tarea compartida, en la que los procesos educativos formales desempeñan un papel clave, especialmente en las primeras etapas de la vida, pero siempre en interacción con otros agentes sociales y comunitarios (Figura 26.2).

En este sentido, la propia OMS subraya que la promoción de la salud incluye tanto acciones dirigidas a fortalecer las capacidades individuales como aquellas orientadas a modificar los determinantes sociales, ambientales y económicos que condicionan la salud, reforzando así una visión claramente biopsicosocial y socioecológica del fenómeno.



Figura 26.2. Visión global de los procesos de EpS.

Ámbitos de intervención y carácter interdisciplinar de la EpS

Desde una perspectiva amplia, las acciones de EpS pueden agruparse en diversas áreas temáticas, cuya relevancia concreta depende del contexto sociocultural y educativo (Gavidia, 2016):

- a) *Promoción de la salud y prevención de enfermedades que afectan a grandes grupos de población y/o presentan una repercusión social significativa.* Esta área comprende, fundamentalmente, la promoción de estilos de vida saludables y los componentes de mayor peso en los mismos: nutrición, actividad física, adicciones, higiene y descanso/sueño. Igualmente, incluiríamos en este apartado la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles como la obesidad, diabetes o hipertensión; así como las transmisibles tales como VIH, COVID, hepatitis o tuberculosis.
- b) *Salud ambiental y comunitaria.* Gestión y prevención del impacto sobre la salud individual de factores ambientales como la contaminación, ruido, alérgenos, calor, radiación solar; pero también las interacciones con los entornos social y cultural que, en gran medida, pueden llegar a determinar el bienestar de las personas.
- c) *Salud sexual y reproductiva.* Incluyendo tanto la educación en salud sexual para adolescentes y jóvenes, como la prevención del embarazo no deseado y enfermedades de transmisión sexual.
- d) *Salud mental y emocional.* Promoción del bienestar emocional en contextos escolares y laborales, así como estrategias educativas para el manejo del estrés, ansiedad y depresión.

A diferencia de estas áreas temáticas específicas, la EpS actual se fundamenta en un marco de pensamiento sistémico denominado 'Una Sola Salud' (*One Health*). Este enfoque no constituye una parcela aislada, sino una visión integradora que reconoce la interdependencia crítica entre la salud humana, la sanidad animal y el equilibrio de los ecosistemas (OMS, 2022). Su integración en el ámbito educativo resulta esencial para que el alumnado trascienda el conocimiento compartimentado y comprenda los retos globales como una responsabilidad compartida (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018).

La integración de esta diversidad temática bajo un enfoque sistémico refuerza la idea de que la EpS constituye un proceso necesariamente interdisciplinar. En él confluyen saberes procedentes de las Ciencias de la Salud, las Ciencias Sociales y, de manera fundamental, la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Esta última disciplina resulta especialmente relevante, puesto que es capaz de proporcionar los marcos conceptuales y metodológicos necesarios para comprender los fenómenos biológicos, ambientales y tecnológicos relacionados con la salud.

La EpS en la escuela: de la promoción de la salud a la alfabetización científica

La escuela es un espacio privilegiado para la EpS, especialmente en infancia y adolescencia, etapas críticas para adquirir hábitos duraderos (Irwin *et al.*, 2007). Organismos internacionales como la OMS, la UNESCO o la Comisión Europea destacan el papel estratégico de las Escuelas Promotoras de Salud, responsables de mejorar el entorno y desarrollar competencias para gestionar la salud de forma autónoma (Gavidia, 2001).

Una escuela promotora de salud no se limita a incorporar contenidos sanitarios al currículo, sino que genera, de forma estable, una mejora de la salud mediante experiencias coherentes con la adquisición de valores, habilidades y motivaciones orientadas al bienestar (Aramendi *et al.*, 2015; Cohen *et al.*, 2008; Cubero *et al.*, 2011; Gavidia, 2001; Gavidia y Rodes, 2000). Esta visión concibe la salud como recurso vital, según la OMS y la normativa española (España, Cortes Generales, 2011). En España, el modelo EpS cobró impulso en 2024 tras el acuerdo entre los Ministerios de Sanidad y Educación¹ para implantarlo nacionalmente mediante la Red Española de Escuelas Promotoras de Salud, integrada en la red europea SHE². Destacan el documento *Materiales para docentes*³, centrado en alfabetización y competencia para la acción, y la *Guía de Escuelas Promotoras de Salud* (Ministerio

1. Se puede consultar en: https://www.sanidad.gob.es/areas/promocionPrevencion/entornosSaludables/escuela/docs/Acuerdo_MSAN_MEyFP_PromocionSaludEscuela.pdf

2. <https://www.schoolsforhealth.org/>

3. La versión 1.2 actualizada a diciembre de 2020, se puede consultar en: https://www.sanidad.gob.es/areas/promocionPrevencion/entornosSaludables/escuela/docs/Material_para_docentes_RedSHE.pdf

de Educación, Formación Profesional y Deportes, 2023), que establece estándares para transformar los centros en entornos saludables.

La EpS escolar fomenta competencias clave como la alfabetización científica: capacidad para usar el conocimiento en la resolución de problemas y la toma de decisiones responsables. Existe una relación sólida entre entornos saludables y mejores resultados educativos, reforzando la necesidad de un enfoque intersectorial entre educación y sanidad (Aramendi *et al.*, 2015; Cohen *et al.*, 2008; Cubero *et al.*, 2011; Gavidia, 2001; Gavidia y Rodes, 2000). Por ello, los docentes son agentes de educación sanitaria esenciales (Ministerio de Sanidad y Consumo, 2003). Colaboran con profesionales sanitarios para mejorar las condiciones de vida poblacionales, siendo clave su cercanía e influencia sobre el alumnado. Su formación pedagógica los convierte en el mejor instrumento social para inculcar actitudes saludables duraderas (García, 1998; Gavidia, 2009; Salvador y Suelves, 2009). Su papel como promotor de salud es, por tanto, insustituible en el marco de la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

SÍNTESIS DE AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE EpS

En el contexto educativo español, la EpS se ha ido incorporando de manera progresiva a los currículos de las distintas etapas educativas. Esta integración responde, en buena medida, al reconocimiento institucional de la salud como un eje transversal del desarrollo personal y social del alumnado. Sin embargo, la investigación reciente pone de manifiesto que dicha incorporación no siempre se ha traducido en enfoques didácticos sistemáticos ni en propuestas fundamentadas desde la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, persistiendo importantes desigualdades en cuanto a profundidad conceptual, coherencia metodológica y orientación educativa de las intervenciones (Castellar *et al.*, 2022).

Desde esta perspectiva, conocer los avances en la investigación en EpS resulta imprescindible para comprender cómo se ha configurado este ámbito como línea de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, cuáles han sido sus principales focos de interés y qué retos continúan abiertos en la actualidad.

Avances y tendencias de investigación en EpS

La revisión de la literatura científica en el ámbito nacional muestra que la investigación en EpS abarca un conjunto amplio de temáticas, aunque no todas han recibido la misma atención ni se han abordado desde perspectivas didácticas equivalentes. De acuerdo con Castellar *et al.* (2022), pueden identificarse varias áreas que concentran la mayor parte de la producción científica.

Una de las dimensiones más consolidadas es la educación alimentaria-nutricional. Constituye desde antiguo el eje principal de la EpS en el ámbito educativo. Las

investigaciones en este campo se han centrado en la comprensión de los hábitos alimentarios, la influencia de la publicidad en las elecciones de consumo y la promoción de dietas saludables y sostenibles, incorporando progresivamente una mirada crítica y contextualizada (Acheampong *et al.*, 2010; Angosto Sánchez y Morcillo Ortega, 2022; Caracuel *et al.*, 2021; Caracuel *et al.*, 2024; Muñoz Campos *et al.*, 2021; Pérez-Rodrigo y Aranceta, 2001; Romero López *et al.*, 2016, 2021; Webb, 1992). Esta línea de trabajo ha permitido articular contenidos científicos con problemas socialmente relevantes, favoreciendo la toma de decisiones informadas por parte del alumnado.

Otra dimensión recurrente es la higiene y seguridad alimentaria, temática que ha tenido una amplia presencia en el ámbito escolar a través de programas y proyectos impulsados por instituciones públicas y privadas, como Creciendo en Salud o Desayunos saludables (Junta de Andalucía), Desayunos Saludables e Higiene Bucodental (Comunidad de Madrid) o Cepillín Cepillán (Comunidad Canaria). Estas iniciativas persiguen la integración de la EpS con el desarrollo de competencias de autocuidado y la sensibilización sobre la importancia de prácticas preventivas desde edades tempranas. No obstante, aunque la higiene y la seguridad alimentaria constituyen un ámbito educativo ampliamente trabajado, la investigación desde una perspectiva específicamente didáctica sigue siendo limitada, lo que pone de manifiesto la necesidad de estudios que analicen en profundidad los procesos de enseñanza-aprendizaje implicados (Castellar *et al.*, 2022).

El estudio de los microorganismos y su relación con la salud representa otra línea de investigación relevante en la intersección entre la educación científica y la EpS. Esta temática permite abordar contenidos científicos fundamentales relacionados con bacterias, virus y hongos, al tiempo que se vincula directamente con la promoción de hábitos saludables y prácticas preventivas. Diversas investigaciones han analizado cómo el alumnado construye sus concepciones sobre los microorganismos y de qué manera dichas concepciones influyen en su comportamiento cotidiano. En este ámbito se han desarrollado propuestas de intervención educativa tanto en educación infantil (Ergazaki *et al.*, 2009; López-Luengo *et al.*, 2021; Pérez García y Romero López, 2019) como en educación primaria y secundaria (Byrne, 2011; Byrne *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2018; García Ruiz y Romero López, 2022; Molina Morcillo *et al.*, 2021; Romero López *et al.*, 2019; Simard, 2023). Los resultados de estos trabajos sugieren que el uso de metodologías basadas en la indagación científica resulta especialmente eficaz en edades tempranas, para favorecer la construcción de modelos explicativos adecuados y el desarrollo de prácticas de higiene fundamentadas.

La vacunación y las enfermedades infecciosas han adquirido una relevancia renovada como objeto de estudio en el ámbito educativo, especialmente tras la pandemia de COVID-19. En este contexto, la EpS se ha señalado como una herramienta clave para contribuir a la reducción de desigualdades sociales y al fomento de una alfabetización científica crítica que permita al alumnado comprender la base científica

de las vacunas y posicionarse ante discursos pseudocientíficos o desinformación en salud (Educo, 2021).

Si bien estas dimensiones temáticas han sido la base estructural de la investigación en EpS, los enfoques más recientes subrayan la necesidad de trabajar desde una visión más integradora que permitan comprender la salud como un fenómeno complejo y global. En esta línea, la investigación de vanguardia propone, fundamentalmente, dos marcos de referencia complementarios.

Por un lado, el enfoque *One Health* ofrece una perspectiva integradora desde la que cuestiones como la nutrición, la higiene o las enfermedades infecciosas se entienden como parte de un equilibrio interdependiente entre la salud humana, la salud animal y la salud de los ecosistemas (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018; Zinsstag *et al.*, 2011). Este paradigma permite ampliar el alcance de la EpS y reforzar su conexión con problemas socioambientales de gran relevancia.

Por otro lado, el tratamiento de la salud como Tema Socio-Científico (TSC) supone un avance significativo en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Desde este enfoque, cuestiones como la vacunación dejan de abordarse como simples prescripciones médicas para convertirse en problemas complejos que integran dimensiones científicas, éticas y sociales, favoreciendo el desarrollo del pensamiento crítico y la argumentación basada en evidencias (Sadler, 2004).

Metodologías didácticas predominantes en EpS

El desarrollo de la Educación para la Salud (EpS) como línea de investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales ha ido acompañado de una evolución paralela en las metodologías de enseñanza y aprendizaje empleadas. Entre las metodologías más recurrentes en la investigación en EpS destacan aquellas que promueven la participación activa del alumnado, la contextualización de los contenidos científicos y el desarrollo de competencias para la toma de decisiones informadas.

Aprendizaje Basado en Indagación (IBSE): enfatiza el desarrollo de competencias investigativas mediante la formulación de preguntas, la exploración de problemas reales o simulados y la aplicación de procesos propios de la actividad científica. En el contexto de la EpS, la indagación favorece que el alumnado contraste explicaciones teóricas con situaciones de la vida cotidiana, generando nuevo conocimiento que puede ser transferido y compartido con la comunidad a través de tareas que combinen aspectos epistémicos con sociales y que involucren al alumnado en el razonamiento y la explicación de evidencias (Romero Ariza, 2017). Es muy utilizada en educación superior (Aguilera *et al.*, 2018), pero también en etapas anteriores como educación primaria y secundaria (Byrne, 2011; Carvalho *et al.*, 2018; Molina Morcillo *et al.*, 2021; Rodríguez Fernández *et al.*, 2019) y en menor medida en educación infantil, a pesar de promover aprendizajes más profundos y significativos

que los métodos tradicionales o el trabajo basado en fichas (López-Luengo *et al.*, 2021; Pérez García y Romero López, 2019).

- Aprendizaje cooperativo, colaborativo y Aprendizaje-Servicio (ApS)*: destaca en la EpS por fomentar la interacción y la construcción conjunta de conocimientos mediante metas comunes y apoyo mutuo (Herrada Valverde y Baños Navarro, 2018). Experiencias como las de Romero López *et al.* (2016) integran este enfoque con el Aprendizaje-Servicio (ApS) multidisciplinar en educación nutricional, vinculando la formación académica con el compromiso social comunitario. Por su parte, en educación superior, Cubero-Juárez *et al.* (2018) demostraron que el aprendizaje cooperativo aumenta la motivación y la eficacia en la alfabetización sanitaria sobre temas complejos como el virus del Zika. Finalmente, el ApS consolida una EpS orientada a la acción transformadora, permitiendo que el alumnado adquiera competencias profesionales y habilidades de trabajo en equipo mientras atiende necesidades reales de la sociedad para mejorar el bienestar colectivo (Morín Fraile *et al.*, 2018; Pinto Carral, 2023).
- Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)*: parte de situaciones complejas que exigen reflexión, análisis y toma de decisiones. Aunque predomina en educación superior, su interés crece en etapas educativas previas. Branda (citado por Vega Ramírez *et al.*, 2010) destaca su capacidad para integrar las dimensiones sociales y culturales del proceso salud-enfermedad, permitiendo un abordaje integral de la salud. Según Mendoza Espinosa *et al.* (2012), esta metodología sitúa al estudiante en el centro del proceso, fomenta el aprendizaje contextualizado y fortalece el trabajo en equipo. Además, el ABP facilita la integración de saberes básicos con aplicaciones prácticas, estimula el razonamiento crítico y genera mayor motivación que los métodos tradicionales, consolidándose como una estrategia clave para la alfabetización sanitaria.
- Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPy)*: integra teoría y práctica al situar al estudiante como protagonista en el diseño de soluciones para problemas de salud, bajo la guía del profesorado (Carcausto, 2020). Martínez Nieto (2012) subraya el carácter participativo de esta metodología, documentando altos niveles de satisfacción y desarrollo competencial. En educación primaria, investigaciones recientes demuestran que el ABPy, combinado con el flipped classroom y el aprendizaje basado en retos, potencia el aprendizaje significativo (Romero García-Aranda, 2025). Este enfoque fomenta la indagación, la autonomía y el uso de TIC, permitiendo que el alumnado asuma responsabilidades directas en la construcción de su conocimiento y en la promoción de hábitos saludables.
- Gamificación*: usando mecánicas de juego como puntuaciones, recompensas y narrativas, incrementa la motivación y el compromiso del alumnado en la EpS, favoreciendo la adopción de hábitos saludables (Rosati *et al.*, 2025). La revisión sistemática de Fernández (2025) sobre la última década (2015-2025) revela que el 80 % de los estudios reportan mejoras significativas en la retención de

conocimientos y la participación estudiantil. No obstante, se advierte que su éxito no es automático; la efectividad de esta estrategia depende críticamente de un diseño didáctico riguroso y de su adecuada integración en el currículo. Así, la gamificación se consolida como una herramienta pedagógica potente, siempre que trascienda el mero entretenimiento.

En conjunto, las metodologías identificadas reflejan una clara evolución hacia enfoques activos, participativos e investigativos, coherentes con los principios de la EpS y con los objetivos de la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Temáticas consolidadas, como la educación alimentaria - nutricional, conviven con áreas emergentes o insuficientemente investigadas desde una perspectiva didáctica, como la higiene alimentaria, lo que abre nuevas oportunidades para la investigación educativa.

TRANSFERENCIA A LA REALIDAD ESCOLAR: EJEMPLOS DE INTERVENCIONES

Con el objetivo de ilustrar la transferencia de los marcos teóricos y metodológicos analizados a la práctica docente, se presentan a continuación dos experiencias puestas en práctica en alumnos de Educación Infantil y Educación Primaria.

"Polis y Cacos de la Salud": un juego de simulación para apreciar los beneficios de las vacunas.

Contexto y población: alumnado de Educación Primaria (adaptable a Educación Infantil).

Objetivos:

- Averiguar lo que sucede en el cuerpo cuando se enfrenta a un agente infeccioso.
- Diferenciar lo que ocurre en el cuerpo cuando está vacunado y cuando no lo está.
- Valorar la importancia de las vacunas.

Descripción del material: se trata de un juego de cartas en las que se representa el virus del sarampión, bacterias de la difteria, leucocitos y anticuerpos. En el caso de las cartas de los virus y bacterias, en la parte superior aparece la imagen de uno de los síntomas de la enfermedad. Debajo de ellas aparece un caco acompañado de la imagen de un virus o una bacteria (Figura 26.3). Estas tarjetas tienen en la parte inferior un dibujo más pequeño que representa a uno o dos virus del sarampión o a una o dos bacterias de la difteria. Si tienen uno se usan al comienzo del juego cuando se inicia la infección. Si tienen dos se usan cuando la infección se extiende al reproducirse los agentes infecciosos.

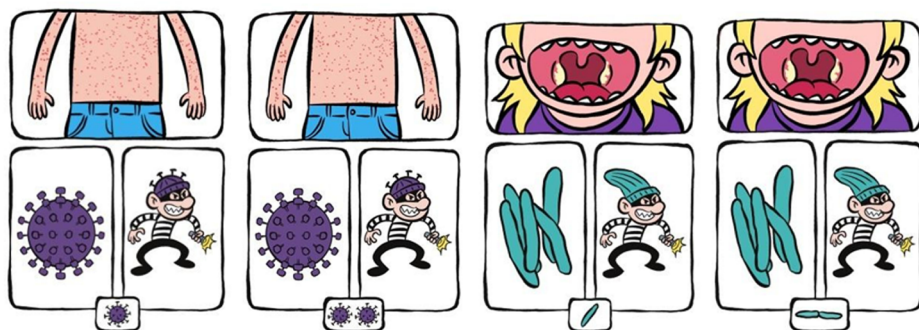


Figura 26.3. Cartas de virus del sarampión y bacterias de la difteria.
Ilustraciones de Marta Hódar Jiménez.

En las cartas de los leucocitos, en la parte superior está representado un leucocito y debajo un policía al lado de una fábrica. Debajo de la fábrica hay un dibujo de virus del sarampión o bacterias de la difteria. En las cartas de anticuerpos viene su representación en la parte superior mientras que en la inferior aparecen unas esposas y el virus o bacteria contra la que se produce sus anticuerpos (Figura 26.4).

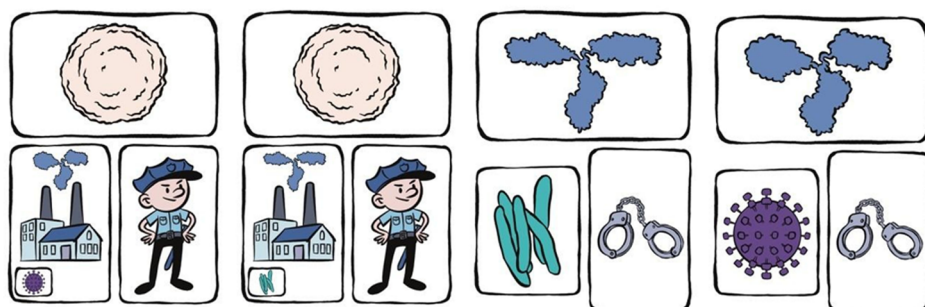


Figura 26.4. Ejemplo de dos cartas de leucocitos y dos cartas de anticuerpos.
Ilustraciones de Marta Hódar Jiménez.

Procedimiento: la intervención se basa en un juego de rol, en el que, usando las tarjetas descritas, se simula la respuesta inmune ante patógenos (sarampión o difteria) en dos escenarios diferentes: respuesta ante una infección de individuos vacunados y sin vacunar.

—Turno 1. Organismo vacunado: la clase se divide en dos subgrupos iguales. A la mitad del primer subgrupo se les proporciona la carta de bacteria para que asuma ese papel y a la otra mitad, la de virus. El segundo subgrupo tendrá las cartas de leucocitos. Hay que asegurarse de que haya el mismo número de carta de virus o bacterias que de leucocitos para los correspondientes virus o bacterias. El juego comienza una vez repartidas todas las cartas. Teniendo

siempre la carta visible para el resto, los individuos con cartas de leucocitos y los virus y bacterias que tengan en la parte inferior de su tarjeta, en pequeño, un solo virus o una sola bacteria, son los que se moverán libremente por el espacio asignado en el juego. Los que tengan en su tarjeta dos virus o dos bacterias permanecerán sentados. Transcurridos 15 segundos, los virus o bacterias que están de pie levantarán a los virus o bacterias que estén sentados. En ese momento se habrá producido la reproducción de los virus y bacterias. El alumnado se moverá por el aula hasta que se enfrenten los leucocitos con sus respectivos virus o bacterias, momento en el que el leucocito le dará la tarjeta del anticuerpo. En ese momento el virus o bacteria dejará de moverse por el aula y se sentará en el suelo, quedará “destruido”.

- Turno 2. Organismo sin vacunar: se repartirán solo las tarjetas de virus/bacterias y las de leucocitos. Las tarjetas de anticuerpos estarán disponibles en un lugar del aula al que llamaremos “fábrica”. Al inicio del juego solo se moverán por el aula los leucocitos y los virus y bacterias que tengan en la parte inferior de su tarjeta, en pequeño, un solo virus o una sola bacteria. El resto permanecerá sentado hasta que los virus o bacterias que están de pie los levanten. En ese momento comienza la reproducción de virus y bacterias. Los leucocitos deben encontrar a los correspondientes virus o bacterias. En el primer enfrentamiento, como no tienen disponibles anticuerpos deberán fabricarlos. Para ello tendrán que ir a la fábrica y coger cada uno el que le corresponda. Una vez que tengan el anticuerpo deberán buscar al correspondiente microorganismo para dárselo y destruirlo.

Después del juego se analizan las diferencias de tiempo y comportamiento de los leucocitos entre ambos turnos para valorar la eficacia de la inmunización. El debate se centra en cómo la vacuna permite una defensa específica más rápida y eficiente al evitar la fase de “fabricación” de anticuerpos. De este modo, el alumnado comprende y asimila la importancia de la memoria inmunológica para la salud colectiva.

Intervención 2: Microorganismos e higiene alimentaria a través de la indagación guiada.

Contexto y población: alumnado de Educación Infantil y Educación Primaria.

Objetivos:

- Identificar la ubicuidad de los microorganismos para superar el mito de que solo habitan en entornos visiblemente sucios.
- Valorar el papel de las manos como vectores de transmisión de patógenos.
- Desarrollar competencias de indagación científica mediante la formulación de hipótesis y la argumentación de resultados.

Materiales necesarios:

- Ficha sesión 1. Pre y post-test: se solicita que definan qué es una bacteria, la dibujen, indiquen dónde se encuentra y cómo se puede eliminar. También se preguntan si conocen bacterias beneficiosas y dónde se localizan. Para terminar, se pone una secuencia de 4 imágenes que representan la preparación de un bocadillo, en la que se incluye el lavado de manos. Deben de organizar las imágenes por orden de acción.
- Ficha sesión 2. En ella se muestra el problema que deben resolver:
 “Después de prepararse el desayuno y la merienda para el recreo, Ana y Pedro se fueron al colegio. Durante las clases tuvieron dolor de barriga y diarrea. Al día siguiente no fueron a clase porque se levantaron con fiebre y tuvieron que ir al a urgencias. Al final el médico les ha diagnosticado una enfermedad llamada listeriosis provocada por una bacteria llama Listeria que se encuentra en algunos alientos y en superficies ¿Cómo han podido enfermar?”
 A continuación, se les solicita que especifiquen qué creen que ha pasado (hipótesis), cómo lo pueden demostrar y qué materiales necesitan (metodología).
- Ficha sesión 3. Aparecen varios círculos en blanco en los que tendrán que dibujar el aspecto de las placas de Petri. A continuación, aparecen las preguntas ¿Cómo podrías eliminar a esos microorganismos? ¿Qué materiales necesitas? ¿Cómo comprobarías que ha funcionado? De esta manera se busca que intenten averiguar si los productos bactericidas que conocen son realmente efectivos y cómo se puede comprobar.
- Ficha sesión 4. Aparecen varios círculos en blanco en los que tendrán que dibujar el aspecto de las placas de Petri y debajo de ellas se pregunta ¿Qué producto ha funcionado mejor? ¿Qué crees que les ha podido pasar a los niños que enfermaron?

Procedimiento: se realizan cinco sesiones, las cuatro primeras de 45 minutos y la última de 15-20 minutos. Todas se realizarán en el aula u otro espacio amplio con mesas.

Sesión 1. La sesión comienza con una exploración de ideas previas donde el alumnado responde individualmente por escrito qué son las bacterias, dónde se hallan y cómo se visualizan (pre-test). Si no tienen la lectoescritura adquirida se les pide que expresen sus ideas en voz alta. A continuación, se les plantea por primera vez el problema que tienen que solucionar y se les anima a responder las cuestiones de la ficha de la sesión 1.

Sesión 2. Tras explicar el fundamento de los medios de cultivo y las técnicas de siembra e incubación, se distribuyen placas de Petri con agar TSA (Tryptona-Soja-Agar) por equipos de 3-4 alumnos. Cada grupo realiza un muestreo autónomo en superficies u objetos de su interés para verificar la presencia microbiana.

Durante el reparto de material, se aplica discretamente maquillaje de neón, solo visible con luz UV, en manos y caras del alumnado para simular la dispersión bacteriana. Mientras toman muestras, la pintura se transfiere de forma inadvertida a superficies, compañeros y partes de su ropa y cuerpo. Tras la actividad, se revela el rastro con linternas UV, evidenciando cómo se propagan los microorganismos por contacto. Finalmente, se compara la eficacia del agua y jabón frente a toallitas higiénicas, utilizando lupas digitales UV para inspeccionar uñas y pliegues cutáneos. Esta visualización permite constatar la importancia de una técnica de lavado correcta para la eliminación efectiva de patógenos. Posteriormente les volvemos a plantear el problema que deben resolver y dejamos que rellenen la ficha correspondiente a la sesión.

Sesión 3. Se muestra al alumnado las placas de Petri con las colonias de microorganismos que han crecido en ellas. Se les anima a diferenciar colores y aspecto para que comprueben la gran diversidad de microorganismos que existe y los resultados se comparte con la clase. Tras concienciarlos de la presencia de esa biodiversidad en la superficie de la que tomaron muestra, se les recuerda la actividad de la pintura de neón y el papel de las manos como transmisores de patógenos. Seguidamente, se les enseña a contabilizar colonias. Finalmente completarán la ficha de la sesión en la que ponen a prueba una o varias sustancias bactericidas.

Sesión 4. Se les reparte las placas de Petri con los productos bactericidas que han querido probar y hacen recuento de bacterias. Los resultados se hacen público a toda la clase para que todos tomen nota de los productos usados y el número de colonias que quedan. Rellenan la ficha correspondiente y se les vuelve a plantear el problema inicial que tendrán que resolver en esta sesión teniendo en cuenta todas las actividades realizadas.

Sesión 5. Se pasa el post test y se comparan las respuestas dadas.

Capítulo 27. Divulgación Científica

Francisco González García¹, María del Mar López Fernández² y Carmen Garrido Navas³

¹*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada;*

²*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva;*

³*Departamento de Didácticas Específicas. Universidad de Jaén.*

Contacto: pagoga@ugr.es

INTROITO: UN POCO DE HISTORIA

En 1904 un profesor de cálculo diferencial, mecánica y otras materias de física era galardonado con el Nobel, era el primer español que recibía tal honor, en unos premios que ya por entonces estaban adquiriendo un enorme prestigio. El premiado había sido Ministro de Hacienda y de Fomento en diversos gobiernos de finales del siglo XIX y tenía numerosas publicaciones sobre problemas de geometría, determinantes, variaciones elípticas, termodinámica, etc. Nos podemos preguntar si recibió el Nobel en alguna materia científica, obviamente sabemos que no. El primer científico español galardonado fue Santiago Ramón y Cajal, dos años después del premio concedido a José Echegaray Eizaguirre (1832-1916), ganador del Nobel de Literatura.

En efecto, José Echegaray, en 1874 y con 42 años, y tras publicar numerosos textos académicos que le servían para su docencia, y otros que crearon cierta polémica entre los matemáticos de la época, decide, por así decirlo, pasar al campo de las letras y escribir dramas melodramáticos que se representan en los teatros de Madrid. Su drama más famoso quizás sea *El gran galeote* (1881). La Academia Sueca, el 17 de noviembre de 1904, decide concederle el Nobel de Literatura “en consideración a su obra extensa y genial, que ha revivido de una manera intensa y original las grandes tradiciones del teatro español”. Curiosamente, el premio lo compartió con el francés Frederic Mistral, en uno de los pocos casos en que este premio de Literatura se ha repartido entre más de un autor. Echegaray se suele catalogar como un romántico tardío y sus obras en la actualidad, siendo prudentes, digamos que han envejecido bastante mal. Pero, se preguntarán qué tiene que ver esta figura de nuestra historia literaria con la divulgación de la ciencia.

Podemos calificar a José Echegaray, profesor universitario y matemático muy reconocido en el siglo XIX, como uno de los primeros grandes divulgadores de la ciencia en España. Quizás estemos tentados a pensar que lo de divulgar la ciencia es una moda de ahora con programas televisivos, podcast, semanas de la ciencia y noches de los investigadores que aparecen en los medios de comunicación y las redes sociales. Nada más lejos, incluso la actividad de Echegaray tenía sus antecedentes (López-Ocón, 2003). Tomemos conciencia que conocer la historia es fundamental para comprender el presente y por ello permitan que hablemos de la “prehistoria de

la divulgación en España”. Cuando decimos prehistoria nos referimos al siglo XIX, perdonen los historiadores, pero ya saben que a nuestros jóvenes estudiantes todo lo que tiene más de “pongan el n que quieran” les parece eso, como del Paleolítico.

Es durante la segunda mitad del siglo XIX, hacia 1854-1868, cuando en la sociedad española la clase política toma conciencia del enorme poder transformador que la ciencia posee para cambiar la sociedad. De forma incipiente, los cambios que la industria y el ferrocarril introducen en la vida de las personas, en particular en las clases medias, generan curiosidad entre la población. Así, desde 1860 algunas publicaciones periódicas de la época van informando de los adelantos técnicos, dado el interés de ciertos sectores por conocer los nuevos adelantos de la ciencia. Calaba la idea que era necesario conocer para que hubiera progreso social, estábamos en el momento en que la palabra en boga era la modernidad. Estas publicaciones como “La América” y “Museo Universal” tomaban sus fuentes, principalmente, de Francia. Las obras de divulgación de Camille Flammarion, astrónomo francés, eran traducidas y muy leídas en España. Es por entonces que las Exposiciones Universales, la primera en Londres en 1851, muestran al mundo los adelantos científico-técnicos del momento, y así en 1867, la Exposición de París recibe hasta 50.000 visitantes españoles.

Es en este ambiente donde Echegaray comprende que la ciencia debe llegar a todo el mundo, al pueblo o al vulgo; de hecho, él no utilizará el vocablo divulgación científica, sino que emplea, por influencia francesa, la denominación “vulgarización científica”. Como Ministro de Fomento impulsó en 1869 la creación de bibliotecas populares que debían contar con obras científicas para que las leyera cualquier persona interesada. Otros científicos como José María Solano y Eulate, Hidalgo Tablada, Emilio Huelín, entre otros pueden ser citados como divulgadores de la ciencia en esos momentos. Se escribe, en una revista de la época: “...no se puede omitir el consignar algunos resultados notables alcanzados por las ciencias en tiempos modernos, ni dejar de vulgarizar tales asuntos, que tanta influencia tienen en el progreso y civilización de los pueblos”.

Echegaray, tras ganar el Nobel en 1904, se convierte en la cabeza más visible de esa vulgarización de la ciencia, y entre 1905 y 1910 escribe sus obras de, llamémosla divulgación, “Ciencia popular” y “Vulgarización científica”. Los críticos literarios de la época califican a sus textos como “un modelo de explicación bajo una forma artística de todas las maravillas que la ciencia ha encontrado en el profundo y detenido estudio de la creación”. Con posterioridad, los impulsos del positivismo científico, del movimiento educativo del krausismo y todos los intentos e iniciativas para difundir la cultura en amplio sentido, incluida por supuesto la cultura científica entre la población en general, se verían ahogados por el régimen de la Dictadura nacida tras la Guerra Civil. Así Echegaray será conocido y enseñado en las escuelas únicamente como el Nobel de Literatura, obviando su papel como científico y vulgarizador de la ciencia, cuando en realidad es un excelente ejemplo de que la ciencia es cultura, rompiendo una vez más el mito de las dos culturas.

En las próximas páginas trataremos, con las limitaciones de espacio propias de esta publicación, los siguientes aspectos de la divulgación de la ciencia: qué entendemos por divulgación científica, quién la realiza y en qué medios, qué problemáticas plantea y qué relación tiene con la disciplina educativa de la didáctica de la ciencia. Estas cuestiones las planteamos desde la perspectiva de la comunicación pues entendemos que la divulgación científica es ante todo un proceso comunicativo.

¿QUÉ ENTENDEMOS POR DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA?

Ateniéndonos al diccionario, divulgar es “publicar, extender, poner al alcance del público algo”, en nuestro caso ese algo es la ciencia. Habría que preguntarse de seguido qué entendemos por ciencia. Sin duda en capítulos previos de esta obra se habló de la naturaleza de la ciencia y de las numerosas implicaciones epistemológicas y didácticas que tal cuestión nos puede plantear, es por ello que para nuestro interés hemos de incidir en lo que precede a ese algo, es decir “poner al alcance del público”. Lo de publicar y extender son temas a tratar más adelante.

Entendemos que divulgar la ciencia es tan solo una parte de un todo mayor que se viene conociendo en los últimos años como la comunicación científica; de hecho, se habla incluso de la ciencia de la comunicación científica (Bertemes *et al.*, 2024; Revuelta *et al.*, 2023). La aparición de esta disciplina viene justificada por la importancia que la ciencia, como actividad humana altamente especializada, ha alcanzado en el mundo actual.

Lo cierto es que si queremos comunicar ciencia, digamos transmitir sus hipótesis, conceptos, teorías, avances, descubrimientos y actividades de la ciencia y la tecnología, en suma, si actuamos como emisores, la comunicación depende del receptor de esos mensajes. Si el receptor es otro científico de nuestro campo o con cierto conocimiento del tema, no se habla de divulgación, ni tampoco si se utilizan los medios académicos habituales (revistas especializadas, congresos o encuentros propios de cada campo científico), en estos casos se habla de “difusión” o “diseminación” del conocimiento científico, incluso podemos encontrar el término “transferencia” del conocimiento científico cuando los receptores son empresas científico-tecnológicas especializadas. En estos casos, según Alcibar (2015), debemos hablar de una comunicación científica entre pares o comunicación científica en sentido estricto.

Si el receptor de ese algo, la ciencia en sus múltiples aspectos, no es un experto sino que es un público en general o públicos diversos, lego en conocimientos o solo con conocimientos básicos, entonces la comunicación científica entra de lleno en lo que podemos denominar divulgación. Algunos autores matizan entre periodismo científico y divulgación *sensu estricto* según los emisores de los mensajes, la exposición voluntaria a ellos o su búsqueda activa (Fayard, 2004). También encontramos casos en que la divulgación aparece citada y se entrelaza con diferentes expresiones

como “concienciación pública de la ciencia”, “percepción pública de la ciencia”, “cultura científica” y “alfabetización científica” (Burns *et al.*, 2003).

En estos casos la divulgación aparece como un medio fundamental para crear conciencia y actitudes favorables a la actividad científica (se supone que la población así apoyaría las inversiones en investigación y comprendería su importancia), incrementar la cultura científica y mejorar la alfabetización científica de la población (para erradicar los mitos, falsas creencias o el ascenso de las pseudociencias), y fomentar las vocaciones de los jóvenes hacia los estudios científico-tecnológicos (con particular atención y ahínco hacia las vocaciones femeninas). Todo lo anterior se puede considerar como los objetivos explícitos de la divulgación de la ciencia, entendida como una forma de comunicación donde los receptores de los mensajes de ese algo (la ciencia) no son especialistas en ella, se realiza en un lenguaje no especializado que pueden emitir diferentes tipos de emisores y en un contexto informal. Apreciarán que, como se comentó anteriormente, nuestra conceptualización de divulgación se enmarca en la teoría general de la comunicación (Moles, 1976).

En los siguientes apartados revisaremos estos componentes (emisores) y las características del mensaje y sus medios, dando por aclarado que el receptor de la divulgación científica puede ser cualquier ciudadano no especialista en el tema o contenido de ciencia que pretendemos divulgar, es decir darle a conocer en un lenguaje adecuado para que lo pueda comprender en mayor o menor grado (Figura 27.1).



Figura 27.1. Esquema de la teoría de la comunicación aplicado a la divulgación científica.

Para finalizar nuestro intento de entender qué es eso de la divulgación, debemos llamar a atención sobre la última característica que dábamos a la divulgación; recordemos, en un contexto informal. Si repasamos los objetivos plausibles de la divulgación, en particular los que hacen referencia a la cultura y la alfabetización científica, creo coincidirán con nosotros en que también son objetivos de la comu-

nicación en el contexto formal de la educación científica a nivel escolar, pero quizás ahí queden las semejanzas. En la Tabla 27.1 siguiente hacemos una comparación entre ambos contextos de comunicación de la ciencia.

Tabla 27.1. Comunicación científica en contexto formal e informal.

	COMUNICACIÓN CIENTÍFICA EN CONTEXTO FORMAL ESCOLAR: EDUCACIÓN CIENTÍFICA	COMUNICACIÓN CIENTÍFICA EN CONTEXTO INFORMAL: DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
Carácter	Obligatoria hasta 3º ESO/ Optativa a partir de 4ºESO/ No es de libre elección salvo a nivel universitario	Voluntaria o por búsqueda activa del receptor, de libre elección
Tiempo	Limitado para la mayoría de la población	Ilimitado, puede realizarse durante toda la vida
Espacios	Escuela, Instituto y Universidad	Museos, medios de comunicación, blogs, actividades de divulgación en espacios públicos organizados por centros de investigación, difusión en redes sociales, etc.
Planificación	Planificada y legislada desde el Estado y las Comunidades autónomas	Planificada desde el emisor, en general con estructuración ad hoc para cada acción divulgativa
Evaluación	Sí y Certificada	Ni se evalúa ni se certifica, por lo general
Centrada en:	El aprendizaje de conceptos básicos que requieren atención particular	Para públicos amplios con intención de llamar la atención, motivar y, generalmente entretener y/o divertir. Suele presentar temas de actualidad y relevancia social.
Dirigida por:	El emisor de los mensajes, profesor generalista en primaria y especializado en secundaria	El “divulgador” pero con amplias posibilidades de participación de los receptores del público
Requisito, requiere de:	Transposición del conocimiento científico disciplinar que se quiere enseñar	Recontextualización del conocimiento científico que se quiere divulgar

Fuente: Elaboración propia a partir de Blanco (2004)

Aunque podemos decir que la educación formal y la divulgación científica, entendida como educación informal, comparten objetivos, la comunicación científica en su forma de divulgación es claramente diferente. Sin embargo, llamamos la atención sobre un elemento en común o compartido, ambas requieren al elaborar sus mensajes, al comunicar ciencia (publicar o extender), de una reelaboración de esos contenidos científicos.

En la Didáctica de las Ciencias es bien conocida la necesidad de la transposición didáctica. Es necesario realizar una reelaboración del “conocimiento científico de las disciplinas” para convertirlo en “conocimiento escolar” adecuado para alumnos de diferentes edades y desarrollos cognitivos. La ciencia escolar es el resultado de un

proceso de reelaboración que no se debe entender como una mera simplificación.

De igual modo en la divulgación se habla de una recontextualización, que según De Semir (2014) es “tomar un conocimiento en el estricto contexto científico y trasladarlo (interpretándolo, reformulándolo, adaptándolo...) a otros entornos más amplios con diferentes niveles según quiénes sean los receptores o la audiencia concreta”.

Cassany (2003) caracteriza este proceso de recontextualización en tres elementos que denomina como conceptualizar/conceptualización (establecer vínculos con conceptos del discurso popular), textualizar/textualización (eliminar recursos científicos como gráficos o tablas y sustituirlos por modelos generales de comunicación como narraciones, historias, metáforas, etc.) y denominar/denominación (sustituir y/o disminuir la densidad léxica de los textos científicos por sinónimos o términos generales). Estos procesos no se dan de forma necesariamente lineal, aunque el primero de ellos aparece casi necesariamente como inicial, y con los posteriores se consigue pasar de un discurso científico altamente específico a un discurso general o divulgativo.

Pasemos a comentar quienes son los protagonistas, los actores principales de esa recontextualización.

¿QUIÉN DIVULGA?

Si comenzábamos este capítulo con una reseña histórica, sería imperdonable no recordar que, desde el mundo antiguo pasando por la época medieval ya hubo numerosos casos de sabios o filósofos que elaboraron textos que intentaban reunir los conocimientos del momento, sin embargo difícilmente se podría catalogar de divulgación pues el pueblo era mayoritariamente analfabeto y, además, las obras de conocimiento científico se escribían en una lengua ya desconocida para la población, el latín. En la Revolución científica, a caballo de los siglos XVI-XVII, podemos encontrar la primera gran obra científica que podríamos llamar también divulgativa pues fue escrita en la lengua del pueblo y por tanto accesible para todo aquel que supiera leer el italiano, nos referimos al libro “Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano” publicado en 1632, obra de Galileo Galilei (1546-1642).

De mano de los descubrimientos geográficos y de los avances tecnológicos derivados de la revolución científica, en el siglo XVIII van surgiendo los llamados gabinetes de curiosidades o cuartos de las maravillas, precursores de los museos de historia natural, y en cierto modo de los museos de ciencias. En ellos, los nobles y la burguesía enriquecida de la época reunían colecciones de objetos naturales de todo tipo (rocas, fósiles, conchas, huesos deformes y otro sinfín de elementos) que enseñaban a sus amigos y en ocasiones al pueblo. Podemos decir que era un intento de extender el conocimiento, también en esos gabinetes o en espacios más abiertos

se hacían demostraciones de experimentos de cara al pueblo. El movimiento de la Ilustración impulsa la publicación de la Enciclopedia Francesa, posteriormente la Enciclopedia Británica con la idea extender el conocimiento a la población, junto con un enorme desarrollo de publicaciones de todo tipo (diarios, revistas, folletos, etc.) que pueden llegar a sectores más amplios de la población. Durante el siglo XVIII la divulgación se realiza principalmente mediante libros cuyos autores son a la vez científicos reconocidos, como los franceses Fontenelle, Diderot, Buffon; el alemán Humboldt. Hasta ese momento los divulgadores eran principalmente los propios científicos.

Sin embargo, ya en el siglo XIX aunque hay antecedentes anteriores, por un lado la creciente especialización de las disciplinas científicas y, por otro, el desarrollo de la prensa y del periodismo provoca la aparición de unos nuevos protagonistas de la divulgación: los periodistas especializados que publican en prensa generalista con secciones dedicadas a estos temas o bien en las primeras publicaciones especializadas en difundir los avances científico-técnicos del momento, generalmente con comentarios sobre la importancia de los avances para la economía (Moreno-Castro, 2003).

De forma general podemos señalar que desde mitad del siglo XIX hasta la llegada de un nuevo medio de comunicación, la radio, en las primeras décadas del siglo XX, son las publicaciones en papel las que se encargan de divulgar la ciencia. Los divulgadores ya son de dos tipos: los científicos que ven la necesidad de divulgar los avances de la ciencia y que ellos mismos generan y los periodistas más o menos especializados en temáticas científicas.

Tras la Segunda Guerra Mundial, varios factores inciden en la divulgación y sus protagonistas: la aparición de un nuevo medio de comunicación (la televisión) que permite llegar a toda la población, a todos los públicos; la necesidad de unas mayores inversiones económicas para la investigación científica, la generalización de la educación entre la población y la aparición de movimientos como el *Public Understanding of Science* en Europa y el *Scientific Literacy* en Estados Unidos. Todo ello configura a los más famosos divulgadores del momento, particularmente entre los científicos que divulgan, tales como Carl Sagan (1934-1996), Richard Feynman (1918-1988), Isaac Asimov (1920-1992), Stephen Jay Gould (1941-2002), David Attenborough (n.1926) por citar solo algunos muy conocidos. En el caso de España, la divulgación en la TV se inició con Luis Miravittles (1930-1995). Otros divulgadores que alcanzaron gran popularidad en la TV fueron Feliz Rodríguez de la Fuente (1928-1980) en temas de naturaleza o Ramón Sánchez Ocaña (n. 1942) en temas de salud.

Entre los periodistas especializados, y por ceñirnos a España, es obligado nombrar a Manuel Calvo Hernando (1923-2012), considerado el pionero del periodismo científico en nuestro país, fundador de la Asociación Española de Comunicación Científica (en 1971), creada al principio como Asociación Española de Periodismo Científico. Inicialmente fue periodista en prensa y TV, desarrollándose después como un excelente divulgador de ciencia sin tener una formación inicial como

tal. La otra cara de la moneda la podemos encontrar en Manuel Toharia Cortés, licenciado en Física, y muy conocido como el hombre del tiempo en TV y que ejerce como periodista divulgador.

En la actualidad podríamos citar a Eva Caballero Domínguez y Antonio Martínez Ron (periodistas), Javier Sampedro (científico y periodista), entre una larga lista de divulgadores en los medios de comunicación españoles. Desde 2015 se conceden en España los “Premios de Periodismo Científico Concha García Campoy” en diferentes categorías (Prensa escrita, Prensa digital, Radio, TV y Trayectoria).

Esta dualidad del científico divulgador por un lado, que en ocasiones pueden escribir ensayos verdaderos *best sellers* o que colaboran en medios de divulgación con artículos o reportajes, y por otra parte el periodista especializado en temáticas científicas con una sólida formación en ciencia, bien inicial o posterior, podría considerarse como la deseable entre los que se dedican a realizar una divulgación de calidad en los formatos tradicionales del siglo XX (libros, revistas, conferencias, exposiciones, museos, incluso hasta televisión). Tampoco es inusual el científico que termina especializándose en difundir noticias sobre su propia investigación o trabaja para algún medio de comunicación como redactor de noticias científicas de actualidad, como el citado Javier Sampedro o el catedrático de biotecnología en la Universidad de Valencia José Miguel Mulet. Hemos de citar también a José Manuel Sánchez Ron, físico e historiador de la ciencia y miembro de la Real Academia Española, cuyo discurso de entrada en la RAE es todo un ejemplo de síntesis entre ciencia y comunicación (Sánchez Ron, 2003).

Junto a estos actores individuales, hay que citar la divulgación que realizan diferentes instituciones científicas, movidas por la necesidad de mostrar a la sociedad en general sus actividades de investigación que requieren grandes inversiones económicas financiadas con fondos públicos. Así, las universidades, los diferentes centros de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) y otros centros de carácter privado, durante las últimas décadas, organizan eventos públicos abiertos (Ferias de la Ciencia, Noche de los Investigadores desde 2005, ciclos de conferencias, etc.) en los que, generalmente sus investigadores más noveles, muestran su trabajo de investigación en formatos divulgativos.

Estas acciones pueden situarse bajo el paraguas de la denominada ciencia abierta (open science) impulsado por la Comisión Europea desde principios del siglo XXI, aunque este concepto es más amplio pues implica otras actividades de investigación (Anglada y Abadal, 2018). Por último, hemos de citar las actividades de los gabinetes o unidades de comunicación, prensa y divulgación de esas mismas instituciones científicas, universidades o empresas tecnológicas donde pueden trabajar científicos o periodistas especializados, que seleccionan y elaboran noticias, bien para difundirlas por sus propios medios o para enviarlos a los medios generalistas en forma de comunicados o notas de prensa.

¿DÓNDE SE DIVULGA?

La visión del divulgador, ligada a la idea de “publicar” que nos aparece en la inicial definición de divulgar, nos retrae a la tradición de la escritura y lectura sobre medios impresos, posteriormente ampliada a “extender” por medios como la radio y la televisión.

Las publicaciones clásicas más conocidas han sido las revistas científicas de divulgación, que articulaban contenidos elaborados por especialistas con formatos accesibles para públicos no expertos. Títulos de amplia trayectoria como *Muy interesante* o *National Geographic* han contribuido a consolidar géneros específicos de escritura científica divulgativa, como el ensayo breve, el reportaje o la reseña crítica. Además, estas revistas mantienen criterios editoriales y de revisión que funcionan como filtros de calidad y ayudan a preservar la credibilidad de la información científica. Sin embargo, algunas han sufrido la crisis del formato impreso y tuvieron que cerrar sus ediciones, como el caso de *Investigación y Ciencia* que tras 556 números cerró en diciembre de 2022.

En TV, la serie *Cosmos* de Carl Sagan ocupó un lugar emblemático, y demostró que la televisión podía construir narrativas científicas de gran alcance social, usando la historia, recursos visuales y metáforas, que contribuyeron a fijar imágenes culturales de la ciencia y de quienes la practican. En su momento de emisión, 1980 en España, solo existía una cadena y su impacto se podía cuantificar con facilidad. En la actualidad, debido al fraccionamiento del espacio audiovisual, hay multitud de emisiones que podíamos denominar de divulgación, pero de cuya calidad se podría discutir.

Desde finales del siglo XX irrumpe un nuevo canal de comunicación que vendrá a revolucionar el mundo a todos los niveles, Internet. El desarrollo tecnológico de las bandas de comunicación desde el año 2000, la crisis económica de 2008-2011 que cortó radicalmente los ingresos por publicidad en la prensa tradicional y el desarrollo de las redes sociales de comunicación (Facebook, Twitter, etc), entre otros factores, ha provocado un cambio profundo en los canales de divulgación científica.

Dicho cambio tiene un posible aspecto positivo: hay muchas más fuentes (aparece el periodismo independiente, la proliferación de blog de organizaciones y científicos de forma individual), asequibles en todo momento a un clic en el ordenador); sin embargo van ligadas a una pérdida de credibilidad de fuentes tradicionales bien formadas, se incrementa paradójicamente la desinformación o la transmisión de errores, falsedades, fomento de bulos y emerge con fuerza las fuentes de pseudociencia.

Según la FECYT, en su último informe de 2024, la TV y sus plataformas son el medio más usado para informarse sobre ciencia y tecnología (21%, citados como primera fuente), prácticamente igualado por las redes sociales tipo Facebook, Instagram o X (20,7%), siguen plataformas de video online tipo Youtube, Twitch, Tiktok (9,4%), Prensa diaria on line o en papel (7,6%), Radio y/o podcast (5%), Libros o revistas de divulgación científica en papel u on line (11,4%), Webs institucionales (7,1%).

Se aprecia que, de algún modo, se mantienen los medios tradicionales aunque combinados con su formato on line (en prensa, radio y TV), pero los más jóvenes usan más las redes sociales y las personas de mayor edad usan más la TV, radio y prensa (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2025). En 2012 la TV doblaba las preferencias a Internet y las redes sociales aún no aparecían en las estadísticas recogidas por la FECYT.

No cabe duda de que las redes sociales seguirán ascendiendo como medio para divulgar la ciencia, en particular entre los más jóvenes, y por ello los medios tradicionales, en particular las revistas científicas divulgativas se han esforzado en replantear sus estrategias de difusión para adaptarlas a redes como Facebook o X (Castillo-Ramírez y Alberich-Pascual, 2017). Igualmente hay que considerar la credibilidad que los jóvenes, y en particular los estudiantes, pueden dar a los *youtubers* y a los *influencers* cuando tratan temas científicos relevantes en materias de salud o medio ambiente. Estos lugares de divulgación son particularmente propensos a albergar argumentos pseudocientíficos sobre temáticas muy variadas y que suelen atraer el interés de los más jóvenes (Vizcaino-Verdu *et al.*, 2020; Welbourne y Grant, 2015).

Frente a este peligro, las fuentes más creíbles y fiables, como universidades y museos de ciencia, deben potenciar el uso de estos canales para mejorar su divulgación, aunque los trabajos de investigación inicialmente aprecian que los canales institucionales resultan menos atractivos para las nuevas generaciones (Ojeda-Serna y García-Ruiz, 2022; Testón-Martínez y Alberich, 2023). Sin embargo, tampoco es imposible aunar rigor científico con proximidad y éxito comunicativo. Son los llamados “*influencers científicos*”, creadores de contenido que utilizan plataformas como YouTube, TikTok, Instagram o Twitch para hablar de ciencia, y han adquirido un papel relevante. Algunos como Javier Santaolalla (@jasantaolalla), José Luis Crespo (@quantumfracture) o Rocío Vidal (@lagatadeschrodinger), están en cabeza en número de seguidores. Su principal fortaleza radica en la capacidad para conectar con audiencias jóvenes mediante códigos comunicativos cercanos, formatos breves y una alta frecuencia de publicación (Buitrago y Torres-Ortiz, 2022).

En definitiva, no cabe duda de que las redes sociales, en sus diversos formatos actuales y será difícil predecir cómo podrán evolucionar en el futuro ofrecen nuevas oportunidades para que los científicos comuniquen a sus pares (difusión) y por supuesto a toda la población (divulguen), la ciencia que hacen.

Por último, citemos a los museos interactivos y centros de ciencia, como el Parque de las Ciencias de Granada, que representan espacios privilegiados de divulgación en los que se combinan exposición, experimentación y mediación educativa. En estos entornos, se encuentran desde módulos interactivos, demostraciones, talleres, hasta experiencias inmersivas. Este tipo de instituciones se sitúa en la frontera entre divulgación y educación no formal.

Quizás no importe mucho dónde se haga siempre que se alcancen los objetivos de la divulgación que marcamos anteriormente. En la Tabla 27.2 resumimos y comparamos algunas de las características de los medios de divulgación en formato

convencional (e.g.: medios impresos como libros o periódicos; museos de ciencia; espectáculos; exposiciones de arte; eventos científicos abiertos como la Noche de los Investigadores; conferencias; programas de radio y TV) y en formato en línea (e.g.: blogs y webs especializadas; revistas científicas digitales; podcasts; plataformas de streaming como YouTube; redes sociales como Instagram).

Tabla 27.2. Características de los formatos convencionales y en línea para divulgación.

	MEDIOS CONVENCIONALES	MEDIOS EN LÍNEA
Alcance	Limitado a la distribución física y eventos presenciales	Global, accesible desde cualquier lugar con conexión
Costo	Alto (impresión, logística compleja, desplazamientos)	Medio o bajo, incluso nulo en algunos casos (publicación digital, redes sociales)
Interactividad	Escasa o media (preguntas en conferencias, cartas al editor, participación público)	Media, Alta (comentarios, foros, redes sociales, webinars)
Velocidad de difusión	Lenta (tiempos de edición e impresión, requiere distribución)	Inmediata (publicación instantánea en plataformas digitales)
Actualización	Difícil (requiere nuevas ediciones o eventos)	Fácil y rápida (edición online, posts actualizados)
Accesibilidad	Limitada (requiere presencia física o compra)	Amplia (muchos recursos gratuitos y abiertos)
Credibilidad percibida	Alta (asociada a instituciones y editoriales reconocidas)	Variable (depende de la fuente y verificación)
Formato visual	Principalmente Estático (texto, imágenes impresas)	Principalmente Dinámico (videos, infografías interactivas, animaciones)

Elaboración propia.

Diversos de estos formatos presentados pueden considerarse que son, en algún modo, formas de educación no formal, por ejemplo, aquellos que se realizan por instituciones científicas en ocasiones incluso en cooperación con centros formales de educación, aunque en su mayoría la divulgación científica se enmarca en lo que se clasifica como educación informal. Sin embargo, hemos de remarcar que ni científicos divulgadores ni periodistas más o menos especializados en ciencia tienen como objetivo explícito realizar actividades educativas, pues su público hace una libre elección al participar, ni se realizan por lo general actividades de carácter evaluativo, tal como se comentó en la Tabla 27.1.

¿QUÉ PROBLEMAS PLANTEA LA DIVULGACIÓN?

A lo largo de las páginas anteriores habrán apreciado una dualidad entre medios convencionales y medios en línea, entre periodistas y científicos, entre educación y divulgación.

La buena divulgación es buena la realice un científico que divulga o la haga un periodista que se dedica a divulgar ciencia, siempre que el científico no confunda divulgar con difusión del conocimiento para expertos y no para toda la población, ni el periodista confunda divulgar con hacer periodismo científico es decir simplemente informar de unos hechos.

La problemática para el científico que confunda divulgar con la difusión o diseminación del conocimiento de la ciencia es el desconocimiento de los códigos de comunicación del lenguaje divulgativo que es el utilizado en el lenguaje periodístico y/o pretender usar de forma amplia el lenguaje científico habitualmente lleno de tecnicismos y fórmulas matemáticas. De hecho, algunos científicos han denostado la divulgación por no estar dispuestos a renunciar a ese lenguaje (por ejemplo, Severo Ochoa afirmaba que la ciencia se expresa mediante un lenguaje que no podía desvirtuarse). Por suerte, en la actualidad esa opinión no es la mayoritaria.

Elías (2008) basa la diferencia entre el mero periodismo científico y la divulgación científica en dos aspectos (fuente y referente). En primer lugar, en la propia formación en ciencia del periodista, que generalmente no es mucha, y por tanto puede no conocer con cierta profundidad lo que pretende divulgar y por ello debe acudir a referentes, a científicos, formados (la fuente de la información). En segundo lugar, habiendo acudido a una fuente bien formada, el periodista puede transmitir la noticia, el nuevo descubrimiento con un lenguaje divulgativo, pero si realiza algún tipo de análisis de tipo social, político, económico, etc, del hecho científico del que se le informa entonces probablemente sobrepasaría los límites de la mera divulgación.

Podemos afirmar que la divulgación se encuentra en una frontera complicada: puede abusar del lenguaje técnico si el científico divulgador no sabe adaptar su discurso o en excesivas simplificaciones, errores o un cierto sensacionalismo si el periodista no comprende bien lo que le transmite su fuente informativa. La divulgación puede sufrir el síndrome de Procusto (González-García y Jiménez-Liso, 2005).

En este sentido, conviene enfatizar que la divulgación científica de calidad exige no solo destrezas comunicativas, sino también un conocimiento suficiente de los contenidos y procesos propios de la actividad científica, para evitar la difusión de información inexacta o engañosa. Por ello, resulta deseable que quienes se dedican profesionalmente a la comunicación pública de la ciencia, sean periodistas, profesionales de la comunicación institucional o divulgadores independiente, dispongan de una alfabetización científica adecuada y de criterios para contrastar fuentes, o bien trabajen en estrecha colaboración con especialistas capaces de garantizar la solidez conceptual de los mensajes que se traslada a la ciudadanía. En un trabajo de investigación (Cassany *et al.*, 2018) se mostraba que la mayoría de los periodistas científicos no disponían de una titulación universitaria en el ámbito científico, y además, mayoritariamente, no la consideraban necesaria.

¿Cómo hacemos entonces la recontextualización adecuada para que un hecho científico pueda convertirse en una buena divulgación científica? En primer lugar,

debemos aclarar que la divulgación no se reduce solo a los últimos avances científicos, de hecho, muchos de los mejores textos divulgativos versan sobre ciencia consolidada, y podríamos plantear si todo avance puede divulgarse. De Semir (2014) afirma que: “La divulgación científica selecciona, redirige, adapta, recrea, un conocimiento producido en el ámbito especializado para que una vez transformado cumpla una función social dentro de un contexto distinto y con propósitos diferentes para una determinada comunidad cultural”.

Ciñéndonos a la divulgación que se basa en textos escritos, bien se difundan por medios convencionales o bien on line, la recontextualización puede conseguirse teniendo en cuenta varios aspectos, podemos llamarlos consejos para conseguir una divulgación adecuada. Planteemos que tenemos una historia que contar, un descubrimiento, un trabajo científico propio, ¿cómo lo convertimos en una buena historia?

Primero, se ha de tener en mente al público a quien se lo vamos a contar. Y si es divulgación, ese público no sabe de ciencia más que lo justo, no son tus colegas de trabajo, ni gente de la academia; es el mundo mundial. Ligar tu historia a elementos actuales y cotidianos es una buena estrategia.

Segundo, evitar lo máximo posible la “jerga” científica, no abusar de los tecnicismos. Hay datos que indican que si hay más de un 2% de palabras técnicas en un texto, se vuelve incomprensible o se abandona su lectura, no interesa, incluso entre personas con preparación (Rakedzon *et al.*, 2017). En definitiva, hay que ser consciente de que el lenguaje divulgativo y el científico tienen características muy distintas, y la simplificación es casi inevitable. Y con las imágenes hay que cuidar mucho los datos que se comunican visualmente en gráficos o ilustraciones muy técnicas. Lo de una imagen vale más que mil palabras puede ser muy engañoso en la divulgación.

Tercero, no olvidar acudir a las emociones y sentimientos del público, dar emoción al relato. Obviamente no es fácil hacerlo sin caer en cierto sensacionalismo (el amarillismo al que se acusa muchas veces a los titulares que intentan llamar la atención).

Estas recomendaciones pueden adaptarse también a un formato divulgativo que utiliza la palabra como elemento esencial, los podcasts, y que ha emergido con gran fuerza desde 2010. Su producción no requiere de una tecnología muy compleja, existen muchas herramientas de edición (Audacity, Anchor) y hay estudios que indican que los jóvenes los consideran una mejor forma de repasar contenidos científicos (Evans, 2008; MacKenzie, 2019).

Usemos el formato que usemos, crear divulgación atractiva es complejo, entran muchos factores en juego (el formato, las habilidades comunicativas del divulgador...) pero no es imposible y hemos de ser conscientes de la importancia de realizarla adecuadamente frente a los bulos, la desinformación, la publicidad engañosa y el avance de las pseudociencias (Vílchez-González *et al.*, 2015).

Los límites y dificultades no han de ser excusa ni limitar nuestra imaginación para intentarlo, considerando siempre nuestras habilidades para manejar los múl-

tiples registros en los que se puede hacer divulgación. No aspiremos a ser genios, pero uno de los más grandes lo dijo: “El primer deber del hombre de ciencia es la comunicación, solo es ciencia, la ciencia transmisible” (afirmación de Leonardo da Vinci, recogida por Calvo Hernando, 2002).

Acabamos con un cuadro resumen (Tabla 27.3), desde una perspectiva DAFO de la divulgación científica, resaltando no solo los aspectos negativos sino también los elementos positivos. Siempre vamos a encontrar dos caras en esta moneda o sufrir el ya citado síndrome de Procasto.

Tabla 27.3. Divulgación científica: análisis de aspectos positivos y negativos desde la perspectiva DAFO.

Fortalezas internas positivas	Debilidades internas negativas
Conocimiento accesible para toda la población	Abuso de lenguaje técnico-científico
Credibilidad según fuentes académicas contrastadas	Escasa formación en comunicación/en ciencia de científicos/periodistas
Alto impacto social y educativo	Recurso limitados para proyectos
Inspiración de vocaciones científicas entre jóvenes, en particular para estudios con poca presencia femenina	Baja visibilidad en medios tradicionales que son más usados por ciertos tramos de edad
Oportunidades externas positivas	Amenazas externas negativas
Uso de redes sociales y plataformas digitales para llegar a más público	Desinformación y pseudociencia en Internet y todas las redes sociales
Creciente interés social por temas científicos (salud, medio ambiente, tecnología)	Saturación informativa que reduce atención del público
Programas de financiación y colaboración entre instituciones y países	Polarización ideológica que provoca una percepción negativa de la actividad científica

Fuente: Elaboración propia a partir de Trámpuz *et al.* (2025)

DIVULGACIÓN Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Una de las más importantes revistas en el campo de conocimiento de la Didáctica de las Ciencias, referente en el idioma castellano para los investigadores en dicho campo de conocimiento, es la conocida *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, publicada desde el año 2004 por la Universidad de Cádiz. Desde sus inicios, así se declara en su primera editorial, se dirige a educadores y divulgadores, haciendo hincapié en las relaciones entre enseñanza y divulgación de las ciencias, y se afirma que la revista “intenta combinar aspectos relativos a la propia ciencia que se enseña o se divulga, con otros más próximos a los contextos didácticos y comunicativos que sirven de vía para estimular el aprendizaje y hacer llegar ese saber a sus destinatarios” (Editorial, 2004).

Desde 2007 se incluyó una sección denominada “Ciencia Recreativa” para, como declaró la Revista Eureka al presentar la sección, dar cabida a “Experiencias

científicas u otras actividades que resulten amenas (y, en ocasiones, sorprendentes) a la vez que formativas, y que puedan emplearse por los docentes para estimular el interés por la ciencia y suscitar preguntas que ayuden a comprender los fenómenos y conceptos científicos, valorándose positivamente la simplicidad de diseño, la sencillez de la construcción y presentación, así como el uso de materiales sencillos y asequibles”. En 2011, la publicación dedicó un número extra a lo que denomina como “Ciencia Recreativa” y para ello se dirigió a personas acreditadas en tener experiencia en divulgación científica dado que participaban en eventos de este tipo donde “se transmitía al público la pasión por la ciencia mediante la realización de experimentos, sencillos o espectaculares, que contagiaban a los espectadores las ganas de conocer más sobre las leyes, los conceptos o los fenómenos científicos” (García-Molina, 2011a).

García-Molina (2011b) se declara un entusiasta de la divulgación de la ciencia. En concreto de la física, y podemos entender que sus propuestas de ciencia recreativa se enmarcan en una forma de divulgación en formatos convencionales como espectáculos, representaciones, experimentos que le sirven como un recurso didáctico para su docencia, aumentando el interés de sus estudiantes por la ciencia y haciendo la enseñanza-aprendizaje más atractiva y divertida para profesores y estudiantes. Sin embargo, advierte que aplicar la ciencia recreativa, digamos la divulgación, como recurso didáctico no es una garantía de éxito en el proceso de enseñanza-aprendizaje; en términos educativos no asegura el aprendizaje de los estudiantes. Al igual que en otros aspectos de la educación formal, hay muchos factores que pueden mediar en que la divulgación sea realmente efectiva como tal herramienta didáctica.

La Didáctica de las Ciencias y la Divulgación científica comparten objetivos comunes: favorecer el aprendizaje de las ciencias, así como el interés y el conocimiento de las ciencias entre la población en general, actuando sobre la alfabetización científica de la población. Blanco (2004) señala que las relaciones entre educación científica y divulgación pueden considerarse desde tres aspectos: la divulgación como recurso didáctico, como fuente de aprendizaje y la propia divulgación como objeto de estudio. La ciencia recreativa es un buen ejemplo de lo primero. Como fuente de conocimientos, en ocasiones erróneos, ha sido objeto de estudio diversos en la propia didáctica de las ciencias (Jiménez-Liso *et al.*, 2002).

El tercer aspecto es el menos estudiado y el más problemático. Resulta paradójica la escasa relación que existe entre dos aspectos de la alfabetización científica: la educación científica (*science education*) y la comunicación de la ciencia (*science communication*), entendamos como enseñamos/comunicamos la ciencia en ámbitos formales y como se comunica/enseña la ciencia en ámbitos informales, incluso desde el punto de vista de la academia suelen ir por campos diferentes (Baram-Tsabari y Osborne, 2015). Si esa escasa relación era ya un problema cuando la divulgación se realizaba por medio convencionales (hablamos de formatos tradicionales como el papel o la publicidad audiovisual de radio y TV), qué no podemos decir desde la irrupción de los formatos ligados a internet y todas sus redes derivadas.

Hace ya 20 años que Gavidia (2005) advertía que la educación científica no solo tenía problemas académicos, nuestro generalizado y continuo lloro de lo mal que van las cosas en las aulas, pues la educación científica se enmarcaba y aún más actualmente en un contexto social que cambia a ritmos muy acelerados. En ese cambio actúan como un motor esencial las tecnologías de la información y la comunicación, denominarlas como nuevas ya resulta viejo, permítannos el juego de palabras.

Resulta necesario, casi diríamos que urgente, que el profesorado del colectivo de nuestro campo de conocimiento asuma los retos de ligar el conocimiento científico, y su didáctica, a otras formas de comunicar la ciencia en formatos on line y/o convencionales, formatos que se sitúan en la línea de realizar comunicación científica en forma de divulgación dirigida no solo a los estudiantes que formamos en nuestros grados y posgrados sino a la población en general (Garrido-Navas, 2025; González-García, 2024, 2025; López-Fernández, 2025). La divulgación debe actuar como una verdadera transversal en la alfabetización científica de la población pues, como indica González-Lucini (1993), los temas transversales son el nuevo enfoque para resolver problemas sociales relevantes.

Hemos señalado las diferencias entre divulgación y educación científica (Tabla 27.1) aunque ambas compartían la necesidad de modificar el conocimiento científico (transposición didáctica/recontextualización) dirigido a los receptores de sus mensajes. Quizás la didáctica de la ciencia deba también recontextualizar sus propios mensajes académicos, es decir divulgar sus propios contenidos, a modo casi de auto-divulgación como hacen las propias instituciones de investigación durante sus actividades (Villegas *et al.*, 2023). ¿No es esta una tarea pendiente en nuestro campo académico?

Al igual que iniciábamos este capítulo con un recuerdo histórico, digamos que en el momento actual en que proliferan todo tipo de bulos científicos, muy identificables en las pseudociencias, es vital que la divulgación y educación científica apoyen una respuesta positiva al dilema planteado por Lippman y Dewey, en la segunda década del siglo XX (Feinstein, 2015). ¿Es posible que los ciudadanos no expertos estén adecuadamente formados e informados para poder apoyar decisiones en materias complejas (como las científicas)? Walter Lippman, experto en comunicación pública, respondía con un no rotundo; John Dewey, por el contrario, daba una respuesta positiva. Una adecuada relación entre educación y divulgación debería apoyar esta segunda respuesta.

Capítulo 28. Métodos biométricos para impulsar la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales

Ángel Ezquerro, Rafael Campillos, Cristina Casado-Lumbreras y Sonia Pamplona
Universidad Complutense de Madrid
Contacto: angelezq@ucm.es

BREVE REVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN EN DCE

El estudio de los procesos de enseñanza y aprendizaje —tanto de sus aspectos cognitivos como afectivos y sociales— es una cuestión de crucial importancia, también en la Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE). Esto es debido a que la educación científica está profundamente vinculada con el desarrollo individual de cada persona y de la sociedad en su conjunto en cuestiones relacionadas con economía y salud (Brewer *et al.*, 2007), la participación democrática (Levinson, 2010), la cultura (DeBoer, 2011), la toma de decisiones personales (DeBoer, 2000), el cuidado del medio ambiente (Kahan *et al.*, 2012) y, obviamente, la educación (Feinstein, 2011).

En este sentido, diferentes instituciones han promocionado informes sobre los sistemas educativos (Delors *et al.*, 1996; European Commission, 2004), sobre la percepción pública de la ciencia (European Commission, 2005, 2013; FECYT, 2002-2022) o más centrados en el nivel de conocimiento en ciencia del alumnado (OCDE, 2023; von Davier *et al.*, 2024-TIMSS). De modo complementario, es posible encontrar multitud de trabajos que analizan con mucho detalle los conocimientos, dificultades y preconcepciones de los alumnos sobre cada uno de los contenidos científicos escolares (Amin *et al.*, 2014; Driver *et al.*, 1985). Del mismo modo, también se han estudiado las creencias, las actitudes y las emociones (Mellado *et al.*, 2014; Potvin y Hasni, 2014) o la percepción sobre la naturaleza de la ciencia que muestran los aprendices (Adúriz-Bravo, 2005; Cofré *et al.*, 2019; García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018).

Obviamente, también se han analizado los procesos ligados específicamente a la formación de los docentes en ciencias (Gess-Newsome y Lederman, 1999; Magnusson *et al.*, 1999). Estas temáticas se han considerado desde la perspectiva de un único docente, de varios, de las progresiones de conocimiento que se producen en la fase inicial de su formación (Vílchez *et al.*, 2024) o ya como profesores en activo (Luft y Hewson, 2014). De este modo, se ha ido generando un amplio corpus sobre el conjunto de conocimientos didácticos del contenido científico que conforman la identidad profesional del docente de ciencias (Fernández-Carro *et al.*, 2023, 2024; Vílchez *et al.*, 2024).

El objetivo general de estos trabajos ha sido describir la situación de la educación en ciencias y determinar las relaciones entre los distintos agentes que intervienen en estos procesos. Así, se han considerado poblaciones amplias de diferentes países, regiones, entornos socioeconómicos..., perfiles concretos de profesorado —en formación o en activo— y al alumnado, tanto en términos generales como en grupos específicos —equipos de trabajo, aulas, centros educativos, estudiantes con diversidad funcional, género... Del mismo modo, se ha reflexionado sobre los documentos generados por las administraciones que tratan de estructurar los sistemas educativos, los libros de texto, los materiales utilizados en el aula por el profesorado o los derivados de los trabajos de los aprendices. También se han analizado los efectos de los medios de comunicación, las redes sociales... En resumen, se ha trabajado, y se sigue trabajando para conocer todos y cada uno de los posibles aspectos que intervienen en la formación científica (Lederman *et al.*, 2023).

Para llevar a cabo esta ingente tarea se han recopilado datos mediante la observación directa, realizando entrevistas, utilizando rúbricas o grabando los hechos de interés en vídeos o audios. Del mismo modo, se han desarrollado y aplicado cuestionarios sobre cada una de las cuestiones que han resultado de interés para los investigadores en la educación en ciencias. Sobre estos instrumentos de recogida de datos, tradicionalmente se han aplicado distintas estrategias como el estudio de caso, la etnografía, el análisis documental, la estadística, el análisis de contenido o haciendo converger varios instrumentos y técnicas en función del objetivo de la investigación concreta. Pero... reflexionemos un momento sobre el objeto y el modo de proceder en la investigación educativa en ciencias; es decir, sobre qué nos preocupa y cómo actuamos.

Nuestro objeto es el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Es decir, más que un *qué*, nuestro objeto de estudio es un *cómo*. Nuestro interés se dirige a *cómo* son construidos los conceptos, desarrollados los procedimientos o modificadas las actitudes por parte del aprendiz de ciencias. Del mismo modo, nos interesamos en *por qué* o *cómo* se presentan o trabajan los contenidos por el profesorado, los materiales educativos, el currículo...; también nos concierne la estructura y selección de contenidos que se hace en las aulas... Pero, además, nos afecta cómo es la propia naturaleza de la ciencia, *cómo* es presentada y *cómo* es percibida por los ciudadanos, sus efectos en los desarrollos individuales y sociales, y *cómo* todo esto afecta al proceso educativo.

Parece que muchas de estas cuestiones no tienen una realidad física subyacente o aún no es conocida por nosotros. Es decir, no conocemos los cambios fisiológicos o neuronales que sustentan un pensamiento. Además, estas cuestiones son muy dependientes de varios actores —profesorado, alumnado, sistema educativo, entorno social...— y están fuertemente condicionadas por una gigantesca diversidad de elementos como la trayectoria formativa previa, el estado emocional en un instante concreto y las características cognitivas de los individuos. En definitiva, estamos ante un objeto de estudio muy complejo que requiere de diversidad de

conceptualizaciones, enfoques o perspectivas, de múltiples modos de recogida de datos y de una amplia variedad de técnicas de análisis.

Hasta hace relativamente poco tiempo, solo eran posibles estrategias de investigación apoyadas en la observación de hechos o documentos, en la declaración de los participantes o en diseños mixtos que integraban ambos enfoques (Cohen *et al.*, 2018). Estos enfoques presentan fortalezas evidentes. Por ejemplo, están muy contrastados y son aplicables a escenarios reales de enseñanza y aprendizaje. De hecho, constituyen la base empírica sobre la que hemos construido nuestro conocimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje en ciencias. Sin embargo, también han mostrado algunas limitaciones. No suelen describir bien la intensidad de la medida (Barrett *et al.*, 2019). Igualmente, no está claro si los participantes pueden percibir y expresar con precisión sus opiniones, emociones o conductas; ni tampoco sabemos si realmente desean mostrarlas o si sus respuestas están influidas por la «deseabilidad social» (Izard, 2009).

Por otra parte, los instrumentos diseñados para medir una dimensión suelen aplicarse de forma inapropiada para medir otras. Por ejemplo, muchos de los ítems actualmente utilizados para evaluar emociones se emplean también para estudiar las actitudes, los intereses o la motivación de los estudiantes hacia la ciencia (Potvin y Hasni, 2014).

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS BIOMÉTRICOS EN EDUCACIÓN

Como complemento a los métodos de investigación observacionales o declarativos descritos anteriormente, se están incorporando a la investigación educativa métodos biométricos para explorar los mecanismos de enseñanza y aprendizaje (Cohen *et al.*, 2018). Es decir, procedimientos que utilizan como base la medida de variables neurológicas —como la actividad eléctrica del cerebro—, o fisiológicas —como la frecuencia cardíaca—, o comportamentales —como la ubicación de la mirada—. Esto es debido a que estos métodos muestran una fuerte superposición entre los datos recogidos y las acciones experimentadas o realizadas por los participantes (De Gelder, 2006; El Haj *et al.*, 2018; Tlaie *et al.*, 2025; Vaessen *et al.*, 2023). Es decir, los métodos biométricos ofrecen un acceso fiable y coherente a los componentes cognitivos, emocionales o conductuales de los individuos. Dicho de un modo aún más directo, su medida nos habla de cómo el individuo está pensando, sintiendo o decidiendo. Un auténtico regalo para investigar el objeto de estudio en la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Sin embargo, los métodos de investigación biométricos presentan, en general, un altísimo nivel de especialización. De hecho, su uso entraña una preparación muy especializada, incluso en sus campos de origen, tanto, que existen operarios altamente cualificados y exclusivamente destinados al manejo de los equipamientos, al modo de analizar las señales derivadas de ellos o a su interpretación en medicina,

psicología experimental o neurociencias (Bulagang *et al.*, 2020). Por esta razón, parece recomendable llevar a cabo un acercamiento a las características, fortalezas y debilidades de estas técnicas para facilitar que los investigadores en DCE puedan incorporarlas a su investigación. Es decir, debemos aprender a conectar las capacidades de estos métodos con nuestros intereses.

PRINCIPALES TÉCNICAS BIOMÉTRICAS EN DCE

Los métodos de investigación biométrica son muy diversos y están en constante crecimiento; por ello, una descripción exhaustiva resultaría abrumadora, tediosa y, probablemente, improductiva para los fines de este texto. La intención básica debe ser, por tanto, introducir al lector en las características más interesantes desde el punto de vista de la DCE y, si es el caso, facilitar el acercamiento entre su propia investigación y alguno de estos procedimientos. Como primer paso, podemos agrupar el amplio conjunto de métodos existentes en categorías según el tipo de datos que recogen:

- Métodos de medición de la actividad cerebral.
- Métodos de medición de la actividad periférica.
- Métodos de medición conductual.

Además, se pueden considerar diseños multimodales, aquellos que integran varias de estas técnicas tratando de atender varias dimensiones simultáneamente (Friedman *et al.*, 2014). Aquí vamos a centrarnos en aquellos que ya han sido utilizados en DCE, aunque también citaremos algunos que presenten un gran potencial de desarrollo para nuestros intereses de investigación.

Métodos de medición de la actividad cerebral

Estos procedimientos permiten registrar la actividad cerebral en tiempo real, algo enormemente interesante. Sin embargo, en general, son de muy difícil integración en situaciones reales de aprendizaje, resultan muy caros o sus datos son aún de muy difícil interpretación desde nuestros objetivos educativos. En cualquier caso, es necesario conocer su existencia, entender las bases fisiológicas, el funcionamiento de los dispositivos, qué datos se obtienen y cómo pueden o podrían ayudarnos en nuestra investigación.

En este grupo de métodos podemos destacar el ElectroEncefaloGramma (EEG) y la Resonancia Magnética Funcional (fMRI, del inglés *functional Magnetic Resonance Imaging*). Existen también otros métodos como la espectroscopía funcional por infrarrojo cercano (fNIRS, del inglés *functional Near-Infrared Spectroscopy*, inglés)

o la Magnetoencefalografía (MEG) que, por el momento, no han tenido presencia en DCE. Sin embargo, la MEG, una técnica que detecta campos magnéticos generados por la actividad neuronal, es un procedimiento consolidado en neurociencia cognitiva y psicología experimental que muestra interesantes aplicaciones en el estudio de la atención (Cona *et al.*, 2020) y la memoria (López-Madrona *et al.*, 2022), algo que parece muy prometedor para su aplicación a nuestro campo.

Electroencefalografía

El ElectroEncefaloGramma (EEG) registra los potenciales eléctricos mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo, captando los ritmos característicos (*alfa, beta, theta, delta...*) y los potenciales transitorios que genera el cerebro, lo que refleja procesos mentales y conductuales. Se caracteriza por su alta resolución temporal (del orden de milisegundos), lo que lo convierte en una herramienta idónea para estudiar procesos dinámicos del sistema nervioso (Lopes da Silva, 2013). Esto hace que sea una herramienta poderosa para estudiar de manera precisa y no invasiva cómo el cerebro procesa información sensorial, cognitiva y emocional en tiempo real.

En educación se ha utilizado para estudiar el proceso de lectura, el uso de materiales de aprendizaje, para observar emociones (Al-Nafjan *et al.*, 2017) o para la adquisición de habilidades motoras (Xu y Zhong, 2018). En DCE se ha aplicado en entornos educativos naturalistas y semiexperimentales, mostrando su capacidad para evaluar la atención y el compromiso cognitivo de los estudiantes durante actividades de aprendizaje en ciencias (García-Monge *et al.*, 2023; Orovas *et al.*, 2024). Además, un reciente análisis bibliométrico muestra el crecimiento de publicaciones que utilizan EEG en educación, especialmente en ciencias experimentales, identificando oportunidades de investigación en los procesos de aprendizaje y de carga cognitiva (Wijaya *et al.*, 2025). Parece que esta técnica presenta un notable potencial para evaluar cómo los estudiantes procesan los conceptos científicos; sin embargo, aún queda tarea por realizar para establecer una conexión operativa entre algunos de los datos suministrados por esta técnica y nuestros intereses.

Resonancia Magnética Nuclear Funcional

La Resonancia Magnética Nuclear funcional (fMRI, del inglés *functional Magnetic Resonance Imaging*) mide la resonancia de los núcleos de hidrógeno (H^+) para diferentes frecuencias, mayoritariamente de H^+ ligado a las moléculas de agua. Esto permite mapear los campos magnéticos ligados a los flujos sanguíneos demandados por los distintos niveles de actividad cerebral. Es decir, nos devuelve información sobre los lugares con mayor flujo de sangre, lo que está relacionado con una mayor actividad neuronal.

Sin embargo, las imágenes producidas son muy complejas. Primero, porque hay que hacer varios barridos para distintas frecuencias de resonancia y, más importante aún, porque el cerebro es un sistema muy ruidoso, presentando un altísimo nivel de actividad en todo momento. Por ejemplo, mientras el lector está ojeando estos párrafos, su cerebro estará mostrando actividad en el neocórtex para analizar lo que está leyendo, pero también, en la zona ligada a la vista que está barriendo cada línea del texto, y en la región vinculado con la musculatura para mantenerse sentado o erguido, con el oído, el tacto, el sistema propioceptivo... y, tal vez, al mismo tiempo, está activando la zona de memoria —recordando que tiene que llamar a un colega no más tarde de las cinco—, o puede que esté sintiendo hambre... Este conjunto de eventos afecta directamente al procedimiento experimental —al paradigma de intervención—, obligándonos a repetir el mismo estímulo en varias ocasiones para, luego, quedarnos con la zona que se ha iluminado reiteradamente ante el mismo estímulo y despreciando lo anecdótico o circunstancial. En resumen, además del técnico que maneja un aparato con un electroimán capaz de generar un campo magnético de varios teslas, necesitamos saber cómo generar el estímulo adecuado y, luego, cómo «limpiar» y analizar las imágenes generadas.

En DCE hay unos 25 artículos con fMRI (Wu *et al.*, 2021). Parecen pocos trabajos, pero recordemos las dificultades intrínsecas de este método. Sin embargo, sus resultados son valiosísimos e inalcanzables por otros medios. Las consecuencias más significativas son las propuestas por el grupo canadiense de Masson, Potvin, Riopel y Brault Foisy (Allaire-Duquette *et al.*, 2021; Brault Foisy *et al.*, 2015; Masson, 2014; Masson y Just, 2016; 2020; Vargas y Just, 2020). En su extenso y magnífico trabajo encontraron que, cuando se presentan situaciones de aprendizaje de física que involucraban concepciones alternativas a personas noveles y expertas, se activaban, inicialmente y al mismo tiempo, las mismas zonas del cerebro en todos. Las diferencias aparecen justo después de esta primera activación. Así, los noveles, sin más activaciones significativas, indicaban como respuesta a la pregunta una afirmación ligada a las típicas concepciones alternativas correspondientes al experimento presentado (por ejemplo, «cae antes lo que pesa más»). Los expertos, por el contrario, tras la primera activación mostraban una segunda activación en la amígdala —zona ligada a la inhibición. Este encendido de la amígdala desvanece la primera activación, inhabilita la respuesta ligada a las concepciones alternativa y habilita una tercera activación, esta vez, en el neocórtex. Esta zona es la más reflexiva del cerebro y está ligada a los pensamientos más complejos. Los tiempos de respuesta medios en noveles y expertos mostraron una diferencia significativa y coherente con este mayor tiempo de procesamiento del estímulo.

Este conjunto de experimentos parece demostrar que todos tenemos una primera respuesta ligada a las concepciones alternativas. Esta respuesta parece «imprescindible» para actuaciones rápidas en nuestro entorno natural de actuación —si, por ejemplo, un objeto se cae de la mesa y debemos cogerlo antes de impactar contra el suelo con la fuerza adecuada. Sin embargo, los expertos parecen haber aprendido a

inhibir esta primera respuesta cuando las condiciones así lo aconsejan, por ejemplo, en entornos académicos.

Esto tiene importantísimas consecuencias para el tratamiento de algunas concepciones alternativas. Ahora sabemos que están fuertemente ligadas a nuestra respuesta rápida y que se mantienen, incluso, en expertos. Para evitarlas, debemos aprender activar su inhibición, hecho que habilita un trabajo más detallado o reflexivo. Consideramos que conocer estos mecanismos neurocognitivos deben ser objeto de enseñanza en la formación de docentes para que puedan comprender cómo trabajar con concepciones alternativas; pero, la integración de estos conocimientos neurocientíficos en la enseñanza de las ciencias no es trivial (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2019).

Los métodos periféricos

Estos métodos recogen las señales de la actividad periférica de nuestros órganos. Aquí tenemos la respuesta galvánica de la piel o respuesta electrodérmica (GSR, del inglés *Galvanic Skin Response* o EDA, del inglés *Electrodermal Activity*), la frecuencia cardíaca o la oximetría. También podemos considerar los métodos que recogen nuestra respuesta perspectiva a estímulos sensoriales como luz, sonido, presión o temperatura. Del mismo modo, entre estos procedimientos podemos encontrar la electromiografía (EMG), que mide los potenciales eléctricos generados por la contracción muscular, de gran utilidad para analizar las expresiones faciales o la tensión corporal (Dang *et al.*, 2023; Trentzsch *et al.*, 2023); sin embargo, este método no está presente en la investigación en DCE, por el momento.

Todos estos procedimientos se apoyan en la detección de cambios en las señales de nuestros órganos. Estas variaciones han demostrado estar vinculadas a aspectos cognitivos, emocionales o conductuales (De Gelder, 2006; El Haj *et al.*, 2018; Tlaie *et al.*, 2025; Vaessen *et al.*, 2023). Por esta razón, la investigación educativa está proponiendo distintas situaciones para explorar estas lecturas fisiológicas y conectarlas con los procesos de aprendizaje. Sin embargo, hasta la fecha, la inmensa mayoría de los trabajos parecen centrarse exclusivamente en la correlación entre señales y emociones, escorando los aspectos cognitivos o conductuales.

Afortunadamente, existen algunos de ejemplos del uso de estas técnicas en el ámbito educativo y, específicamente, en la investigación en DCE. En estos trabajos es habitual encontrarnos con descripciones muy detalladas, tanto del diseño experimental concreto como del trabajo de análisis matemático utilizado para conectar los datos con los aspectos educativos de interés. Por ello, vamos a agregar aquí las bases fisiológicas de estos procesos para, posteriormente, imaginar cómo pueden utilizarse en nuestras investigaciones a través de casos ya realizados.

Respuesta galvánica de la piel

La respuesta galvánica de la piel (GSR, *Galvanic Skin Response*) se puede definir como un cambio en las propiedades eléctricas de la piel. En concreto, como un aumento en la conductancia eléctrica de la piel (una disminución en la resistencia), especialmente en las palmas de las manos o las plantas de los pies. Este reflejo psicogalvánico está mediado por la división simpática del sistema nervioso autónomo; es decir, es esencialmente involuntario y de reacción muy rápida; además, la GSR es un índice accesible y sensible a los cambios emocionales del sujeto (Sharma *et al.*, 2016). Esta técnica recoge una única señal —la conductividad eléctrica—, lo que facilita su tratamiento matemático; sin embargo, fuerza a un importante trabajo de interpretación de cómo estos cambios de señal están relacionados con los aspectos educativos de interés.

La GSR ha sido utilizada para detectar las emociones cuando los profesores en formación ponen en práctica sus conocimientos teóricos (Lamb y Etopio, 2020) o para evaluar el nivel de participación o *engagement* de los estudiantes en las clases de ciencias (McNeal *et al.*, 2020). También se ha utilizado para determinar la respuesta emocional a la idea de evolución (Bland y Morrison, 2015), a distintos materiales educativos (Handri *et al.*, 2010), como procedimiento para evaluar el nivel de estrés en actividades de aula (Hernández-Mustieles *et al.*, 2024) o para explorar cómo la realidad virtual inmersiva (VR) puede apoyar la comprensión de conocimientos científicos complejos (Lui *et al.*, 2020). En general, la GSR es útil para detectar emociones en entornos de aprendizaje, aunque requiere un enfoque multimodal y contextualizado (Horvers *et al.*, 2021).

Frecuencia cardíaca

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV, del inglés *Heart Rate Variability*) es un fenómeno fisiológico relacionado con la duración entre dos pulsaciones o latidos cardíacos. Como es por todos conocido, esta respuesta orgánica tiene aplicaciones en medicina, para diagnosticar patologías; en psicología, para analizar las emociones (Hackl-Wimmer, 2025; Renna *et al.*, 2025); en el deporte; o en neurociencia (Thayer *et al.*, 2012). De forma más refinada puede medirse con dispositivos como el ECG o con pulsómetros avanzados —conectados o *wearables*— como los relojes inteligentes, las bandas deportivas, etc.

La variación de la frecuencia cardíaca ha mostrado una altísima correlación con el estado emocional; sin embargo, hay relativamente pocos ejemplos en nuestra área. Podemos encontrar algunos análisis de la frecuencia cardíaca en educación (Sinatra *et al.*, 2014) y menos en aprendizaje de las ciencias (Minkley *et al.*, 2017) o en relación con el profesorado de ciencias (Tobin *et al.*, 2016). Esto es debido a que para conseguir buenas señales necesitamos utilizar un electrocardiograma, pero

su uso en el aula resulta poco realista. Por esta razón, es más frecuente su uso en condiciones experimentales como las habituales en la investigación en psicología (Jung *et al.*, 2025). Según se vaya desarrollando la tecnología llegaremos a poder recoger señales cada vez más complejas con dispositivos cada vez menos invasivos (Kim *et al.*, 2024).

Oximetría

El oxímetro de pulso es un dispositivo que mide la concentración (o saturación) de oxígeno, la frecuencia y el ritmo cardíaco de una persona. Este dispositivo proviene del campo de la medicina y la aeronáutica, donde se ha desarrollado para monitorizar las respuestas fisiológicas según la disponibilidad de oxígeno (intrínseca o extrínseca). Pero, su uso puede extenderse a situaciones donde las respuestas fisiológicas reflejan fluctuaciones mediadas por las emociones, dado que estas inciden en la demanda de oxígeno. Un ejemplo es el trabajo de Calderón (2016) que utilizó oxímetros como herramienta reflexiva —para hacer conscientes a los participantes— de las emociones propias y ajenas surgidas al discutir sobre temas sensibles y controvertidos en el aula de ciencias en el Brooklyn College de la Universidad de la Ciudad de Nueva York.

Análisis de la percepción

Los sistemas de recogida de la sensación y la percepción de los seres vivos constituyen uno de los mecanismos más fundamentales de los organismos. Estos sistemas se encargan de la recogida y primeros procesados de los datos del entorno, constituyendo la base para establecer las respuestas de supervivencia al entorno. Sin embargo, al menos en los humanos, su función trasciende lo meramente fisiológico para adentrarse en los procesos cognitivos complejos. Esto es así, dado que el modo de recoger los datos del entorno conlleva el modo de interpretar e interactuar con el medio. Por esta razón, conocer cómo somos —como fisiológicamente somos— es conocer cómo pensamos (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2018).

Como ejemplo de cómo abordar desde la DCE estas cuestiones vamos a considerar aquí el sistema termosensitivo. El descubrimiento de los canales de receptores de potencial transitorio (TRP, *Transient Receptor Potential*) reveló cómo unas proteínas espiralizadas y embebidas en la membrana citoplasmática eran sensibles a la temperatura. En concreto, cuando se dan las condiciones de temperatura específicas, se abre un canal que permite el paso de iones; esto genera una diferencia en la concentración de Ca^{++} , lo que produce una diferencia de potencial eléctrico que determina una señal que llega al cerebro.

Lo interesante desde el punto de la DCE es que la organización del sistema *termosensitivo* muestra una notable segregación funcional (Ezquerro-Romano y Ez-

querra, 2017). Es decir, se establecen rangos diferenciados para frío inocuo (17-30°C) y calor inocuo (36-43°C), con una zona neutra —sin señal— que corresponde a la temperatura corporal (Patapoutian *et al.*, 2003). Esta segregación de los registros del entorno —para las señales de temperaturas bajas y altas— se mantiene hasta el cerebro, donde alcanza lugares distintos. De este modo, nuestro organismo genera respuestas orgánicas diferentes —sudar o tiritar— pero, también, crea una imagen de dos conceptos distintos, el de «frío» y el de «calor».

Desde una perspectiva educativa, resulta fascinante que el concepto de «frío» —carente de realidad física— si disponga de un sustrato fisiológico. Es decir, nosotros tenemos un conjunto de nervios aferentes destinados específicamente para detectar las temperaturas inferiores a la corporal. Esto implica la existencia de una realidad perceptiva. Esta discrepancia entre realidad perceptiva y realidad física ha llevado a sugerir precisamente que nuestros mecanismos sensoriales y sus características son los que moldean algunas concepciones alternativas universales (Driver, 1985), por ejemplo, sobre temperatura (Ezquerra y Ezquerra-Romano, 2018).

Para estudiar este fenómeno se desarrolló un instrumento de medida novedoso, el *Termosensímetro*. Este dispositivo traslada métodos psicofísicos al contexto educativo; en concreto, busca relacionar datos biométricos de percepción térmica con la comprensión de los conceptos de temperatura, «frío» y «calor» (Campillos y Ezquerra, 2022). Es decir, permite evaluar desde las sensaciones hasta los niveles interpretativos, donde intervienen factores como el nivel de estudios o el conocimiento experiencial. Así, se pudieron identificar patrones y diferencias sobre cómo diferentes individuos categorizan y estiman los estímulos térmicos (Campillos y Ezquerra, 2022, 2024). La integración de múltiples elementos permitió explorar relaciones complejas entre variables como el tiempo de reacción, la estimación, el nivel de confianza subjetiva y la respuesta fisiológica. Además, al cuantificar la confianza que los sujetos asignan a sus percepciones, fuimos capaces de evaluar su metacognición, revelando discrepancias entre sensación objetiva y certeza subjetiva que pueden tener implicaciones tanto psicológicas como educativas.

La medición cuantitativa y sistemática de la percepción térmica —y de cualquier otra magnitud física a la que seamos sensibles, como la luminosidad, la intensidad sonora o la presión— abre nuevas posibilidades de investigación al establecer vínculos empíricos entre neurofisiología, percepción y aprendizaje. Más allá del registro de umbrales sensoriales o de aspectos psicofísicos, estas mediciones se convierten en una ventana privilegiada hacia los procesos cognitivos que sustentan nuestra comprensión del mundo natural. En el ámbito educativo, esta perspectiva permite diseñar estrategias didácticas basadas en evidencia, incorporando experiencias sensoriales que hagan explícitas las limitaciones y particularidades de nuestros sistemas perceptivos (Campillos, 2024; Ezquerra y Ezquerra-Romano, 2019), favoreciendo una comprensión más integrada de cómo los mecanismos neurofisiológicos condicionan la construcción del conocimiento científico.

Los métodos conductuales

Estos métodos miden las acciones llevadas a cabo por los individuos ante un estímulo. Aquí tenemos, por ejemplo, la ubicación de la mirada (*eye-tracking*, en inglés), el reconocimiento facial de expresiones (FER, del inglés *Facial Expression Recognition*) o el reconocimiento de emociones sobre la voz (SER, del inglés *Speech Emotion Recognition*).

Seguimiento ocular

El seguimiento ocular o *eye-tracking* es un sistema que recoge y almacena la ubicación de la mirada; es decir, nos informa de dónde, cuándo y durante cuánto tiempo se ha situado la mirada de un sujeto, así como los patrones de transición; en este sentido, la información sobre el procesamiento visual —ligado a lo cognitivo— proporciona un modo de evaluar qué miramos para aprender (Hou *et al.*, 2025; Tóthová y Rusek, 2025). Dicho de una manera perceptiva, este método nos permite ver a través de los ojos del participante (Tóthová y Rusek, 2021), en nuestro caso, profesor o estudiante.

Respecto al profesorado, hay trabajos que analizan el comportamiento ocular de la mirada de los docentes —no específicamente de ciencias— en distintas situaciones (Keskin *et al.*, 2023). Estos datos indican que el profesorado con experiencia fija la mirada más en el alumnado, mientras el profesorado sin experiencia se centra más en el material didáctico y otros objetos. Además, los experimentados distribuyen su mirada de forma más uniforme que los noveles. Parece que los docentes experimentados quieren —y pueden— centrarse más en la supervisión de su alumnado que en otras cuestiones. Obviamente, esta información es muy interesante para los formadores de docentes cuando están supervisando las prácticas de aula de sus tutorandos en formación.

La tecnología de seguimiento ocular se ha consolidado como una herramienta poderosa en la investigación de la enseñanza de las ciencias (Devetak y Glažar, 2021; Jarodzka *et al.*, 2021), sobre todo en Europa. Así, no encontramos con trabajos sobre el procesamiento de representaciones científicas, por ejemplo, la tabla periódica (Tóthová *et al.*, 2021), los hábitos de lectura sobre materiales didácticos (Tóthová y Rusek, 2021), las tareas de resolución de problemas (Susac *et al.*, 2019), las situaciones experimentales (Susac *et al.*, 2020) y los entornos de aprendizaje basados en vídeo (Akaygun y Adadan, 2021).

Los hallazgos más destacados indican patrones de procesamiento visual diferentes en función de la experiencia del estudiante, sus conocimientos previos y sus habilidades espaciales (Tóthová y Rusek, 2025). En este sentido, los resultados también muestran cómo las intervenciones didácticas mejoran significativamente la comprensión y el desempeño de los estudiantes. Estos resultados abren el camino a innovaciones en

el aprendizaje de las ciencias basados en evidencias. Sin embargo, existen algunas limitaciones como cierta dispersión metodológica, muestras relativamente pequeñas y factores poco explorados, como las respuestas emocionales y la autorregulación.

Existen otras aproximaciones para el análisis de la actividad de los ojos, como son el parpadeo y la dilatación pupilar. El parpadeo se relaciona con la fatiga, la atención y el procesamiento de información; la dilatación pupilar es un indicador de carga cognitiva y respuesta emocional, datos que se consideran biomarcadores robustos de atención y esfuerzo cognitivo, entre otros aspectos (Demiral y Volkow, 2024). Sin embargo, en la actualidad estos procedimientos están ausentes de la investigación en DCE.

Reconocimiento facial de expresiones

La técnica de reconocimiento facial de expresiones (FER, del inglés *Facial Expression Recognition*) permite medir las distancias de los puntos relevantes de la cara y determinar las distintas configuraciones expresivas de los sujetos al realizar una tarea. Hasta ahora la investigación han encontrado fuertes correlaciones entre sentir determinadas emociones y las expresiones faciales mostradas; así como entre las expresiones de los sujetos y los estados que reportan (de Gelder, 2006; Vaessen *et al.*, 2023). Es decir, tenemos un procedimiento para estudiar la relación entre las expresiones faciales —o corporales— y los procesos emocionales; aunque se están realizando importantes avances para vincular también las expresiones y los procesos cognitivos (El Haj *et al.*, 2018; Tlaie *et al.*, 2025). Estas herramientas presentan un potencial enorme de aplicación en la investigación educativa (Ezquerro *et al.*, 2022; 2023; 2024; Liaw *et al.*, 2021).

El conjunto de trabajos de Ekman y colaboradores (Ekman *et al.*, 1969; Ekman y Friesen, 1971, 1976) permitió desarrollar un sistema para la medición de las expresiones mediante la parametrización de puntos de interés en el rostro —Facial Action Coding System (FACS)—. Este procedimiento descompone las expresiones en Unidades de Acción (AU), cada una correspondiente al movimiento de un músculo o grupo de músculos faciales específicos e independiente de otras acciones. También se consideran movimientos de la cabeza, como inclinación, balanceo y rotación.

Las emociones se identifican a partir de las combinaciones de varias AU. Por ejemplo, la sorpresa se asocia con AU1, que implica elevar la parte interna de las cejas (*Inner Brow Raiser*), AU2 (*Outer Brow Raiser*) y AU5 (*Upper Lid Raiser*) que, en ocasiones se acompaña de AU25 y AU26, AU4 (*Brow Lowerer*), AU7 (*Nose Wrinkler*), AU17 (*Chin Raiser*) y AU18 (*Lip Pucker*) (Barrett, 2019; Matsumoto *et al.*, 2008).

La evaluación de las AU se ha realizado tradicionalmente *a mano* mediante la medición sobre fotografías o fotogramas de vídeo. El desarrollo de herramientas digitales con mayor resolución y procesadores con mayor capacidad de cálculo ha

permitido que la medición píxel a píxel se pueda realizar de manera automática mediante algoritmos de inteligencia artificial entrenados con bases de datos previas validadas. Son muchos los ejemplos (iMotions, Noldus FaceReader, Affectiva Affdex, Viso Suite, MoodMe, MorphCast, Face+, Microsoft Azure Face API) aunque es previsible que vayan apareciendo más en los próximos años.

Estos sistemas generan diversos datos como el número y porcentaje de fotogramas válidos, el valor de cada UA y de cada expresión en cada fotograma, etc. Como ejemplo ilustrativo, una grabación de tan solo 10 minutos genera 24.213 filas de datos correspondientes a los fotogramas capturados cada 30 milisegundos, donde cada fila tiene 97 columnas. El resultado implica aproximadamente 2,350,000 datos totales, ocupando aproximadamente 15 MB de archivo en formato CSV. Toda esta complejidad necesita del desarrollo de códigos en Python para su tratamiento informático (Campillos *et al.*, 2025; 2025; Ezquerro *et al.*, 2023; 2024).

Una cuestión fundamental para el análisis de esta cantidad de datos es concretar el objetivo de investigación didáctica. Así, es conveniente considerar que las expresiones faciales tienen duraciones típicas entre 0.5 y 4 segundos (Adegun y Vadapalli, 2020; Ekman, 2003), mientras las acciones llevadas a cabo en actividades educativas pueden variar entre los 10 y los 100 segundos (Lämsä *et al.*, 2018). Por esto es conveniente centrar nuestra atención en la respuesta puntual a estímulos concretos (Ezquerro *et al.*, 2024) o en procesos extendidos en el tiempo, donde se analiza la dinámica de los flujos de atención en una actividad (Ezquerro *et al.*, 2022; 2023).

La técnica FER se ha utilizado en estudios sobre actividades de indagación, debates científicos escolares y actividades que generan una ruptura cognitiva. En las actividades de indagación (Ezquerro *et al.*, 2022, 2023) se observaron emociones como implicación, atención, sorpresa y alegría, y se identificaron tres fases que parecen corresponderse con las etapas propias del proceso de indagación. Estos hallazgos ayudan a los docentes a decidir cuándo aplicar estrategias de andamiaje durante la indagación y a que los estudiantes puedan reconocer sus propias emociones a lo largo de las fases de la actividad.

En los debates científicos escolares (Campillos *et al.*, 2025) se detectó la presencia de miedo durante la participación activa, así como tres tipos de intervenciones: centradas en el contenido, en el interlocutor y en la audiencia. El conocimiento de los tipos de intervenciones en los debates científicos permite al profesorado dirigir los debates hacia la construcción colaborativa del aprendizaje. De forma complementaria, las expresiones emocionales son evidencias de la disposición del alumnado ante los argumentos expuestos y pueden servir para ajustar en tiempo real las estrategias de andamiaje.

En cuanto a las actividades que provocaron una ruptura cognitiva (Ezquerro *et al.*, 2024), se identificaron tres patrones emocionales característicos: (1) solo sorpresa, (2) solo enfado y (3) una combinación de ambos. Además, se constató que las emociones experimentadas durante la observación del fenómeno eran reproducidas por los estudiantes al explicar el fenómeno pocos minutos después. Esto tiene

implicaciones educativas relevantes, sugiere que, al explicar un fenómeno natural, transmitimos no solo los hechos, sino también las emociones asociadas a nuestra propia experiencia. Estas emociones parecen subrayar en la explicación el o los elementos que a cada uno le resultan más relevantes. En conjunto, estos hallazgos sugieren la existencia de vínculos significativos entre las emociones y los procesos cognitivos, y subrayan la necesidad de profundizar en el análisis de los mecanismos que sustentan dichas relaciones.

Reconocimiento de emociones sobre la voz

El reconocimiento de emociones en la voz se ocupa de identificar la carga afectiva a partir de las señales del habla (Kaushik *et al.*, 2024). El primer trabajo en el área fue desarrollado por Dellaert (1996) y consistió en explorar diversas técnicas de reconocimiento de patrones para clasificar enunciados según su contenido emocional. El estudio piloto se realizó en un corpus de 1000 enunciados de diferentes hablantes.

En el área de educación, hay algunos trabajos relevantes que usan esta técnica. Kerkeni *et al.* (2017) desarrollaron un sistema de reconocimiento de emociones en la voz capaz de analizar la interacción en el aula y, por tanto, ayudar al profesor a orquestar la clase.

Otro estudio (Santana-Monagas *et al.*, 2025) comprobó que el tono emocional de la voz del profesorado influye de manera significativa en la respuesta del estudiantado. Estos resultados ofrecen orientaciones útiles para que el profesorado pueda ajustar su tono de voz con el fin de potenciar la motivación del alumnado o favorecer una mejora en su rendimiento académico.

Hasta donde conocemos, el reconocimiento de emociones en la voz no se ha aplicado en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, lo que evidencia un vacío en la literatura y señala una clara oportunidad para futuras investigaciones.

A MODO DE REFLEXIÓN FINAL

Como acabamos de ver, los métodos biométricos conforman un amplio y muy diverso conjunto de dispositivos, procedimientos y técnicas. Es complicado hacer una reflexión común a todos, pero vamos a intentar agrupar algunas consideraciones generales.

Los métodos biométricos son muy especializados y, frecuentemente, desarrollados para aplicarlos en otras áreas de conocimiento. Este hecho es una dificultad, pero también un estímulo. Tenemos un extenso camino por recorrer para adaptarlos a nuestros intereses. De modo sintético, los investigadores en DCE debemos realizar un trabajo de acercamiento a las características de estos procedimientos experimentales, al manejo de los dispositivos empleados, al tipo de datos que suministran

y al modo de tratarlos, al alcance y los límites de trabajo de los dispositivos, o al nivel de intrusión en los participantes; lo que deriva en nuevas implicaciones éticas derivadas de estos procedimientos.

Afortunadamente, esta exigencia de conocimiento técnico fuerza también a una reflexión sobre qué nuevos datos podemos recoger, cómo manejarlos y, sobre todo, cómo conectarlos con nuestros intereses. En definitiva, nos permite —y nos obliga— a replantearnos las preguntas. Es más, nos obliga a reconsiderar el modo en que nos hacemos las preguntas; a rediseñar nuestros enfoques experimentales y las actividades investigables. En definitiva, nos permite y nos obliga a adentrarnos en zonas que antes eran inalcanzables.

Es decir, debemos conocer las características del método para adecuar nuestra pregunta de investigación a lo que realmente se puede medir o, alternativamente, elegir el mejor método para nuestro interés investigador. Pero, al mismo tiempo, los nuevos procedimientos nos permiten nuevas preguntas... estas nuevas interdependencias pueden analizarse en la Figura 28.1.

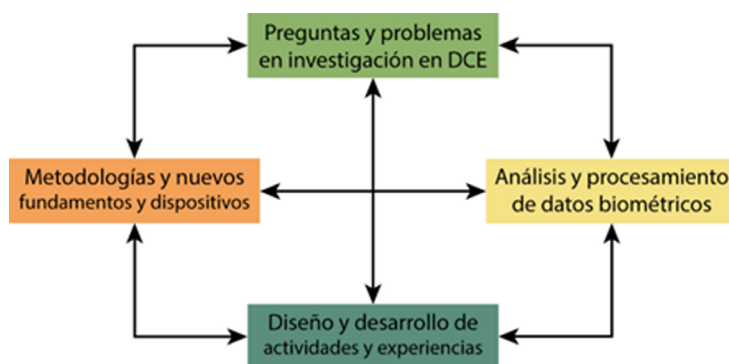


Figura 28.1. Oportunidades de los métodos biométricos en DCE

Respecto a los dispositivos, debemos ser conscientes de que algunos son muy costosos y, por tanto, no pueden utilizarse a grandes cantidades de alumnos —como el fMRI o el EEG—. En general, tampoco pueden implementarse en condiciones reales de aula, al menos, de momento. Sin embargo, ofrecen resultados sobre el funcionamiento de nuestro sistema nervioso central cuando estamos aprendiendo. Es decir, para estos casos, nuestros diseños deberían considerar condiciones experimentales muy controladas.

Otros como HRV —si contamos con sistemas de medición personal— pueden implementarse en el aula, pero pueden suponer un trabajo matemático posterior muy complejo. En cualquier caso, el diseño experimental —cuando utilizamos un dispositivo— estará fuertemente condicionado por las capacidades y características de este. Así, si queremos analizar la respuesta emocional a un estímulo puntual

podremos usar métodos de respuesta rápida como el GRS o el FER. Sin embargo, cuando nuestro interés está en, por ejemplo, la atención, deberemos considerar ventanas de análisis más reposadas —de varios segundos—, así podremos considerar otros métodos como la oximetría o HRV, por ejemplo.

Por otra parte, resulta interesante reflexionar sobre los datos ofrecidos por los métodos biométricos. En general, estos son medidas de magnitudes concretas cuyos valores suelen venir en forma de secuencias temporales con una resolución en el orden del segundo o menos. Algunas técnicas recogen una única señal —la conductividad eléctrica o la concentración de oxígeno, por ejemplo—, lo cual facilita su tratamiento matemático; sin embargo, fuerza a un importante trabajo de interpretación de cómo los cambios de señal están relacionados con los aspectos educativos de interés.

Otras técnicas, con señales más complejas, conformadas por varias variables —como FER o fMRI—, implican un tratamiento matemático más heterogéneo —como el análisis de Fourier—, pero facilitan la relación de cada elemento de las señales con cuestiones educativas. También es importante considerar que las señales suelen venir envueltas en ruido. Para amortiguar estas fluctuaciones circunstanciales se puede utilizar la media móvil —o bien otras técnicas matemáticas de tratamiento del ruido— en función de nuestro objetivo de estudio.

En resumen, como en otras áreas de ciencias, resulta imprescindible establecer colaboraciones entre expertos de distintas disciplinas y conformar los cauces adecuados para delimitar las posibilidades de cada área de conocimiento. Resulta importante recordar que esta tarea debe estar gobernada por nuestras preguntas de investigación. Creemos que cuando avance y se entienda esta forma de investigar se irán generando grupos de trabajo mucho mayores, como suele ocurrir en las ciencias básicas.

Ligado a todo lo anterior, están las cuestiones éticas. Naturalmente, hay que considerar el consentimiento y la custodia anonimizada de los datos, como siempre se ha hecho. Pero aquí, además, surgen nuevas cuestiones ligadas al nivel de intrusión de algunos de estos métodos. Por ejemplo, el fMRI implica someterse a una prueba larga en el tiempo e incómoda. Otros suponen la grabación en vídeo o la consideración de enfermedades cardíacas para establecer el nivel basal del sujeto... Por otra parte, la monitorización de las emociones sentidas en tiempo real en una prueba implica desvelar unos niveles de conocimiento sobre nuestras respuestas que, en muchos casos, no son accesibles conscientemente. Es decir, tenemos nuevas preguntas éticas derivadas de nuestras nuevas capacidades de observación. Esto no es bueno o malo, es solo un nuevo elemento a considerar.

En nuestra opinión, se está abriendo un nuevo paradigma en la investigación educativa y, parece que, nosotros —los investigadores en DCE—, somos los encargados de liderar este cambio. En sentido riguroso, los compañeros de psicología cognitiva o psicobiología también están en esta situación. La razón que explicaría la prevalencia de estas áreas de la educación frente a otras es la concurrencia en

nuestra formación de bases científicas y didácticas-educativas en las proporciones adecuadas.

Siguiendo el modelo de revoluciones científicas propuesto por el físico, historiador y filósofo Thomas S. Khun, y revisando lo que sucedió con muchas otras áreas de conocimiento parece que primero nos acercamos a los hechos observacionalmente, trazamos modelos explicativos, debatimos, volvemos a observar... pero, en algún momento, como sucedió con, por ejemplo, la Física o la Medicina, pasamos a tomar datos de un modo más sofisticado. Esto implica apoyarnos en métodos, magnitudes y unidades más cercanas al fenómeno estudiado; es decir, con mejor capacidad para describir con precisión los hechos. Es evidente que esto no implica —no lo ha hecho en otras áreas— el abandono de la observación y de la reflexión. Solo estamos agregando más capacidad y más medios a nuestra insaciable curiosidad por conocer.

BIBLIOGRAFÍA

- AACyU (s. f.). *Critical Thinking VALUE Rubric*. <https://www.aacu.org/value/rubrics/critical-thinking>
- Abell, S. K., y Lederman, N. G. (Eds.) (2007). *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22(9), 2087-2107. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- Abd-El-Khalick, F., y Lederman, N. G. (2023). Research on teaching, learning, and assessment of nature of science. En N. G. Lederman *et al.* (Eds.), *Handbook of research on science education. Volume III* (pp. 850-898). Routledge.
- Abd-El-Khalick, F., Waters, M., y Le, A. P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835-855. <https://doi.org/10.1002/tea.20226>
- Abdüsselam, Z., y Erten, S. (2022). Investigation of the effect of augmented and virtual reality applications in e-learning on students' use of microscopes. *Cumhuriyet Uluslararası Eğitim Dergisi*, 11(1), 75-87. <https://doi.org/10.30703/cije.915897>
- Abraham, M., Renner, J. W., Grant, R., y Westbrook, S. L. (1982). Priorities for Research in Science Education: A survey. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(8), 697-704.
- Acero Salazar, P., Mateo González, E., y Lucha López, P. (2013). Rocas bajo el microscopio: acercamiento al estudio en lámina delgada de minerales y rocas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 438-444. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2851>
- Acevedo-Díaz, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4238>
- Acevedo-Díaz, J. A. (1997). Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Un enfoque innovador para la Enseñanza de las Ciencias. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 10, 269-275.
- Acevedo-Díaz, J. A. (2006). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 370-391. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.03
- Acevedo-Díaz, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i2.02

- Acevedo-Díaz, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.04
- Acevedo-Díaz, J. A. (2010). Formación del profesorado de ciencias y enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 653-660. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i3.04
- Acevedo-Díaz, J. A., y García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.02
- Acevedo-Díaz, J. A., y García-Carmona, A. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. Los Libros de la Catarata.
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., y Aragón, M. M. (2017). Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química*, 28(3), 140-146. <http://doi.org/10.1016/j.eq.2016.12.003>
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., y Aragón, M. M. (2017). *Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia*. Organización de Estados Iberoamericanos.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez, A., Acevedo, P., y Manassero, M. A. (2005). Evaluación de creencias sobre ciencia, tecnología y sus relaciones mutuas. *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 2(6), 73-99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92420603>
- Acheampong, R., Woolfe, J., y Levy, L. (2003). Encouraging consumption of fruit and vegetables by young people through school-based interventions. *Journal of Biological Education*, 37(3), 122-125. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655866>
- Achurra, A., Berreteaga, A., y Zamalloa, T. (2022). La desnaturalización de las Ciencias de la Tierra en el currículo LOMCE de Educación Primaria: un análisis curricular desde la perspectiva de la práctica científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1), 1303. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1303
- Adegun, I. P., y Vadapalli, H. B. (2020). Facial microexpression recognition: A machine learning approach. *Scientific African*, 8, e00465. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00465>
- Adelantado-Renau, M., y Eugenio-Gozalbo, M. (2026). Promoting healthy and sustainable diets in pre-service teachers: assessment of a teaching-learning sequence contextualized at the university garden. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 18(3), 935-950. <https://doi.org/10.1108/JARHE-04-2024-0178>
- Adiyono, A., Fitri, A. Z., y Al Matari, A. S. (2024). Uniting science and faith: A Re-STEAM interdisciplinary approach in Islamic education learning. *International Journal of Social Learning (IJSL)*, 4(3), 332-355. <https://doi.org/10.47134/ijsl.v4i3.281>
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la Enseñanza de las Ciencias naturales*. Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A., e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la Didáctica de las Ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140.

- Adúriz-Bravo, A., e Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la Enseñanza de las Ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40–49.
- Agen, F. y Ezquerro, A. (2021). Análisis de las emociones en el trabajo de indagación "la caja negra". *Investigación en la Escuela*, 103, 125-138. <https://doi.org/10.12795/IE.2021.i103.09>
- Aguayo, F. (2001). *Didáctica de la tecnología: fundamentos del diseño y desarrollo del currículum tecnológico*. Tébar
- Aguilera, D. (2018). La salida de campo como recurso didáctico para enseñar ciencias. Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 15(3), 3103. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3103
- Aguilera, D. (2019). ¿Qué evidencias existen sobre la influencia de la educación STEM en las actitudes del alumnado? Una revisión sistemática. En J. A. Marín-Marín *et al.* (Coords.) *Inclusión, Tecnología y Sociedad: investigación e innovación en educación* (pp. 2020-2034). Dykinson.
- Aguilera, D. (2022). Oportunidades para la educación STEM en la LOMLOE. En *30 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales: la Enseñanza de las Ciencias en un entorno intercultural* (pp. 415-421). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=928378>
- Aguilera, D., Lupiáñez, J. L., Perales-Palacios, F. J., y Vílchez-González, J. M. (2024). IDEARR Model for STEM Education—A Framework Proposal. *Education Sciences*, 14, 638. <https://doi.org/10.3390/educsci14060638>
- Aguilera, D., Martín Páez, T., Valdivia Rodríguez, V., Ruiz Delgado, Á., Williams Pinto, L., Vílchez González, J. M., y Perales Palacios, F. J. (2018). La Enseñanza de las Ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 259–284. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Aguilera, D., y Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM Education and Student Creativity: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 11, 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Aguilera, D., y Perales-Palacios, F. J. (2020). What effects do didactic interventions have on students' attitudes towards science? A meta-analysis. *Research in Science Education*, 50, 573–597. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9702-2>
- Aguilera, D., y Perales-Palacios, F. J. (2020). Learning biology and geology through a participative teaching approach: the effect on student attitudes towards science and academic performance. *Journal of Biology Education*, 54, 245–261. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1569084>
- Aguilera, D., y Perales-Palacios, F. J. (2020). Modelling the relationship between attitude towards science and learning styles in Secondary Education. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 37–53. <https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2852>
- Aguilera, D., y Perales, F. J. (2022). Ciencia-Tecnología-Sociedad versus STEM: ¿Evolución, revolución o disyunción? *Ápice*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Aguilera, D., y Vílchez-González, J. M. (2024). Desafíos con sentido (y con ciencia) para la consolidación de la educación STEM. *Boletín de la AIA-CTS*, 21, 33-41. https://www.researchgate.net/publication/389880241_Desafios_con_sentido_y_con_ciencia_para_la_consolidacion_de_la_educacion_STEM

- Aguilera, D., y Vílchez-González, J. M. (2024). ¿De qué hablamos cuando hablamos de educación STEAM? Una revisión de experiencias educativas. *Revista Fuentes*, 26(2), 211–224. <https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2024.15412>
- Aguilera Morales, D., Vílchez-González, J. M., Carrillo-Rosúa, F. J., y Perales-Palacios, F. J. (2021). Tendencias investigadoras en Enseñanza de las Ciencias en revistas españolas 2014-2018. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 45–62. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3180>
- Aiken, R. L., y Aiken, D. R. (1969). Recent research on attitudes concerning science. *Science Education*, 53, 295-305.
- Aikenhead, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69(4), 453-475. <https://doi.org/10.1002/sce.3730690403>
- Aikenhead, G. S., y Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: “Views on science-technology-society” (VOSTS). *Science Education*, 76(5), 477-491. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760503>
- Ajzen, I., y Fishbein, M. (2005). The influence of attitudes on behavior. En D. Albarracín et al. (Eds.), *The handbook of attitudes* (pp. 173–221). Lawrence Erlbaum.
- Akaygun, S., y Adadan, E. (2021). Investigating the Role of Conceptual Understanding on How Students Watch an Experimental Video Using Eye-Tracking. En *Applying Bio-Measurements Methodologies in Science Education Research* (pp. 93-106). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71535-9_5
- Akerson, V. L., y Bartels, S. L. (2023). Elementary education. Toward the goal of scientific literacy. En N. G. Lederman et al. (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. III, pp. 528-558). Routledge.
- Akerson, V. L., y Buck, G. A. (Eds.). (2020). *Critical questions in STEM education* (Vol. 51). Springer Nature.
- Akerson, V. L., Burgess, A., Gerber, A., Guo, M., Khan, T. A., y Newman, S. (2018). Disentangling the meaning of STEM: Implications for science education and science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 29(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2018.1435063>
- Al Farsi, G., Yusof, A. B. M., Fauzi, W. J. B., Rusli, M. E. B., Malik, S. I., Tawafak, R. M., y Jabbar, J. (2021). The practicality of virtual reality applications in education: Limitations and recommendations. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 48(7).
- Alcántara, J., y Medina, S. (2019). El uso de los itinerarios didácticos (SIG) en la educación ambiental. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 173–188. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2258>
- Alcibar, M. (2015). Comunicación pública de la ciencia y la tecnología: una aproximación crítica a su historia conceptual. *Arbor*, 191(773), a242. <https://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.773n3012>
- Alcudia, M., y Palos, L. (2006). Estrategia de iniciación del balanceo de ecuaciones químicas para un aprendizaje significativo. *Revista Chilena de Educación Científica*, 5(1), 29-34.
- Alda Bueno, F. L., Fuentes Silveira, M. J., y Serramito Calo, M. (2024). Situaciones de aprendizaje en Biología y Geología. *Alambique*, 116, 8-14.
- Aliberas, J., Gutierrez, R., e Izquierdo, M. (1989). La didáctica de las ciencias: una empresa nacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 277-284.
- Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1), 63–71.

- Alkaher, I., Goldman, D., y Aram, I. (2024). An environmental and sustainability education center in Israel as a “street-level policy entrepreneur” for promoting teachers as change agents for sustainability. *Environmental Education Research*, 30(10), 1684-1709. <https://doi.org/10.1080/13504622.2024.2335612>
- Allaire-Duquette, G., Brault Foisy, L. M., Potvin, P., Riopel, M., Larose, M., y Masson, S. (2021). An fMRI study of scientists with a Ph. D. in physics confronted with naive ideas in science. *NPJ Science of Learning*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00091-x>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 918-942. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allen, D., y Tanner, K. (2003). Approaches to cell biology teaching: learning content in context—problem-based learning. *Cell Biology Education*, 2(2), 73-81. <https://doi.org/10.1187/cbe.03-04-0019>
- Allen, L. B., y Crowley, K. (2017). From acquisition to inquiry: supporting informal educators through iterative implementation of practice. En P. Patrick (Eds.), *Preparing Informal Science Educators* (pp. 87-104). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50398-1_5
- Allen, S. (2004). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education*, 88(Suppl. 1), S17–S33. <https://doi.org/10.1002/sce.20016>
- Allport, G. W. (1935). Attitudes. En C. Murchison (Ed.) *A handbook of social psychology* (pp. 798-844). Clark University Press.
- Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education*, 54, 977–997.
- Al-Nafjan, A., Hosny, M., Al-Ohali, Y., y Al-Wabil, A. (2017). Review and classification of emotion recognition based on EEG brain-computer interface system research: a systematic review. *Applied Sciences*, 7(12), 1239. <https://doi.org/10.3390/app7121239>
- Alonzo, A. C., Berry, A., y Nilsson, P. (2019). Unpacking the complexity of science teachers’ pedagogical content knowledge. En A. Hume *et al.* (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers’ knowledge for teaching science* (pp. 271–288). Australia Springer.
- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture* (2nd Ed.). Westview Press.
- American Association for the Advancement of Science [AAAS] (1990). *Science for all Americans. Project 2061*. Oxford University Press.
- American Geophysical Union (1997). *Shaping the future of Undergraduate Earth Science Education, Innovation and Change Using an Earth System Approach*. AGU Washington.
- Amin, T. G., Smith, C. L., y Wiser, M. (2014). Student Conceptions and Conceptual Change: Three Overlapping Phases of Research. En *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267>
- Anglada, L., y Abadal, E. (2018). ¿Qué es la Ciencia Abierta? *Anuario ThinkEPI*, 12, 292-298. <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2018.43>
- Angosto Sánchez, I., y Morcillo Ortega, J. G. (2022). Teaching vegetable nutrition: from the problem to the proposal. *Journal of Biological Education*, 56(4), 417–431. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1808514>

- Anta, C. (2008). Análisis bibliométrico de la investigación educativa divulgada en publicaciones periódicas españolas entre 1990-2002. *REDIE*, 10(1), 1-10.
- Arabit-García, J., García-Tudela, P. A., y Prendes-Espinosa, M. P. (2021). Uso de tecnologías avanzadas para la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(1), 173-194. <https://doi.org/10.35362/rie8714591>
- Aragón, L., y Vicente, J. J. (2024). Abordar la Historia y la Naturaleza de la Ciencia en la Formación Inicial del Profesorado mediante una Secuencia Didáctica basada en un Juego de Cartas. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-20. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-418>
- Aragón-Méndez, M. M., y Oliva, J. M. (2020). Relación entre la competencia de pensamiento analógico y la competencia de modelización en torno al cambio químico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(1), 83-100. <http://doi.org/10.14483/23464712.14441>
- Aramendi, P., Bujan, K., y Arburua, R. (2015). La educación para la salud en los programas de iniciación profesional. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 67(2), 27-44. <https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/Bordon.2015.67203>
- Araujo Guerrero, I. I., Paladinez Saca, D. S., Reyes Narvaez, J. W., Maza Robles, J. R., Ochoa Hermidas, G. E., y Naranjo Aguilar, M. A. (2024). Aprendizaje Basado en Proyectos: Efectos en el Pensamiento Crítico y las Habilidades Colaborativas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 4744-4762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12695
- Archer, L., Dawson, E., DeWitt, J., Seakins, A., y Wong, B. (2015). "Science capital": A conceptual, methodological, and empirical argument for extending Bourdieusian notions of capital beyond the arts. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 922-948. <https://doi.org/10.1002/tea.21227>
- Archer, L., Dewitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., y Wong, B. (2010). "Doing" science versus "being" a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren's constructions of science through the lens of identity. *Science Education*, 94(4), 617-639. <https://doi.org/10.1002/SCE.20399>
- Ardoín, N. M., Bowers, A. W., y Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224>
- Arias-Arce, R., Banqué-Martínez, N., y Calafell-Subirá, G. (2025). Las estrategias didácticas compartidas entre la educación científica y la educación ambiental en la formación inicial de maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(3), 3601-3623. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i3.3601
- Arteaga, K. P. A., y González-Arizmendi, S. (2025). Exploration of Emerging Trends in PCK for Natural Sciences: Innovation and Continuous Improvement in Teacher Education. *Educational Process: International Journal*, (18), e2025411. <https://doi.org/10.22521/edupij.2025.18.411>
- Aschbacher, P. R., Ing, M., y Tsai, S. M. (2014). Is science me? Exploring middle school students' STE-M career aspirations. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 735-743. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9504-x>

- Aschbacher, P. R., Li, E., y Roth, E. J. (2010). Is science me? High school students' identities, participation and aspirations in science, engineering, and medicine. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 564–582. <https://doi.org/10.1002/tea.20353>
- Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra [AEPECT] (2007). La geología que necesitamos. *Alambique*, 53, 111-114.
- Assaraf, O. B. Z., y Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Astolfi, J. P., y Develay, M. (1989). *La Didactique des Science*. Presses Universitaire de France.
- Australian Curriculum (s.f.). Science. <https://www.australiancurriculum.edu.au/curriculum-information/understand-this-learning-area/science>
- Ayerbe, J. (2021). *Aprendizaje basado en proyectos en educación ambiental. Implementación en educación secundaria*. [Tesis doctoral] Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/66770>
- Ayerbe, J., y Perales, F. J. (2020). «Reinventar tu ciudad»: aprendizaje basado en proyectos para la mejora de la conciencia ambiental en estudiantes de Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(2), 181-203. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2812>
- Ayerbe, J., y Perales, F. J. (2023). Evaluating a secondary education urban ecology project within the framework of a problem-based learning methodology. *Education Sciences*, 13(9), 915. <https://doi.org/10.3390/educsci13090915>
- Ayerbe, J., y Perales, F. J. (2025). ABP frente a una metodología convencional: incidencia sobre la conciencia ambiental. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 81-102. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6337>
- Ayuntamiento de Madrid (2016). *Diagnóstico de la Red de Huertos Escolares Sostenibles*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.
- Aznar, P., Calero, M., Martínez, M. P., Mayoral, O., Ull, À., Vázquez, V., y Vilches, A. (2018). Training Secondary Education Teachers through the Prism of Sustainability: The Case of the Universitat de València. *Sustainability*, 10(11), 4170. <https://doi.org/10.3390/su10114170>
- Baaden, M., Delalande, O., Ferey, N., Pasquali, S., Waldspühl, J., y Taly, A. (2018). Ten simple rules to create a serious game, illustrated with examples from structural biology. *PLoS Computational Biology*, 14(3), e1005955. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005955>
- Bach, J., y Márquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3), 302-309. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/330135>
- Badeo, J. M., y Duque, D. A. (2022). The effect of Socio-Scientific Issues (SSI) in teaching science: a meta-analysis study. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 291-302. <https://doi.org/10.3926/jotse.1340>
- Bailey, L., Ledger, S., Thier, M., y Pitts, C. M. (2023). Global competence in PISA 2018: Deconstruction of the measure. *Globalisation, Societies and Education*, 21(3), 367-376. <https://doi.org/10.1080/14767724.2022.2029693>
- Ball, D. L., y Forzani, F. M. (2009). The work of teaching and the challenge for teacher education. *Journal of Teacher Education*, 60(5), 497–511. <https://doi.org/10.1177/0022487109348479>

- Balseca-Pico, N. G., Quilligana-Chiffla, M. M., y Aman-Balseca, D. J. (2024). Una mirada histórica en la enseñanza-aprendizaje de la Química: Mejorando la calidad educativa. *Polo del Conocimiento*, 9(2), 1116–1126. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i2>
- Bamberger, Y., y Tal, T. (2008). An experience for the lifelong journey: the long-term effect of a class visit to a science center. *Visitor Studies*, 11(2), 198–212. <https://doi.org/10.1080/10645570802355760>
- Ban, S., y Mahmud, S. N. D. (2023). Research and Trends in Socio-Scientific Issues Education: A Content Analysis of Journal. *Sustainability*, 15, 11841. <https://doi.org/10.3390/su151511841>
- Bañas, C., López, A., Mellado, V., y Ruiz, C. (2009). Metacognition and professional development of secondary education science teachers: A case study. En C. B. Larsson (ed.) *Metacognition: New Research Developments* (pp. 203-222). Nova Science Publisher, Inc.
- Baram-Tsabari, A., y Osborne, J. (2015). Bridging science education and science communication research. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 135-144. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/tea.21202>
- Barberá, O. (2002). El Área de Didáctica de las ciencias experimentales: ¿Apuesta de futuro o error del pasado? *Revista de Educación*, 328, 97-109.
- Bargiela, I. M., Blanco Anaya, P., y Puig, B. (2022). Las preguntas para la indagación y activación de pensamiento crítico en educación infantil. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(3), 11-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5470>
- Barnosky, A. D., y Hadly, E. A. (2016). *Tipping point for planet Earth: How close are we to the edge?* Thomas Dunne Books.
- Barral, F. M. (1990). ¿Cómo flotan los cuerpos que flotan? Concepciones de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 244–250.
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., y Pollak, S. D. (2019). Emotional expressions reconsidered: Challenges to inferring emotion from human facial movements. *Psychological Science in the Public Interest*, 20(1), 1-68. <https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From Dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265–278. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>
- Bathgate, M., Crowell, A., Schunn, C., Cannady, M., y Dorph, R. (2015). The learning benefits of being willing and able to engage in scientific argumentation. *International Journal of Science Education*, 37(10), 1590–1612. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2015.1045958>
- Bauman, Z. (2000). *Liquid Modernity*. Polity Press.
- Bell, B. F. (1998). Teacher development in Science Education. En B. J. Fraser y K. Tobin (Eds.) *International Handbook of Science Education*, 681-694. Kluwer.
- Bell, B., y Gilbert, J. (1994). Teacher development as professional, personal and social development. *Teaching and Teacher Education*, 10(5), 483-497.
- Bell, B. F., y Pearson, J. (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14(3), 349-361.
- Bell, P., Lewenstein, B., Shouse, A. W., y Feder, M. A. (Eds.). (2009). *Learning science in informal environments: People, places, and pursuits*. National Academies Press.

- Bell, R. L., y Lederman, N. G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352-377. <https://doi.org/10.1002/sce.10063>
- Bellotti, F., Kapralos, B., Lee, K., Moreno-Ger, P., y Berta, R. (2013). Assessment in and of serious games: An overview. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2013, 136864. <https://doi.org/10.1155/2013/136864>
- Benarroch, A. (1998). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia. Descripción, análisis y predicción de características y dificultades*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Benarroch, A. (2000). Del modelo cinético-corpuscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique*, 23, 95-109.
- Benarroch, A. (2010). La investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales en las etapas educativas de infantil y primaria. *Actas de los XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 32-52. Servicio de publicaciones U. de Jaén.
- Bencze, L., Pouliot, C., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J., y Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: Defending and extending “science-in-context”. *Cultural Studies of Science Education*, 15, 825–851. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7>
- Bennett, J. (2001). The development and use of an instrument to assess students' attitude to the study of chemistry. *International Journal of Science Education*, 23(8), 833-845. <https://doi.org/10.1080/09500690010006554>
- Bennett, J., y Hogarth, S. (2009). Would you want to talk to a scientist at a party? High school students' attitudes to school science and to science. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1975–1998. <https://doi.org/10.1080/09500690802425581>
- Bennett, J., Lubben, F., y Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91(3), 347–370. <https://doi.org/10.1002/sce.20186>
- Bergandi, D., y Galangau-Quérat, F. (2008). Le Développement durable. Les racines environnementalistes d'un paradigme. *Aster*, 46, 31-44. <https://doi.org/10.4267/2042/20029>
- Bergen, D. (2009). Play as the Learning Medium for Future Scientists, Mathematicians, and Engineers. *American Journal of Play*, 1(4), 413-428. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1069001.pdf>
- Berland, L., Schwartz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., y Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082-1112. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.21257>
- Bernal, J. D. (1967). *Historia Social de la Ciencia*. Península.
- Bernal-Herrera, P., Cano-Iglesias, M. J., Franco-Mariscal, A. J., y Blanco-López, A. (2023). Impacto de un debate sociocientífico en las habilidades argumentativas y en la toma de decisiones del profesorado de secundaria en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(3), 113-132. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5861>
- Berry, A., Friedrichsen, P., y Loughran, J. (Eds.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.
- Bertalanffy, L. von (1968). *General system theory. Foundations, Development, Applications*. George Braziller.
- Bertemes, J. P., Haan, S., y Hans, D. (2024). *50 Essentials on Science Communication*. Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/9783110763577>

- Bettencourt, L., y Kaur, J. (2011). Evolution and structure of sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 108(49), 19540-19545. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102712108>
- Bevan, B., Philip, B., Stevens, R., y Razfar, A. (2013). *Lost opportunities: learning in out of school time*. Springer.
- Bian, L., Leslie, S. J., y Cimpian, A. (2017). Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests. *Science*, 355(6323), 389-391. <https://doi.org/10.1126/science.aah6524>
- Bianchi, G., Pisiotis, U., y Cabrera Giraldez, M. (2022). *GreenComp. the European sustainability competence framework*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/13286>
- Bicalho, H., Oliveira, L., y Justi, R. (2022). Processos de produção de representações vivenciados por estudantes em contextos de ensino fundamentado em modelagem. *Impacto: Pesquisa em Ensino de Ciências*, (1), e65299-e65299. <https://doi.org/10.12957/impacto.2022.65299>
- Bisquerra, R. (2000). *Educación emocional y bienestar*. Praxis.
- Bjornerud, M. (2019). *Conciencia del tiempo: Por qué pensar como geólogos puede ayudarnos a salvar el planeta*. Ed. Grano de Sal.
- Black, P., y Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy y Practice*, 5(1), 7-74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Blalock, C. L., Lichtenstein, M. J., Owen, S., Pruski, L., Marshall, C., y Toepperwein, M. (2008). In pursuit of validity: A comprehensive review of science attitude instruments 1935-2005. *International Journal of Science Education*, 30(7), 961-977. <https://doi.org/10.1080/09500690701344578>
- Blanco-Anaya, P., y Díaz de Bustamante, J. (2014). Argumentación y uso de pruebas: Realización de inferencias sobre una secuencia de icnitas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 263-280. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1009>
- Blanco-Anaya, P., y Díaz de Bustamante, J. (2017). Análisis del nivel de desempeño para la explicación de fenómenos de forma científica en una actividad de modelización. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 505-520. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.01
- Blanco-Anaya, P., Díaz de Bustamante, J., y Cardoso Mendonça, P. C. (2019). Las destrezas argumentativas en la evolución de modelos en una actividad de geología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3105
- Blanco López, A. (2004). Relaciones entre educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(2), 70-86. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i2.0
- Blanco-López, Á., España-Ramos, E., González-García, F. J., y Franco-Mariscal, A. J. (2015). Key aspects of scientific competence for citizenships: A Delphi study of the expert community in Spain. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 164-198. <https://doi.org/10.1002/tea.21188>
- Blanco López, A., España, E., y Rodríguez Mora, F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique*, 70, 9-18.

- Bland, M. W., y Morrison, E. (2015). The experimental detection of an emotional response to the idea of evolution. *The American Biology Teacher*, 77(6), 413-420. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.6.413>
- Blas Riesgo, S., Lavanga, M., y Codina, M. (2023). Drivers and barriers for sustainable fashion consumption in Spain: a comparison between sustainable and non-sustainable consumers. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/17543266.2022.2089239>
- Bloom, M., Binns, I. C., y Koehler, C. (2015). Multifaceted NOS Instruction: Contextualizing Nature of Science with Documentary Films. *International Journal of Environmental and Science Education*, 10(3), 405-428. <https://doi.org/10.12973/ijesc.2015.252a>
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., y Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26(3), 369-398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Bond, M., Buntins, K., Bedenlier, S., Zawacki-Richter, O., y Kerres, M. (2020). Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: A systematic evidence map. *International journal of educational technology in higher education*, 17(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0176-8>
- Borgerding, L. A., Deniz, H., y Anderson, E. S. (2017). Evolution acceptance and epistemological beliefs of college biology students. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(4), 493-519. <https://doi.org/10.1002/tea.21374>
- Borrachero, A. B., Brígido, M., Costillo, E., Bermejo, M. L., y Mellado, V. (2013). Relationship between Self-Efficacy Beliefs and Emotions of Future Teachers of Physics in Secondary Education. *Asia-Pacific Forum on Learning and Teaching Science*, 14(2), 5.
- Borrachero, A. B., Brígido, M., Dávila, M. A., Costillo, E., Cañada, F., y Mellado, V. (2019). Improving the self-regulation in prospective science teachers: the case of the calculus of the period of a simple pendulum. *Heliyon*, 5, e02827. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02827>
- Borrachero, A. B., Brígido, M., Mellado, L., Costillo, E., y Mellado, V. (2014). Emotions in prospective secondary teachers when teaching science content, distinguishing by gender. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 182-215. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.909800>
- Böttcher, F., y Meisert, A. (2011). Argumentation in science education: A model-based framework. *Science & Education*, 20, 103-140.
- Bottoms, G., y Webb, I. D. (1998). *Connecting the curriculum to "real life". Breaking Ranks: Making it happen*. National Association of Secondary School Principals.
- Bowen, R. S. (2025). On a more expansive vision for the scientific practices in undergraduate chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 102, 5036–5044 <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00944>
- Branda, F., Ciccozzi, M., y Scarpa, F. (2025). Artificial intelligence in scientific research: Challenges, opportunities and the imperative of a human-centric synergy. *Journal of Informetrics*, 19(4), 101727. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2025.101727>
- Brassler, M., y Dettmers, J. (2017). How to enhance interdisciplinary competence—interdisciplinary problem-based learning versus interdisciplinary project-based learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 11(2). <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1686>

- Brault Foisy, L.-M., Potvin, P., Riopel, M., y Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Bravo Bravo, D. J., Gutiérrez Arévalo, E., Guagua Salazar, M. R., y Torres Castillo, D. T. (2024). La integración de las ciencias naturales con la tecnología educativa: Nuevas oportunidades para el aula del siglo XXI. *Prosperus*, 1(1), 54-72. <https://doi.org/10.63535/jmspck17>
- Bravo Lucas, E., Brígido, M., Hernández del Barco, M. A., y Mellado, V. (2022). Las emociones en ciencias en la formación inicial del profesorado de infantil y primaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 97(36.1). <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92426>
- Bravo Lucas, E., Costillo, E., Bravo, J. L., Mellado, V., y Conde, M. C. (2022). Analysis of prospective early childhood education teachers' proposals of nature field trips: An educational experience to bring nature close during this stage. *Science Education*, 106(1), 172-198. <https://doi.org/10.1002/sce.21689>
- Bravo Torija, B., Puig, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, 20, 144-149.
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., y Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School science and mathematics*, 112(1), 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Brewer, N. T., Chapman, G. B., Gibbons, F. X., Gerrard, M., McCaul, K. D., y Weinstein, N. D. (2007). Meta-analysis of the relationship between risk perception and health behavior: The example of vaccination. *Health Psychology*, 26, 136-145. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.26.2.136>
- Brígido, M., Bermejo, M. L., Conde, M. C., y Mellado, V. (2010). The emotions in teaching and learning Nature Sciences and Physics/Chemistry in pre-service primary teachers. *US-China Education Review*, 7(12), 25-32.
- Brígido, M., Borrachero, A. B., Bermejo, M. L., y Mellado, V. (2013). Prospective primary teachers' self-efficacy and emotions in science teaching. *European Journal of Teacher Education*, 36(2), 200-217. <https://doi.org/10.1080/02619768.2012.686993>
- Brígido, M., Couso, D., Gutiérrez, C., y Mellado, V. (2013). The Emotions about Teaching and Learning Science: A Study of Prospective Primary Teachers in Three Spanish Universities. *Journal of Baltic Science Education*, 12(3), 299-311. <https://doi.org/10.33225/jbse/13.12.299>
- Brocos, P., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2020). What to Eat Here and Now: Contextualization of Scientific Argumentation from a Place-Based Perspective. En I. Sánchez Tapia (Ed.), *International Perspectives on the Contextualization of Science Education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27982-0_2
- Brook, A., Briggs, H., y Driver, R. (1984). *Aspects of secondary student's understanding of the particulate nature of matter*. CLIS. Center for Studies in Science and Mathematics Education, Universidad de Leeds.
- Brown, S., y Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in Physiology Education*, 34(4), 167-169. <https://doi.org/10.1152/advan.00022.2010>
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C., y Woodward, P. (2018). *Chemistry: The Central Science* (14th ed.). Pearson.

- Brusi, D. (1992). Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas al campo en Geología (I y II): Aspectos funcionales y aspectos metodológicos. *Actas del VII Simposio Nacional sobre Enseñanza de la Geología* (pp. 363-407). Santiago de Compostela.
- Brusi, D. (2011). Un planeta interdependiente y complejo. Interacciones entre los subsistemas terrestres. *Alambique*, 67, 28-36.
- Brusi, D., Morales, J. A., Regueiro, M., y Martínez Graña, A. M. (2022). Los contenidos geológicos en la LOMLOE. Alegaciones presentadas a los proyectos de reales decretos de “ordenación y enseñanzas mínimas” de Primaria, ESO y Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(1), 8-28. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/9900367/526804>
- Brusi, D., Morales, J. A. Regueiro, M., y Martínez Graña, A. M. Silva, P. G., ... Valenzuela-Ríos, J. I. (2022). Manifiesto por una adecuada presencia de la Geología en el currículo de la LOMLOE. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(1), 2-7. <https://raco.cat/index.php/ECT/issue/view/32464>
- Brusi, D., Zamorano, M., Casellas, R. M., y Bach, J. (2011). Reflexiones sobre el diseño por competencias en el trabajo de campo en Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(1), 4-14. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/244374>
- Buitrago, A., y Torres-Ortiz, L. (2022). Divulgación científica en Youtube, comparativa entre canales institucionales vs influencers de ciencia. *Fonseca, Journal of Communication*, 24, 127-148. <https://doi.org/10.14201/fjc.28249>
- Bulagang, A. F., Weng, N. G., Mountstephens, J., y Teo, J. (2020). A review of recent approaches for emotion classification using electrocardiography and electrodermography signals. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100363>
- Bunge, M. (1980). *Epistemología*. Ariel.
- Burke, B. (2016). *Gamify: How gamification motivates people to do extraordinary things*. Routledge.
- Burns, T. W., O'Connor, D. J., y Stocklmayer, S. M. (2003). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science*, 12(2), 183-202. <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>
- Butler, D. L., y Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245-281. <https://doi.org/10.3102/00346543065003245>
- Bybee, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153. <https://doi.org/10.2307/4449248>
- Bybee, R. W. (2007). Scientific Inquiry and Science Teaching. En L. B. Flick y N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning and Teacher Education*. (pp. 1-14). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-2672-2_1
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Byrne, J. (2011). Models of micro-organisms: Children's knowledge and understanding of micro-organisms from 7 to 14 years old. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1927-1961. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536999>
- Byrne, J., Grace, M., y Hanley, P. (2009). Children's anthropomorphic and anthropocentric ideas about micro-organisms. *Journal of Biological Education*, 44(1), 37-43. <https://doi.org/10.1080/00219266.2009.9656190>

- Caamaño, A. (Coord.) (1995). La educación Ciencia-Tecnología-Sociedad. Monografía. *Alambique*, 3, 4 -72.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la Química. En M. P. Jiménez Aleixandre *et al.* (Coord.), *Enseñar ciencias* (pp. 203-226). Graó.
- Cabello-Garrido, A., Cebrián-Robles, D., España-Ramos, E., Blanco-López, A. (2023). The dominant model of meat production and consumption as a socially acute question for activist education. *Cultural Studies of Science Education*, 18, 911-935. <https://doi.org/10.1007/s11422-023-10188-x>
- Cabero, J., y Barroso, J. (2016). Formación del profesorado en TIC: Una visión del modelo TPACK. *Cultura y Educación*, 28(3), 633–663. <https://doi.org/10.1080/11356405.2016.1203526>
- Calderón, O. (2016). Oximetry: A reflective tool for the detection of physiological expression of emotions in a science education classroom. *Cultural Studies of Science Education*, 11(3), 653-667. <http://dx.doi.org/10.1007/s11422-016-9731-y>
- Calero, M., Mayoral, O., Ull, M. A., y Vilches, A. (2019). La educación para la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias experimentales en Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 157-175. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2605>
- Çalışkan, S. (2017). Physics anxiety of preservice teachers and their self-efficacy beliefs: differences according to gender and physics achievement. *Journal of Baltic Science Education*, 16(5), 678-693. <https://doi.org/10.33225/jbse/17.16.678>
- Calonge García, A. (2010). La Geología que emociona, ¿qué geología enseñamos, qué geología necesitamos y qué geología divulgamos? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(2), 141-149. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/226230/307804>
- Calvo Hernando, M. (2002). El periodismo científico, reto de las sociedades del siglo XXI. *Comunicar, revista científica de comunicación y educación*, 19, 15-18. <https://doi.org/10.3916/C19-2002-03>
- Calvo Sevillano, G., y Cortés Gracia, A. L. (2023). Las laderas se mueven ¿Cómo podemos trabajar los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos? *Alambique*, 114, 42-51.
- Calvo-Utrilla, M., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2025). La educación STEM a debate desde la Didáctica de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(2), 2102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i2.2102
- Campbell, T., Oh, P. S., Maughn, M., Kiriazis, N., y Zuwallack, R. (2015). A Review of Modeling Pedagogies: Pedagogical Functions, Discursive Acts, and Technology in Modeling Instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 159-176. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1314a>
- Campillos, R. (2024). *Conceptualización de la temperatura: de la sensación a la creación del conocimiento* (Tesis de Doctorado). Universidad Complutense de Madrid.
- Campillos, R., y Ezquerro, A. (2022). *Termosensímetro*. (Patente nº. ES 1290800 U). Universidad Complutense de Madrid. Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Campillos, R., y Ezquerro, A. (2024). La categorización ontológica de la temperatura a través de la percepción térmica en futuros maestros. *Revista Nuevas Perspectivas*, 3(6). <https://revistanuevasperspectivas.aduba.org.ar/ojs/index.php/nuevasperspectivas/article/view/71/140>

- Campillos, R., Idoyaga, I. J., Shamhood, S., Pamplona, S., Fernández-Fuertes, J. M., Pérez-Bueno, B., Ceballos, M., Reina, M., Vílchez, J. E., y Ezquerro, A. (2025). Exploring Confusion in Scientific Argumentation: A Study of Cognitive and Emotional Interplay in Educational Contexts. *ESERA (European Science Education Research Association) Conference 2025* in Copenhagen: Embracing Transitions in Science Education.
- Campillos, R., Shamhood, S., Pamplona, S., Fernández-Fuertes, J. M., Pérez-Bueno, B., Ceballos, M., Reina, M., Vílchez, J. E., Idoyaga, I., y Ezquerro, A. (2025). Análisis de las emociones en una argumentación científica con alumnos de Bachillerato. *Congreso de XII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*.
- Campina López, A. C., de las Heras Pérez, M., y Lorca Marín, A. A. (2025). Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: un estudio de caso sobre patrimonios controversiales. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 48, 117-132. <https://doi.org/10.7203/DCES.48.30178>
- Camps, V. (2012). *El gobierno de las emociones*. Herder.
- Cannady, M. A., Vincent-Ruz, P., Chung, J. M., y Schunn, C. D. (2019). Scientific sensemaking supports science content learning across disciplines and instructional contexts. *Contemporary Educational Psychology*, 59, 101802. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101802>
- Cañal, P. (2008). *Investigando los seres vivos: proyecto curricular investigando nuestro mundo* (6-12). Diada.
- Cañal, P., García, J. E., García, F. F., García, S., Lledó, A., Martín, J., y Porlán, R. (1991). *El currículum para la formación permanente del profesorado*. Diada.
- Cañal, P., García-Carmona, A., y Cruz-Guzmán, M. (2016). *Didáctica de las Ciencias Experimentales en Educación Primaria*. Paraninfo.
- Cañal, P., Pozuelos, F., y Travé, G. (2005). *Descripción General y fundamentos Proyecto Curricular INM* (6-12), Diada.
- Caño, L. (2021). La charca del Campus y el proyecto IHGEL: un marco para la integración curricular de competencias disciplinares y para la sostenibilidad en la formación de futuros/as maestros/as. En A. B. Barragán et al. (Eds.) *Innovación Docente e Investigación en Educación: Nuevos Enfoques en la Metodología Docente*. Dykinson.
- Caño, L., Sanz, J., y Sistiaga, M. (2026). Diversity of Life in School ponds. En S. Jarau y D. Benkowitz (Coord.), *Sustainability Education in School Garden-Based Learning: Biological and Cultural Diversity*. Springer.
- Cano-Ortiz, A., Piñar-Fuentes, J. C., Musarella, C. M., y Peña-Martínez, J. (2024). Education for environmental sustainability component: Innovative strategies for experiential learning in natural contexts. *Education Sciences*, 15(6), 697. <https://doi.org/10.3390/educsci15060697>
- Cantó, J., y Osterman, F. (Coords.) (2025). *Actas del XII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*. Revista Enseñanza de las Ciencias.
- Caracuel-González, M., Benarroch-Benarroch, A., Lupión Cobos, T., y Blanco López, A. (2024). Preferences and Reasoning of 14-15 year-old Students in Relation to Natural or Synthetic Products in Different Contexts: Influence of an Instructional Module. *Research in Science Education*, 54, 909-932. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10166-5>
- Caracuel González, M., Lupión Cobos, T., y Blanco López, Á. (2021). Decisiones y justificaciones entre natural versus no natural en el consumo de un producto alimentario

- por estudiantes de 14–15 años: Un estudio piloto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1203
- Carcausto, W. (2020). Aprendizaje basado en proyectos para la salud: Una experiencia pedagógica universitaria. *Peruvian Health Care and Global Health*, 4(2), 76–80. <http://52.37.22.248/index.php/hgh/article/view/73>
- Cardelli, J. (2004). Reflexiones críticas sobre el concepto de Transposición Didáctica de Chevallard. *Cuadernos de Antropología Social*, 19, 49–61.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press
- Carlone, H. B., y Johnson, A. (2007). Understanding the science experiences of successful women of color: Science identity as an analytic lens. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(8), 1187–1218. <https://doi.org/10.1002/TEA.20237>
- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Chan, K. K. H., ... y Wilson, C. D. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. En A. Hume, R. Cooper, y A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Carlson, J., Stokes, L., Helms, J., Gess-Newsome, J., y Gardner, A. (2015). The PCK summit: A process and structure for challenging current ideas, provoking future work, and considering new directions. En A. Berry *et al.* (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 14–27). Routledge.
- Carmona, E., y Cardeñoso, J. M. (2019). Situaciones basadas en juegos de mesa para atender la elaboración del conocimiento matemático escolar. *Épsilon*, 101, 7–30. <https://thales.cica.es/epsilon/node/4777>
- Carrascosa-Alís, J. (2006). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte III). Utilización didáctica de los errores conceptuales que aparecen en cómics, prensa, novelas y libros de texto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 77–88. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92030107>
- Carrascosa Alís, J., Gil, D., y Vilches, A. (2024). Los mapas conceptuales: Una herramienta educativa para hacer frente al cambio climático y a la crisis socioambiental global. *Ápice*, 8(2), 53–65. <https://doi.org/10.17979/arec.2024.8.2.10683>
- Carson, R. (1980). *Primavera Silenciosa*. Grijalbo.
- Carvalho, G. S. de, Mafra, P., y Lima, N. (2018). *Children's conceptions about microorganisms and health*. European Science Education Research Association (ESERA). <https://hdl.handle.net/1822/56941>
- Casas-Quiroga, L., y Crujeiras-Pérez, B. (2024). Epistemic knowledge considered by secondary school students involved in the examination of a real alimentary emergency. *Journal of Biological Education*, 58(1), 16–28. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.2012230>
- Cassany, D. (2003). Análisis de la divulgación científica: modelo teórico y estrategias divulgativas. *Ponencia plenaria en el XIV Congreso de la Sociedad Chilena de Lingüística, Universidad de Los Lagos*, 9/11-10-01.
- Cassany, R., Cortiñas, S., y Elduque, A. (2018). Comunicar la ciencia: el perfil del periodista científico en España. *Comunicar, revista científica de comunicación y educación*, 55(2), 1–14. <https://doi.org/10.3916/C55-2018-01>

- Castellar Cárdenas, M., Romero López, M. C., y Jiménez Tejada, M. P. (2022). Teaching and learning about food hygiene in primary education: A systematic review. *Human Review. International Humanities Review*, 11, 1–10. <https://www.historicoeagora.net/revHUMAN/article/view/3826>
- Castillo-Hernández, F. J., Jimenez-Liso, M. R., y Couso, D. (2025). Floating and Sinking in the Science Classroom – A Systematic Review of Science Education Literature in the Search for Consensus. *Studies in Science Education*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2460927>
- Castillo-Hernández, F. J., Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., y López-Gay, R. (2020). ¿Cuáles son los ingredientes imprescindibles para indagar en el aula? *Aula de Innovación Educativa*, 298, 26–30.
- Castillo-Ramírez, I., y Alberich-Pascual, J. (2017). Análisis de estrategias de difusión de contenidos y actividad en redes sociales en revistas de divulgación científica: factores de interacción, visibilidad e impacto. *Estudios sobre el mensaje periodístico*, 23(2), 1045–1056. <http://dx.doi.org/10.5209/ESMP.58031>
- Cavallo, A. (2007). Draw-a-Scientist / Mystery Box. *Science and Children*, 45(3), 37–39. https://search.proquest.com/openview/00cbd00e0fec0a79bcecc4501c468ea8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=41736&casa_token=GRbvnrJ7Mk8AAAAA:7tdMJuSB2Mozjg-pEM5Ln8hJbzLHxVgFKNIJZGpgZudDoKzWuOfqjZTcNtctTzqlwvd3VtR4kk43
- Ceballos, M., Reina, M., y Vílchez, J. E. (2019). Concepto de fósil en niños de primero a cuarto de Educación Primaria: ¿cómo lo adquieren? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(2), 210–218. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/367145>
- Cebrián Bernat, G., Moraleda, Á., Olano, J. X., Boqué, A., y Prieto, J. (2024). Las competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria según el género. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(1), 65–83. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5948>
- Cebrián-Robles, D. (2025). Critical education on socioscientific issues in pre-service science and technology teacher training: Applications of artificial intelligence assistants (CESSAI Project). Universidad de Málaga. Documento no publicado.
- Cebrián-Robles, D., España-Ramos, E., y Reis, P. (2021). Introducing preservice primary teachers to socioscientific activism through the analysis and discussion of videos. *International Journal of Science Education*, 43(15), 2457–2478. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1969060>
- Cebrián-Robles D., Franco-Mariscal, A. J., y Blanco-López, A. (2018). Preservice Elementary Science Teachers' competence in argumentation: Impact of a Training Programme. *Instructional Science*, 46(5), 789–817. <https://doi.org/10.1007/s11251-018-9446-4>
- Cebrián-Robles, D., Franco-Mariscal, A. J., y Blanco-López, A. (2021). Secuencia de tareas para enseñar argumentación en ciencias a profesorado en formación inicial a través de CoRubric. Ejemplificación en una actividad sobre una central salina. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 40, 149–168. <https://doi.org/10.7203/dces.40.18178>
- CECJA (2007). *Área de Tecnología: Educación Secundaria Obligatoria*. Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía.
- Cervera, D. A. (Coord). (2011). *Tecnología: Investigación, innovación y buenas prácticas*. Graó.
- Chang, M. (2025). *Critical Thinking and Creative Analogies in Statistics, Science, and Technology: Essential Skills for the AI Era* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Chang, S. H., Yang, L. J., Chen, C. H., Shih, C. C., Shu, Y., y Chen, Y. T. (2024). STEM education in academic achievement: A meta-analysis of its moderating effects. *In-*

- teractive Learning Environments*, 32(6), 2401–2423. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2147956>
- Chappell, K., Hetherington, L., Duca, E., Juillard, S., y Aguirre, C. (2025). A framework for effective STEAM education: Pedagogy for responding to wicked problems. *International Journal of Educational Research Open*, 9, 100474. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100474>
- Cheek, K. A. (2012). Students' understanding of large numbers as a key factor in their understanding of geologic time. *International Journal of Science and Mathematic Education*, 10, 1047–1069. <https://doi.org/10.1007/s10763-011-9312-1>
- Cheek, K. A., Ladue, N. D., y Shipley, T. F. (2017). Learning about spatial and temporal scale: Current research, psychological processes, and classroom implications. *Journal of Geoscience Education*, 65(4), 455–472. <https://doi.org/10.5408/16-213.1>
- Chen, B., Chen, J., Wang, M., Tsai, C.-C., y Kirschner, P. A. (2025). The effects of integrated STEM education on K12 students' achievements: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 32(6), 1–50. <https://doi.org/10.3102/00346543251318297>
- Chen, C. H., Chan, W. P., Huang, K., y Liao, C. W. (2023). Supporting informal science learning with metacognitive scaffolding and augmented reality: effects on science knowledge, intrinsic motivation, and cognitive load. *Research in Science & Technological Education*, 41(4), 1480–1495. <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2032629>
- Chen, F., y Chen, G. (2025). Learning analytics in inquiry-based learning: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 73, 2131–2161.
- Cheng, Y. P., y Huang, Y. M. (2025). LUPDA: a comprehensive rubrics-based assessment model for STEAM education. *International Journal of STEM Education*, 12, article number 45. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00570-2>
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.
- Chien, H.-Y., Gutwill, J., Nee, J., y Shepard, J. (2025). Cultivating confidence: The potential of science museum visits in boosting science self-efficacy and expanding perceptions of science in emerging adult learners. *Science Education*, 109(5), 1313–1335. <https://doi.org/10.1002/sce.21958>
- Chinn, C. A., y Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry inschools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.10001>
- Chowdhury, T., Holbrook, J., y Rannikmäe, M. (2020). Socioscientific issues within science Education and their role in promoting the desired citizenry. *Science Education International*, 31(2), 203–208. <https://doi.org/10.33828/sei.v31.i2.10>
- Chu, H.-E., Martin, S. N., y Park, J. (2019). A theoretical framework for developing an intercultural STEAM program for Australian and Korean students to enhance science teaching and learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1251–1266. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9922-y>
- Chung, J., Cannady, M. A., Schunn, C., Dorph, R., y Vincent-Ruz, P. (2016). *Measures Technical Brief: Scientific Sensemaking*. <https://activationlab.org/wp-content/uploads/2018/03/Sensemaking-Report-3.2-20160331.pdf>
- Çil, E., Maccario, N., y Yanmaz, D. (2016). Design, implementation and evaluation of innovative science teaching strategies for non-formal learning in a natural history

- museum. *Research in Science & Technological Education*, 34(3), 325–341. <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1222360>
- Cobern, W. W., Adams, B. A., Pleasants, B. A., Bentley, A., y Kagumba, R. (2022). Do we have a trust problem? Exploring undergraduate student views on the tentativeness and trustworthiness of science. *Science & Education*, 31(5), 1209-1238. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00292-1>
- Cobo-Huesa, C., Abril, A. M., y Ariza, M. R. (2021). Investigación basada en el diseño en la formación inicial de docentes para una enseñanza integrada de la naturaleza de la ciencia y el pensamiento crítico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3801
- Cofré, H., Díaz, C. V., Becerra, B., Núñez, P., Pavéz, J. M., y Santibáñez, D. (2025). Tendencias de investigación en la didáctica de la biología entre 2010 y 2023: una revisión comparada. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(3), 3302-3302. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i3.3302
- Cofré, H., Núñez, P., Santibáñez, D., Pávez, J. M., Valencia, M., y Vergara, C. (2019). A Critical Review of Students' and Teachers' Understandings of Nature of Science. *Science & Education*, 28, 205-248. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00051-3>
- Cohen, J. (2008). Social, Emotional, Ethical, and Academic Education: Creating a Climate for Learning, Participation in Democracy, and Well-Being. *Harvard Educational Review*, 76(2), 201-237. <https://doi.org/10.17763/haer.76.2.j44854x1524644vn>
- Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2018). *Research methods in education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315456539>
- Collado, S., y Corraliza, J. A. (2016). *Conciencia ecológica y bienestar en la infancia*. Editorial CCS.
- Colucci-Gray, L., Burnard, P., Gray, D., y Cooke, C. (2019). A critical review of STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics). En P. Thomson (Ed.), *Oxford research encyclopedia of education* (pp. 1-26). Oxford University Press.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988). *Nuestro Futuro Común*. Alianza
- Cona, G., Chiossi, F., Di Tomasso, S., Pellegrino, G., Piccione, F., Bisiacchi, P., y Arcara, G. (2020). Theta and alpha oscillations as signatures of internal and external attention to delayed intentions: A magnetoencephalography (MEG) study. *NeuroImage*, 205, 116295. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116295>
- Condliffe, B., Quint, J., Visher, M. G., Bangser, M., Drohojowska, S., Saco, L., y Nelson, E. (2017). *Project-based learning: A literature review*. MDRC. https://www.mdrc.org/sites/default/files/Project-Based_Learning-LitRev_Final.pdf
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., y Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661–686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Constantino, T. (2018). STEAM by another name: Transdisciplinary practice in art and design education. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 100-106. <https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1292973>

- Cooper, M. M., y Stowe, R. L. (2018). Chemistry education research – from personal empiricism to evidence, theory and informed practice. *Chemical Reviews*, 118, 6053–6087. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020>
- Corbacho-Cuello, I., Esteban-Gallego, R., Marcos-Merino, J. M., y Hernández del Barco, M. A. (2023). ¿Los microbios, buenos o malos? El juego de mesa “Los microorganismos en nuestra vida”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 320101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3202
- Corbacho-Cuello, I., Hernández-Barco, M. A., y Muñoz-Losa, A. (2025). Exploring the local vegetation: botanical inquiry trail, an interactive journey of learning. *Journal of Biological Education*, 59(2), 360–373. <https://doi.org/10.1080/00219266.2024.2320111>
- Corcoran, T., Mosher, F. A., y Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence based approach to reform*. CPRE Research Report #RR-63. Consortium for Policy Research in Education. https://repository.upenn.edu/cpre_researchreports/53/
- Cornellà, P., Estebanell, M., y Brusi, D. (2020). Gamificación y aprendizaje basado en juegos.: Consideraciones generales y algunos ejemplos para la Enseñanza de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 28(1), 5-19. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/372920>
- Corres, A., Rieckmann, M., Espasa, A., y Ruiz-Mallén, I. (2020). Educator competences in sustainability education: a systematic review of frameworks. *Sustainability*, 12(23), 1-24. <https://doi.org/10.3390/SU12239858>
- Corrochano, D. (2025). El uso de analogías en la enseñanza y aprendizaje del tiempo geológico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(2), 2103. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i2.2103
- Corrochano, D., y Gómez-Gonçalves, A. (2020). Analysis of Spanish pre-service teachers' mental models of geologic time. *International Journal of Science Education*, 42(10), 1653-1672. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1774093>
- Corrochano Fernández, D., Gómez-Gonçalves, A., Fuertes Prieto, M. A., Ballegeer, A. M., Pampín García, S., y Chamoso Sánchez, J. M. (2023). Concepciones de estudiantes de instituto y universidad sobre el tiempo geológico. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 44, 195-214. <https://doi.org/10.7203/DCES.44.26276>
- Cortés Gracia, A. L. (2016). Depredadores de rocas. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 83, 27-32.
- Cortés Gracia, A. L., y Martínez Peña, M. B. (2017). Del mundo en que vivimos a la dinámica de la Tierra: el particular recorrido de las Ciencias de la Tierra por la Educación Primaria y Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3), 285-294. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/330133>
- Cortés Gracia, A. L., y Martínez Peña, M. B. (2020). Los retos del currículo de geología. *Alambique*, 100, 41-48.
- Costa Cabanillas, M., y López Méndez, E. (2008). *Educación para la salud: Guía práctica para promover estilos de vida saludables*. Pirámide.
- Costa Ramos, T., y Braga Mozzer, N. B. (2018). Análise do uso da analogia com o “Pudim de Passas” guiado pelo TWA no ensino do modelo atômico de Thomson: considerações e recomendações. *Química Nova na Escola*, São Paulo, 40(2), 106-115. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160111>

- Costa Ramos, T., Cardoso Mendonça, P. C., y Braga Mozzer, N. B. (2021). Análisis de la agencia epistémica de los estudiantes en un contexto argumentativo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2102. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2102
- Costillo, E., Borrachero, A. B., Brígido, M., y Mellado, V. (2013). Las emociones sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las matemáticas de futuros profesores de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (nº extra), 514-532. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.iextra.03
- Council of Ministers of Education, Canada [CMEC] Pan-Canadian Science Project (1997). *The common framework of science learning outcomes K to 12*. <https://science.cmec.ca/index.en.htm>
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En *Actas de los 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. https://www.uhu.es/26edce/actas/docs/conferencias/pdf/26ENCUENTRO_DCE-ConferenciaPlenariaInaugural.pdf
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso et al. (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 63-74). FECYT-Fundación Lilly.
- Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C., y Sacristán, J. A. (Coords.) (2020). *Enseñando Ciencia con Ciencia*. FECYT y Fundación Lilly. Penguin Random House. <https://www.fecyt.es/publicaciones/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Couso, D., y Márquez, C. (Coords.) (2025). *Pensar críticamente en el aula de ciencias: Actividades competenciales para estudiantes de secundaria*. Graó.
- Couso, D., Márquez, C., Vila, L., Serrano, M. F., y Oliveras Prat, B. (2024). Un marco para el pensamiento crítico en el aula de ciencias de secundaria. En D. Couso y C. Márquez (Eds.), *Pensar críticamente en el aula de ciencias. Actividades competenciales para estudiantes de secundaria* (pp. 13-23). Graó.
- Couso, D., y Sanmartí, N. (2022). *El repte de desenvolupar el gust per aprendre en tot l'alumnat: una utopia feta realitat*. En A. Tarabini-Castellani (Ed.), *Els reptes de l'educació a Catalunya. Anuari 2022* (pp. 219-259). Fundació Bofill.
- Cowles, H. M. (2020, 23 de abril). The scientific method can't save us from the coronavirus. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/outlook/2020/04/23/scientific-method-cant-save-us-coronavirus/>
- Crawley, F. E., y Koballa, T. R. (1994). Attitude research in science education: Contemporary models and methods. *Science Education*, 78, 35-56.
- Crujeiras-Pérez, B., Aguirre Fernández, M. E., y Cambeiro Cambeiro, F. (2023). La química nos ayuda con los golpes: diseñando una bolsa de frío instantáneo. En B. Puig et al. (Eds.), *Pensar científicamente: problemas sistémicos y acción crítica*. Graó.
- Crujeiras Pérez, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas: aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pasta de dientes. *Alambique*, 72, 12-19.
- Crujeiras Pérez, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 385-401. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.01

- Crujeiras Pérez, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 63-84. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1469>
- Crujeiras-Pérez, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). High school students' engagement in planning investigations: findings from a longitudinal study in Spain. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 99-112. <https://doi.org/10.1039/C6RP00185H>
- Crujeiras-Pérez, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2019). Students' progression in monitoring anomalous results obtained in inquiry-based laboratory tasks. *Research in Science Education*, 49, 243-264. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9641-3>
- Cruz-Lorite, I. M., Cabello-Garrido, A., Cebrián-Robles, D., España-Ramos, E., España-Naveira, P., y Ramos-Solano, A. (2025). Mapeo de controversias y juego de rol sobre la cuestión socialmente viva del modelo dominante de producción y consumo de carne para fomentar el pensamiento crítico. *Ápice*, 9(1), 157-173. <https://doi.org/10.17979/arec.2025.9.1.11519>
- Cruz-Lorite, I., Cebrián-Robles, D., Acebal-Expósito, M. C., y Blanco-López, A. (2022). Pre-service teachers' ideas about obtaining electricity in nuclear power stations in a role play context. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(11), em2176. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12507>
- Cruz-Lorite, I. M., Cebrián-Robles, D., Acebal-Expósito, M. C., y Blanco-López, A. (2023). Preservice primary teachers' positions on nuclear power before and after a role play. *Journal of Turkish Science Education*, 20(3), 379-398. <https://doi.org/10.36681/tused.2023.022>
- Cubero, J., Calderón, M., Costillo, E., y Ruiz, C. (2011). La Educación para la Salud en el Espacio Europeo de Educación Superior. *Publicaciones*, 41, 51-63.
- Cubero-Juánez, J., Fernández-García, C., y Martínez-Ruiz, M. (2018). Aprendizaje cooperativo para la formación universitaria en alfabetización en salud. *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*, 21(2), 140-150.
- Cuesta, L., López-Fernández, C., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2024). Teachers' Attitudes towards SDG-12: Responsible Consumption and Production. Development and Validation of a Measurement Scale. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/10382046.2024.2399490>
- Dagher, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), 295-312. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790305>
- Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre*. Destino.
- Dang, Y., Liu, Z., Yang, X., Ge, L., y Miao, S. (2023). A fatigue assessment method based on attention mechanism and surface electromyography. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.03.002>
- Dare, E., Ring-Whalen, E. A., y Roehrig, G. H. (2019). Creating a continuum of STEM models: Exploring how K-12 science teachers conceptualize STEM education. *International Journal of Science Education*, 41(12), 1701-1720. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1638531>
- Darling-Hammond, L., Flook, L., Cook-Harvey, C., Barron, B., y Osher, D. (2020). Implications for educational practice of the science of learning and development.

- Applied Developmental Science*, 24(2), 97–140. <https://doi.org/10.1080/10888691.2018.1537791>
- Davidson, S. G., Jaber, L. Z., y Southerland, S. A. (2020). Emotions in the doing of science: Exploring epistemic affect in elementary teachers' science research experiences. *Science Education*, 104(6), 1008–1040. <https://doi.org/10.1002/sce.21596>
- Dávila-Acedo, M. A. (2017). Las emociones y sus causas en el aprendizaje de física y química en el alumnado de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 570–586. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3209/3193>
- Dávila Acedo, M. A. (2018). *Las emociones en el aprendizaje de física y química en el alumnado de educación secundaria. Un programa de intervención emocional*. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura. <http://hdl.handle.net/10662/7792>
- Dávila-Acedo, M. A., Cañada, F., Sánchez-Martín, J., Airado, D., y Mellado, V. (2021). Emotional performance on physics and chemistry learning. The case of Spanish K-9 and K-10 students. *International Journal of Science Education*, 43(6), 823–843. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1889069>
- Dawson, E. (2014). Equity in informal science education: Developing an access and equity framework. *Studies in Science Education*, 50(2), 209–247. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.957558>
- Day, Ch. (1999). *Developing teachers, the challenges of lifelong learning*. Falmer Press.
- de Gelder, B. (2006). Towards the neurobiology of emotional body language. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(3), 242–249. <https://doi.org/10.1038/nrn1872>
- de las Heras, M. A., y Shugurensky, D. (2020). Si la escuela no va al museo, el museo va a la escuela: el caso del Arizona Science Center. En J. M. Cuenca López *et al.* (Eds.), *Investigación y buenas prácticas en la educación patrimonial entre la escuela y el museo. Territorio, emociones y ciudadanía* (pp. 213–232). Editorial Trea.
- de Puelles, M. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad ante la Educación (Ed.). *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 9–10. <https://doi.org/10.35362/rie1801089>
- de Semir, V. (2014). *Decir la ciencia. Divulgación y periodismo científico de Galileo a Twitter*. Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.
- de Vincenzi, A. (2009). La práctica educativa en el marco del aula taller. *Revista de educación y desarrollo*, 10, 41–46. https://www.cucs.udg.mx/010_Vincenzi
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582–601. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200008\)37:6<582::AID-TEA5>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200008)37:6<582::AID-TEA5>3.0.CO;2-L)
- DeBoer, G. E. (2011). The globalization of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6), 567–591. <https://doi.org/10.1002/tea.20421>
- Del Rosal, I., Bermejo, M. L., y Cañada, F. (2019). Estudio de las emociones y sus causas en la enseñanza-aprendizaje de los seres vivos en educación primaria. *Biografía*, 12(27), 75–86. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.11.num22-8983>
- Del Rosal, I., Cañada, F., y Dávila-Acedo, M. A. (2025). Influencia de la gamificación en el conocimiento y las emociones del alumnado de educación primaria en el aprendizaje de las propiedades de la materia. *Educación Química*, 36(2), 96–108. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.2.89243>

- Del Rosal, I., Moreno-Manso, J. M., y Bermejo, M. L. (2018). Inteligencia emocional y rendimiento académico en futuros maestros de la Universidad de Extremadura. *Profesorado. Revista de Curriculum y Formación del Profesorado*, 22(1), 257-275. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i1.9928>
- Delgado Iglesias, J., y Calonge García, M. A. (2018). Estudio de la presencia de la Geología en currículos oficiales autonómicos de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(2), 154-162. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/338581/429533>
- Delgado-Mayoral, L., García-Ruiz, J., González-Herrera, M., Hernández Villalobos, L., Jiménez-Liso, M. R., López-Gay Lucio-Villegas, R., Manzano-Sánchez, L., Martínez-Chico, M., y Rodríguez-Arteche, I. (2024). Acciones docentes clave bajo el enfoque de indagación: rúbrica y red sistémica para su análisis. *Ápice*, 9(1), 117-134. <https://doi.org/10.17979/arec.2025.9.1.11212>
- Dellaert, F., Polzin, T., y Waibel, A. (1996). Recognizing emotion in speech. *Proceeding of Fourth International Conference on Spoken Language Processing. ICSLP '96*, 1970-1973. <https://doi.org/10.1109/ICSLP.1996.608022>
- Delord, G., Hamed, S., Porlán, R., y De Alba, N. (2020). Los ciclos de mejora en el aula. En N. de Alba y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 127-164). Morata.
- Delors, J., Al Mufti, I., Amagi, I., Carneiro, R., Chung, F., Geremek, B., Gorham, W., Kornhauser, A., Manley, M., Padrón-Quero, M., Savané, M-A., Singh, K., Stavenhagen, R., Suhr M-W., y Nanzhao, Z. (1996). *Learning: The Treasure Within. Report to UNESCO of the International Commission on Education for the Twenty-First Century*. UNESCO.
- Demiral, Ş. B., y Volkow, N. D. (2024). Blink-induced changes in pupil dynamics are consistent and heritable. *Scientific reports*, 14(1), 28421. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79527-4>
- Desmond, D., Grieshop, J., y Subramaniam, A. (2004). *Revisiting garden-based learning in basic education: Philosophical roots, historical foundations, best practices and products, impacts, outcomes and future directions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Institute for Educational Planning.
- Destoumieux-Garzón, D., Mavingui, P., Boetsch, G., Boissier, J., Darriet, F., Duboz, P., Fritsch, C., Giraudoux, P., Le Roux, F., Morand, S., Paillard, C., Pontier, D., Richter, C., y Rogel-Gaillard, C. (2018). One Health: A Comprehensive Concept. *Frontiers in Public Health*, 5(14). <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>
- Devetak, I., y Glazar, S. A. (Eds.). (2021). *Applying Bio-Measurements Methodologies in Science Education Research*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-71535-9>
- DeWitt, J. (2012). Scaffolding students' post-visit learning from interactive exhibits. En E. Davidsson y A. Jakobsson (Eds.), *Understanding interactions at science centers and museums*. Sensepublishers (pp. 173-192). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-725-7_1
- DeWitt, J., y Archer, L. (2017). Participation in informal science learning experiences: the rich get richer? *International Journal of Science Education, Part B*, 7(4), 356-373 <https://doi.org/10.1080/21548455.2017.1360531>
- Diamond, J. (2006). *Colapso*. Debate.

- Díaz-Moreno, N., y Jiménez-Liso, R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 54-70. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i1.04<http://reuredc.uca.es>
- Dickinson, K. P., Soukamneuth, S., Yu, H. C., Kimball, M., D'amico, R., Perry, R., Kingsley, C., y Curan, S. P. (1998). *Providing educational services in the Summer Youth Employment and Training Program. Technical assistance guide*. Office of Policy and Research Employment and Training Administration U.S. Department of Labor.
- Diederer, J., Gruppen, H., Hartog, R., y Voragen, A. G. J. (2005). Design and evaluation of digital learning material to support acquisition of quantitative problem-solving skills within food chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 14(5-6), 495-507. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-0224-0>
- Dodick, J., y Orion, N. (2003). Measuring Student Understanding of Geological Time. *Science Education*, 87(5), 708-731. <https://doi.org/10.1002/sce.1057>
- Domènech Casal, J. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 249-262. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.851>
- Domènech Casal, J. (2014). ¿Cómo lo medimos? Siete contextos de indagación para detectar y corregir concepciones erróneas sobre magnitudes y unidades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 398-409. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2014.v11.i3.09
- Domènech Casal, J. (2015). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 186-197. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.13
- Domènech-Casal, J. (2018). Comprender, Decidir y Actuar: una propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 15(1), 1105.
- Domènech-Casal, J. (2019). Risk Zone, una actividad de estudio de caso y controversia socio-científica para la enseñanza de los riesgos geológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3201
- Domènech-Casal, J. (2019). *Aprendizaje Basado en Proyectos, trabajos prácticos y controversias: 28 propuestas y reflexiones para enseñar Ciencias*. Octaedro.
- Domènech-Casal, J. (2023). Situaciones de aprendizaje. Ideas para el despliegue curricular de las ciencias. *Ciències*, 45, 73-85. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.469>
- Domènech Casal, J. (2024). *Aprendizaje basado en proyectos para STEM: Breve manual práctico*. Editorial Octaedro. <https://doi.org/10.36006/09525-0>
- Domènech-Casal, J., Rotllan, M., Tor, M., y García, A. (2022). Landscapes. Un proyecto STEM sobre geodinámica externa, riesgos geológicos y sostenibilidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3205. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3205
- Domingo, J. (2008). El aprendizaje cooperativo. *Cuadernos de Trabajo Social*, 21, 231-246.
- Dos Santos, F. M. T., y Mortimer, E. F. (2003). How emotions shape the relationship between a chemistry teacher and her high school students. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1095-1110. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052216>

- Doval, L. (2004). *Tecnología: Estrategia Didáctica*. INET.
- Drissner, J., Haase, H.-M., y Hille, K. (2010). Short-term Environmental Education - Does it work? An evaluation of the 'Green Classroom'. *Journal of Biological Education*, 44, 149-155. <https://doi.org/10.1080/00219266.2010.9656215>
- Driver, R., Guesne, E., y Tiberghien, A. (Eds.). (1985). *Children's Ideas in Science*. Open University Press.
- Driver, R., Guesne, E., y Tiberghien, A. (1989). *Ideas científicas de la infancia y la adolescencia*. Morata.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., y Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. McGraw-Hill Education.
- Driver, R., Newton, P., y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., y Wood-Robinson, V. (1999). *Dando sentido a la Ciencia en secundaria. Investigaciones sobre las ideas de los niños*. Antonio Machado libros.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duncan, R. G., y Hmelo-Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609. <https://doi.org/10.1002/tea.20316>
- Dunlop, L., y Rushton, E. A. C. (2022). Education for environmental sustainability and the emotions: Implications for educational practice. *Sustainability*, 14, 4441. <https://doi.org/10.3390/su14084441>
- Durán Redondo, J. D., y Corbacho Cuello, I. (2022). ¿Huevos de dinosaurio en mi pueblo? Secuencia de aprendizaje de Geología basada en los fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(1), 62-71. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/432541>
- Duschl, R. A., y Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching Nature of Science. *Science & Education*, 22(9), 2109-2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Duschl, R., Maeng, S., y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- Dusturia, N., Nurohman, S., y Wilujeng, I. (2024). Socio-Scientific Issues (SSI) Approach Implementation in Science Learning to Improve Students' Critical Thinking Skills: Systematic Literature Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(3), 149-157. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.6012>
- Eagly, A. H., y Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt publishers.
- Eberbach, C., Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Taylor, J., y Hunter, R. (2021). Multidimensional trajectories for understanding ecosystems. *Science Education*, 105, 521-540. <https://doi.org/10.1002/scs.21613>
- Editorial (2004). Editorial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 1-2. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3967>
- Edo, M., Deulofeu, J., Badillo, E., y Baeza, M. (2008). Estudio del paralelismo entre las fases de resolución de un juego y las fases de resolución de un problema. *Unión. Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 14, 61-75. <https://www.revistaunion.org.fespm.es/index.php/UNION/article/view/1195>

- EDUCAUSE (2025). *Horizon report: Teaching and learning edition*. <https://library.educause.edu/resources/2021/2/horizon-reports>
- Educo (2021). *Vacunas y educación: Cómo la salud infantil favorece el aprendizaje*. <https://www.educo.org/blog/que-son-vacunas-salud-infanti>
- Egan, D., Egan, S. M., y Brophy, T. (2022). The growth of forest school: A review of the evidence base. *An Leabh Og–Irish Journal of Early Childhood Studies*, 15, 1-14.
- Egger, A. (2019). The field as touchstone. *Journal of Geoscience Education*, 67(2), 97–99. <https://doi.org/10.1177/1046878112452639>
- Eisenack, K. (2013). A climate change board game for interdisciplinary communication and education. *Simulation & Gaming*, 44(2–3), 328–348. <https://doi.org/10.1177/1046878112452639>
- Ejarque Ortiz, A., Bravo Torija, B., y Mazas Gil, B. (2016). Diseño e implementación de una actividad de modelización de geología: ¿realmente la corteza es tan gruesa y los volcanes tan profundos? *Revista Internacional de Investigación e Innovación en Didáctica de las Humanidades y las Ciencias*, 3, 9-32.
- Ekman, P. (2003). *Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life*. Henry Holt and Company.
- Ekman, P., y Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 17(2), 124-129. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0030377>
- Ekman, P., y Friesen, W. V. (1976). Measuring facial movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, 1(1), 56-75. <https://doi.org/10.1007/BF01115465>
- Ekman, P., Sorenson, E. R., y Friesen, W. V. (1969). Pan-cultural elements in facial displays of emotion. *Science*, 164(3875), 86-88. <https://doi.org/10.1126/science.164.3875.86>
- El Haj, M., Daoudi, M., Gallouj, K., Moustafa, A. A., y Nandrino, J. L. (2018). When your face describes your memories: facial expressions during retrieval of autobiographical memories. *Reviews in the Neurosciences*, 29(8), 861-872. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2018-0001>
- El-Hani, C. N. (2008). Theory-based approaches to the concept of life. *Journal of Biological Education*, 42(4), 147-149. <https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656126>
- Elby, A., Macrander, C., y Hammer, D. (2016). Epistemic cognition in science. En J. Green *et al.* (Eds.), *Handbook of Epistemic Cognition*, (pp.113-127). Routledge.
- Elías, C. (2008). *Fundamentos de periodismo científico y divulgación mediática*. Alianza Editorial.
- Elvira-Ramírez, E., Martínez Chico, M., Castillo-Hernández, F. J., y Jiménez-Liso, M. R. (2020). “¿Adiós bacterias?”: Uso de pruebas sobre mutualismo en plantas e implicaciones sociales. *Alambique*, 99, 18–27.
- Ennis, R. H. (1996). *Critical thinking*. Prentice Hall.
- Ennis, R. H. (2011). *The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities*. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 26(2), 2. <https://doi.org/10.5840/inquiryctnews201126214>
- Erduran, S. (2021). Respect for evidence: Can science education deliver it? *Science & Education*, 30(3), 441-444. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00245-8>
- Erduran, S. (2022). Trust in science and science education—Part 1. *Science & Education*, 31(5), 1101-1104. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00386-4>
- Erduran, S. (2023). Artificial intelligence and the epistemic aims of science education. *Science & Education*, 32, 1295–1312. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00423-6>

- Erduran, S. (2023). AI is transforming how science is done. Science education must reflect this change. *Science*, 382(6677). <http://dx.doi.org/10.1126/science.adm9788>
- Erduran, S., y Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing nature of science for science education*. Springer.
- Erduran, S., Dagher, Z. R., y McDonald, C. V. (2019). Contributions of the family resemblance approach to nature of science in science education: A review of emergent research and development. *Science & Education*, 28(3-5), 311-328. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00052-2>
- Erduran, S., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (Eds.). (2007). *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Springer.
- Erduran, S., y Levirini, O. (2024). The impact of artificial intelligence on scientific practices: an emergent area of research for science education. *International Journal of Science Education*, 46(18), 1982–1989. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2306604>
- Ergazaki, M., Saltapida, K., y Zogza, V. (2010). From young children's ideas about germs to ideas shaping a learning environment. *Research in Science Education*, 40(5), 699–715. <https://doi.org/10.1007/S11165-009-9140-2>
- Eriksson, S., Gericke, N., y Thörne, K. (2024). Analogy competence for science teachers, *Studies in Science Education*, 1-29. <https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2434797>
- Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., y Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, 59(2), 423–435. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.001>
- Eshach, H. J. (2007). Bridging In-school and Out-of-school learning: formal, non-formal, and informal education. *Journal of Science Education and Technology*, 16, 171-190.
- España-Naveira, P., Cruz-Lorite, I. M., Cebrián-Robles, D., Cabello-Garrido, A., España-Ramos, E., González-García, F. J., y Blanco-López, Á. (2023). Enfoque de cartografía de controversias para abordar cuestiones socialmente vivas desde la enseñanza de la ciencia y la tecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 3101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3101
- España Ramos, E., y Prieto, T. (2009). Educar para la sostenibilidad: el contexto de los problemas socio-científicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 345-354. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.03<http://www.apac-eureka.org/revista>
- España Ramos, E., y Prieto, T. (2010). Los problemas socio-científicos como contexto para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 71, 17-24.
- España-Ramos, E., y Rueda Serón, J. A. (2023). Juego de rol sobre los alimentos transgénicos. En A. J. Franco-Mariscal et al. (Coords.), *El juego de rol como estrategia para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. Aplicado al aula de ciencias* (pp. 45-56). Pirámide.
- España-Ramos, E., Rueda-Serón, J. A., y Blanco-López, A. (2013). Juegos de rol sobre el calentamiento global. Actividades de enseñanza realizadas por estudiantes de ciencias del Máster en Profesorado de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 763-779. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.iextra.18<http://reuredc.uca.es>

- Espinet, M., Izquierdo, M., Bonil, J., y Ramos de Robles, S. L. (2012). The role of language in modeling the natural world: Perspectivas in Science Education. En B. J. Fraser *et al.* (Eds.) *Second Internacional Handbook of Science Education*, 1385-1404.
- Espinoza, R. L., y Salfate, M. A. (2006). Transposición didáctica: una aplicación a la Química. *Educación Química*, 17(3), 328-334. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.3>
- Esquivel-Martín, T., Pérez-Martín, J. M., y Bravo-Torija, B. (2021). The Use of Storytelling to Promote Literacy Skills in Biology Education: An Intervention Proposal. En M. D. Ramírez-Verdugo y B. Otcu-Grillman (Eds.), *Interdisciplinary Approaches Toward Enhancing Teacher Education* (pp. 155-177). IGI Global.
- Esteve, A. R., y Talavera, M. (Eds.) (2020). *Veinte años de avances y nuevos desafíos en la Educación CTS para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Trabajos científicos del VII Seminario Iberoamericano CTS*. Universitat de València. https://aia-cts.web.ua.pt/wp-content/uploads/2020/12/VII_SIACTS_IIBRO-DE-ACTAS.pdf
- Estrella-Torres, A. (2025). *Diagnóstico sobre los Huertos Escolares Agroecológicos (HEA) y otras Iniciativas de Agroecología y Cultura Alimentaria Escolar en España*. Proyecto Enredándonos.
- Estrella-Torres, A., y Jiménez, L. (2020). *Los huertos escolares en España: educando para el cambio*. CENEAM.
- Eugenio-Gozalbo, M., Ferrari, E., y Estrada-Vidal, L. I. (en prensa). School gardens for knowing, doing, and being: validation of a scale to assess learning after garden-based interventions at primary school. *Social Psychology of Education*.
- Eugenio-Gozalbo, M., y Ortega-Cubero, I. (2024). *Drawing our garden's insects: a didactic sequence to improve pre-service teachers' knowledge and appreciation of insect diversity*. *Journal of Biological Education*, 58(3), 512-529. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2081243>
- Eugenio-Gozalbo, M., Ortega-Cubero, I. y Suárez-López, R. (2026). Insect biodiversity: drawing with children as approach to the world of garden insects. En S. Jarau y D. Benkowitz (eds.), *Sustainability Education in School Garden-Based Learning. International Explorations in Outdoor and Environmental Education* (vol. 18, pp. 109-124). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-10273-7_9
- Eugenio-Gozalbo, M., Ramos-Truchero, G., y Suárez-López, R. (2021). University gardens for sustainable citizenship: Assessing the impacts of garden-based learning on environmental and food education at Spanish higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(3), 516-534. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-06-2020-0208>
- Eugenio-Gozalbo, M., Ramos-Truchero, G., y Vallés Rapp, C. (2019). Huertos universitarios: dimensiones de aprendizaje percibidas por los futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(3), 111-127. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2657>
- Eugenio-Gozalbo, M., y Zuazagoitia, D. (Coords.) (2023). *STEAM en el huerto: 10 propuestas de proyecto científico para educación secundaria*. Graó.
- Eugenio-Gozalbo, M., Zuazagoitia, D., y Ruiz-González, A. (2018). Huertos EcoDidácticos y Educación para la Sostenibilidad. Experiencias educativas para el desarrollo de competencias del profesorado en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1501. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1501

- Eugenio-Gozalbo, M., Zuazagoitia, D., Ruiz-González, A., Corrochano, D., Hurtado-Soler, A., y Talavera, M. (2022). Implementing citizen science programmes in the context of university gardens to promote pre-service teachers' scientific literacy: a study case on soil. *International Journal of Science Education*, 44(16), 1619-1638. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2088877>
- European Commission (2004). *Europe needs More Scientists: EU blueprint for action* [Report by the High-Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology]. European Commission.
- European Commission (2005). *Europeans, science and technology* [Special Eurobarometer 224]. European Commission.
- European Commission (2013). *Responsibly research and innovation (RRI), science & technology* [Special Eurobarometer 401]. European Commission.
- Evagorou, M., Puig, B., Bayram, D. D., y Janeckova, H. (2024). *Addressing the gender gap in STEM education across educational levels*. Office for Official Publications of the EC. <https://doi.org/10.2766/260477>
- Evans, C. (2008). The effectiveness of m-learning in the form of podcast revision lectures in higher education. *Computers & Education*, 50, 491-498. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.09.016>
- Evans, G. W., Otto, S., y Kaiser, F. G. (2018). Childhood Origins of Young Adult Environmental Behavior. *Psychological Science*, 29(5), 679-687. <https://doi.org/10.1177/0956797617741894>
- Ezquerria, A., Agen, F., Rodríguez-Arteche, I., y Ezquerria-Romano, I. (2022). Integrating Artificial Intelligence into Research on Emotions and Behaviors in Science Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(4), em2099. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11927>
- Ezquerria, A., Agen, F., Toma, R. B., y Ezquerria-Romano, I. (2023). Using facial emotion recognition to research emotional phases in an inquiry-based science activity. *Research in Science & Technological Education*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2232995>
- Ezquerria, A., y Ezquerria-Romano, I. (2018). From thermosensation to the concepts of heat and temperature: A possible neuroscientific component. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(12), 1-11. <https://doi.org/10.29333/ejmste/97198>
- Ezquerria, A., y Ezquerria-Romano, I. (2019). Using neuroscience evidence to train pre-service physics teachers on the concepts of heat and cold. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287 (1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012038>
- Ezquerria, A., Mafokozi, J. G., Campillejo, A., Benítez, A. E., y Morcillo, J. G. (2019). Tendencias de las investigaciones sobre la ciencia presente en la sociedad: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(3), 31-47. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2727>
- Ezquerria, A., Pamplona, S., Casas-Mas, A., y Nieto-Gómez, I. (2024). Estudio de emociones en un proceso de ruptura cognitiva a través del reconocimiento facial. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(1), 23-42. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5987>
- Ezquerria-Romano, I., y Ezquerria, A. (2017). Highway to thermosensation: a traced review, from the proteins to the brain. *Reviews in the Neurosciences*, 28(1), 45-57. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2016-0039>

- Facione, P. A. (1990). *Critical Thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction*. California Academic Press. <https://www.qcc.cuny.edu/SocialSciences/ppecorino/CT-Expert-Report.pdf>
- Facione, P. A. (2010). *Using the Holistic Critical Thinking Scoring Rubric to Train Discovery of Evidence of Critical Thinking*. <https://www.insightassessment.com/wp-content/uploads/ia/pdf/Using-the-Holistic-Critical-Thinking-Scoring-Rubric-to-Train-Discovery-of-Evidence-of-Critical-Thinking.pdf>
- Falk, J. H., y Dierking, L. D. (2000). *Learning from museums: Visitor experiences and the making of meaning*. AltaMira Press.
- Fayard, P. (2004). *La Comunicación Pública de La Ciencia. Hacia La Sociedad Del Conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Divulgación de la Ciencia.
- Fayzullina, A. R., Filippova, A. A., Garnova, N. Y., Astakhov, D. V., Kalmazova, N., y Zaripova, Z. F. (2025). Artificial intelligence in science education: A systematic review of applications, impacts, and challenges. *Contemporary Educational Technology*, 17(4), ep613. <https://doi.org/10.30935/cedtech/17519>
- Fazio, R. H. (1995). Attitudes as object-evaluation associations: Determinants, consequences, and correlates of attitude accessibility. En R. E. Petty y J. A. Krosnick (Eds.), *Attitude strength: Antecedents and consequences* (pp. 247–282). Lawrence Erlbaum.
- Feinstein, N. (2011). Salvaging science literacy. *Science Education*, 95(1), 168–185. <https://doi.org/10.1002/sce.20414>
- Feinstein, N. W. (2015). Education, communication, and science in the public sphere. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 145–163. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/tea.21192>
- Fensham, P. J. (1988). Approaches to the teaching of STS in science education. *International Journal of Science Education*, 10, 346–356. <https://doi.org/10.1080/0950069880100402>
- Fensham, P. J. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884–896. <https://doi.org/10.1002/tea.20334>
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477–488. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3962>
- Fernández, J. A. (2025). Gamification in the learning of health sciences students: A systematic review. *Journal of Advances in Education, Sciences and Humanities*, 2, 225–242. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16666114>
- Fernández-Carro, R., Vílchez, J. E., Vílchez-González, J. M., y Ezquerra, A. (2023). Multivariate analysis of beliefs in pseudoscience and superstitions among pre-service teachers in Spain. *Science & Education*, 32, 909–925. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00354-y>
- Fernández-Carro, R., Vílchez-González, J. M., Vílchez, J. E., y Ezquerra, A. (2024). Investigating pre-service teachers' use of social media for information about science. *International Journal of Science Education, Part B*, 15(1), 129–143. <https://doi.org/10.1080/21548455.2024.2342038>
- Fernández-Martínez, E., Fuertes-Gutiérrez, I., y Pascual Velasco, P. (2016). Las cintas del tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(2), 222–227. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/312557>

- Fernández-Oliveras, A. (2019). Aprender jugando y la cultura del esfuerzo. *Granada hoy. Ciencia abierta*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/62191>
- Fernández-Oliveras, A. (2019). Aprendizaje lúdico para una educación científica con enfoque STEAM: Actualizando la formación inicial del profesorado de infantil, primaria y secundaria. En M. C. Pérez-Fuentes (Eds.), *Innovación Docente e Investigación en Ciencias de la Educación* (pp. 505-520). Dykinson.
- Fernández-Oliveras, A., Espigares-Gámez, M. J., y Oliveras, M. L. (2021). Implementation of a playful microproject based on traditional games for working on mathematical and scientific content. *Education Sciences*, 11(10), 624. <https://doi.org/10.3390/educsci11100624>
- Fernández-Oliveras, A., Molina, V., y Oliveras, M. L. (2016). Estudio de una propuesta lúdica para la educación científica y matemática globalizada en infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 373-383. <http://hdl.handle.net/10498/18294>
- Ferrada, C., Carrillo-Rosúa, F. J., Díaz-Levicoy, D., y Silva-Díaz, F. (2020). La robótica desde las áreas STEM en educación primaria: Una revisión sistemática. *Education in the Knowledge Society*, 21, e22036. <https://doi.org/10.14201/eks.22036>
- Ferreira, C., Vilches, A., y Gil, D. (2012). Concepciones acerca de la naturaleza de la tecnología y de las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la educación tecnológica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 197-215. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n2.557>
- Ferrés Gurt, C., Marbà, A., y Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22-37. <https://doi.org/10.498/16922>
- Feyerabend, P. (1975). *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge*. New Left Books.
- Filomena, M. G., Pace, B., De Acetis, M., Aquino, A., Crescimbene, M., Pace, M., y Alparone, F. R. (2023). Play to Learn: A Game to Improve Seismic-Risk Perception. *Sustainability*, 15(5), 4639. <https://doi.org/10.3390/su15054639>
- Fischer, C., Malycha, C., y Schafmann, E. (2019). The influence of intrinsic motivation and synergistic extrinsic motivators on creativity and innovation. *Frontiers in Psychology*, 10, 137. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00137>
- Fischer, D., King, J., Rieckmann, M., Barth, M., Büssing, A., Hemmer, I., y Lindau-Bank, D. (2022). Teacher education for sustainable development: A review of an emerging research field. *Journal of Teacher Education*, 73(5), 509-524. <https://doi.org/10.1177/00224871221105784>
- Fitriyani, F., Widiyanto Atmojo, I. R., y Yamtinah, S. (2025). Socio Scientific Issue Approach to Enhance Critical Thinking Skills: A Prisma Systematic Literature Review. *Multidisciplinary Open*, 3, 212. <https://doi.org/10.62486/agmu2025212>
- Francek, M. (2013). A compilation and review of over 500 geoscience misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.736644>
- Franco Gómez, S. M. (2025). La ética ambiental: Una alternativa desde la educación ambiental para reconstruir un vínculo con el territorio a partir de las emociones. *Revista Multidisciplinaria de Ciencias Ambientales*, 4(4), 46-59. <https://doi.org/10.46380/ecotemas-2025-4-23>

- Franco Hidalgo-Chacón, J. P., Rodríguez-Arteche, I., y Martínez-Aznar, M. M. (2023). Los «clubes de ciencias» como espacio para el desarrollo de competencias, actitudes e identidades científicas. *Boletín de la AIA-CTS*, 18, 70–78.
- Franco-Mariscal, A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 231-252. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1645>
- Franco-Mariscal, A. J. (ed.) (2024). *Critical Thinking in Science Education and Teacher Training*. Springer Nature.
- Franco Mariscal, A. J., Cano-Iglesias, M. J., España-Ramos, E., y Blanco-López, A. (2024). The ENCIC-CT model for the development of critical thinking. En A. J. Franco-Mariscal (Ed.), *Critical thinking in science education and teacher training*. *Contemporary Trends and Issues in Science Education*, (Vol. 64, pp. 3-42). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78578-8_1
- Franco-Mariscal, A. J., Hierrezuelo-Osorio, J. M., Cano-Iglesias, M. J., y Blanco-López, A. (Coords.). (2023). *El juego de rol como estrategia para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. Aplicado al aula de ciencias*. Pirámide.
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva-Martínez, J. M., y Almoraima Gil, M. L. (2015). Students' perceptions about the use of educational games as a tool for teaching the periodic table of elements at the high school level. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 278-285. <https://doi.org/10.1021/ed4003578>
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva, J. M., y Bernal, S. (2012). An educational card game for learning families of chemical elements. *Journal of Chemical Education*, 89(8), 1044-1046. <https://doi.org/10.1021/ed200542x>
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva-Martínez, J. M., Blanco-López, Á., y España-Ramos, E. (2016). A game-based approach to learning the idea of chemical elements and their periodic classification. *Journal of Chemical Education*, 93(7), 1173-1190. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00846>
- Fraser, B. J., y Tobin, K. G. (Eds.) (1998). *Internacional Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers.
- Fraser, B. J., Tobin, K. G., y McRobbie, C.J. (Eds.) (2012). *Second Internacional Handbook of Science Education*. Spinger.
- Friedman, B. H., Stephens, C. L., y Thayer, J. F. (2014). Redundancy analysis of autonomic and self-reported responses to induced emotions. *Biological Psychology*, 98, 19-28. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.biopsycho.2013.12.006>
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología [FECYT] (2002); (2004); (2006); (2008); (2010); (2012); (2014); (2016); (2018); (2020); (2022); (2024). *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología*. Ministerio de Ciencia e Innovación. <https://www.fecyt.es/es/noticia/encuestas-de-percepcion-social-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-espana>
- Fundación SM (2023). *El profesorado en España 2023*. EDUCO Barómetro. Equipo Fundación SM.
- Furió, C., y Guisasaola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 441-452.
- Ga, S. H., y Chang, C. Y. (2025). Developing affordable and research-grade measurement devices with Arduino for school science: A guide for non-coders. *Journal of Chemical Education*, 102(1), 404–409. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00998>

- Gabel, D. (Ed.) (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. McMillan Pub.
- Galarovsky, L., y Ardúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la Enseñanza de las Ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- Gallardo González, I., Costillo Borrego, E., Bravo Lucas, E., y Marcos-Merino, J. M. (2025). Las rocas y los minerales en Educación Infantil: una intervención experimental basada en el contexto minero. *Ápice*, 9(1), 135-155. <https://doi.org/10.17979/arec.2025.9.1.11375>
- Gallego Martínez, N. J. (2025). *Relevancia de las tecnologías digitales en las prácticas pedagógicas para el área de ciencias naturales de la educación básica: Un aporte desde el aprendizaje significativo* (Tesis doctoral). Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico Rural “Gervasio Rubio”.
- Gao, X., Li, P., Shen, J., y Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>
- García, I. (1998). Promoción de la salud en el medio escolar. *Revista Española Salud Pública*, 72(4), 285-287.
- García, S. (2008). La formación del profesorado de Educación Infantil. *Actas del XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 246-255. Universidad de Almería.
- García Barros, S., y Martínez Losada, C. (2013). El estudio de la célula, punto de partida o de llegada en la formación docente. *Alambique*, 73, 44-52.
- García-Carmona, A. (2008). Relaciones CTS en la educación científica básica. II: investigando los problemas del mundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), 389-402. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3750>
- García-Carmona, A. (2011). *Aprender física y química mediante secuencias de enseñanza investigadoras*. Aljibe.
- García-Carmona, A. (2012). Cómo enseñar Naturaleza de la Ciencia (NDC) a través de experiencias escolares de investigación científica. *Alambique*, (72), 55-63.
- García-Carmona, A. (2014). Naturaleza de la ciencia en noticias científicas de la prensa: Análisis del contenido y potencialidades didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 493-509. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1307>
- García-Carmona, A. (2021). Aprender química y sobre naturaleza de la práctica científica mediante prácticas epistémicas y no-epistémicas. *Educación Química*, (29), 41-47. <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.224>
- García-Carmona, A. (2021). Learning about the nature of science through the critical and reflective reading of news on the COVID-19 pandemic. *Cultural Studies of Science Education*, 16(4), 1015-1028. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10092-2>
- García-Carmona, A. (2021). Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1108. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1108
- García-Carmona, A. (2021). The nature of science in the Spanish literature on science education: a systematic review covering the last decade. *Revista de Educación*, (394), 231-258. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2021-394-507>

- García-Carmona, A. (2022). La naturaleza de la ciencia en las metas de aprendizaje de las sucesivas reformas curriculares en España: un análisis desde la tradición CTS. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 17(51), 77-94. <http://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/320>
- García-Carmona, A. (2022). Spanish science teacher educators' preparation, experiences, and views about nature of science in science education. *Science & Education*, 31(3), 685-711. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00263-6>
- García-Carmona, A. (2023). Improving preservice primary teachers' understanding of the nature of methods of science through reflective reading of news articles. *Science & Education*, 32(6), 1847-1867. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00338-y>
- García-Carmona, A. (2024). "¿El coronavirus es un ser vivo?". Una situación de aprendizaje basada en la lectura para tratar la *revisabilidad* del conocimiento científico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(3), 3205. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i3.3205
- García-Carmona, A. (2025). Are There Compelling Reasons to Establish a Connection between STEM and STS Education? *Revista Trilogía*, 17(35), e3350. <https://doi.org/10.22430/21457778.3350>
- García-Carmona, A. (2025). Scientific thinking and critical thinking in science education. *Science & Education*, 34(1), 227-245. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00460-5>
- García-Carmona, A. (2025). The non-epistemic dimension, at last a key component in mainstream theoretical approaches to teaching the nature of science. *Science & Education*, 34(3), 1149-1165. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00495-2>
- García-Carmona, A., y Acevedo-Díaz, J. A. (2018). The nature of scientific practice and science education. *Science & Education*, 27(5-6), 435-455. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9984-9>
- García-Carmona, A., Manassero-Mas, M. A., y Vázquez-Alonso, A. (2012). Comprensión de los estudiantes sobre naturaleza de la ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 23-34. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n1.442>
- García-Carmona, A., y Toma, R. B. (2024). Integration of engineering practices into secondary science education: Teacher experiences, emotions, and appraisals. *Research in Science Education*, 54, 549-572. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10152-3>
- García-Carmona, A., Toma, R. B., y Quílez, J. (2026). Examining the Effects of Integrated STEM Education vs. non integrated STEM Education Rigorously: A Commentary on Chen et al.'s Meta-analysis. *Review of Educational Research*. <https://doi.org/10.3102/00346543261418042>
- García-Carmona, A., Vázquez-Alonso, A., y Manassero-Mas, M. A. (2011). Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 403-412. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n3.443>
- García Cruz, C. M. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 323-330. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4135>
- García Cruz, C. M. (2020). Algunas observaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de la escala de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 28(3), 278-286. <http://raco.cat/index.php/ECT/article/view/413704>

- García Fernández, B., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2022). Alfabetización científica, CTSA y pensamiento crítico. Conceptualización y aplicaciones en el ámbito educativo. *Ápice*, 6(2), 17-31. <https://doi.org/10.17979/arec.2022.6.2.9046>
- García-Fuentes, O., Raposo, M., y Martínez, M. E. (2023). El enfoque educativo STEAM: una revisión de la literatura. *Revista Complutense de Educación*, 34(1), 191-202. <https://doi.org/10.5209/rced.77261>
- García-Gómez, S., y Gil, J. (2022). El profesorado y los enfoques innovadores en centros de educación secundaria en España. *Education Policy Analysis Archives*, (30), 167-167. <https://doi.org/10.14507/epaa.30.7419>
- García González, E. M., y Schenetti, M. (2019). Las escuelas al aire libre como contexto para el aprendizaje de las ciencias en infantil. El caso de la Scuola nel BoscoVilla Ghigi. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3102. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2204
- García-Hernández, A., García-Valcárcel Muñoz-Repiso, A., Casillas-Martín, S., y Cabezas-González, M. (2023). Sustainability in digital education: A systematic review of innovative proposals. *Education Sciences*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.3390/educsci13010033>
- García-Molina, R. (2011). Presentación del monográfico sobre ciencia recreativa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8 (Núm. Extraordinario), 365-369. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2011.v8.iextra.01
- García-Molina, R. (2011). Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8 (Núm. Extraordinario), 370-392. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2011.v8.iextra.02
- García-Monge, A., Rodríguez-Navarro, H., Bores-García, D., y González-Calvo, G. (2023). Electroencephalography in naturalistic and semi-naturalistic educational contexts: A systematic review. *Review of Education*, 11(3), e70020. <https://doi.org/10.1002/rev3.70020>
- García-Pérez, J. A., Cebrián-Robles, D., y Blanco-López, A. (2025). Análisis del efecto de los debates orales estructurados sobre la competencia argumentativa de estudiantes de Biología de Bachillerato. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(3), 3202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i3.3202
- García Rovira, M. P. (2005). Los modelos como organizadores del currículo en Biología. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra). VII International Conference, 1-6.
- García-Ruiz, C., Torres-Blanco, V., y Lupión-Cobos, T. (2022). Analizando la alfabetización en salud sobre COVID-19 del profesorado en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3603 https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3603
- García Ruiz, O., y Romero López, M. C. (2022). Dificultades para diferenciar microbios y bacterias en el alumnado de educación secundaria obligatoria. En O. Bernad Caverio et al. (Eds.), *Gestionando conocimientos bajo nuevos prismas*. Aranzadi
- Gardner, P. L. (1975). Attitudes to Science: A review. *Studies in Science Education*, 2(1), 1-41.
- Garrido, A., y Couso, D. (2025). The IPM cycle: An instructional tool for promoting students' engagement in modeling practices and construction of models. *Journal of Research in Science Teaching*, 62(2), 389-626. <https://doi.org/10.1002/tea.21979>

- Garrido-Navas, C. (2025). *Recursos Cogen*. <https://www.congen.es/recursos/>
- Garritz, A. (2009). La afectividad en la Enseñanza de las Ciencias. 8ª Convención nacional y 1ª Internacional de profesores de Ciencias Naturales. *Educación Química*, nº Extra, 212-219.
- Garritz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106-110.
- Garritz, A. (2010). Pedagogical Content Knowledge and the affective domain of Scholarship of Teaching and Learning. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 4(2), 1-6. <https://doi.org/10.20429/ijstol.2010.040226>
- Gauld, C. F., y Hukins, A. A. (1980). Scientific attitudes: A review. *Studies in Science Education*, 7, 129-161.
- Gavidia, V. (2001). La transversalidad y la escuela promotora de salud. *Revista Española de Salud Pública*, 75(6), 505-516.
- Gavidia, V. (2005). Los retos de la divulgación y enseñanza científica en el próximo futuro. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 19, 91-102. <https://doi.org/10.7203/dces.19.2443>
- Gavidia, V. (2009). El profesorado ante la Educación y Promoción de la Salud en la escuela. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 23, 171-180.
- Gavidia, V. (2016). *Los ocho ámbitos de la Educación para la Salud en la Escuela*. Tirant Humanidades.
- Gavidia, V., y Rodes, M. J. (2000). *Desarrollo de la Educación para la Salud y del Consumidor en los Centros Docentes*. Ministerio de Educación y Cultura.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive science*, 7(2), 155-170. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(83\)80009-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(83)80009-3)
- Gentner, D., y Holyoak, K. J. (1997). Reasoning and learning by analogy: Introduction. *American psychologist*, 52(1), 32. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.32>
- George, R. (2000). Measuring change in students' attitudes toward science over time: An application of latent variable growth modeling. *Journal of Science Education and Technology*, 9, 213-225.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK summit. En A. Berry *et al.* (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 28-42). Routledge.
- Gess-Newsome, J., y Lederman, N. G. (Eds.). (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and Its Implications for Science Education*. Kluwer Academic Publishers.
- Giannakos, M., Azevedo, R., Brusilovsky, P., Cukurova, M., Dimitriadis, Y., Hernandez-Leo, D., ... Rienties, B. (2025). The promise and challenges of generative AI in education. *Behaviour & Information Technology*, 44(11), 2518-2544. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2024.2394886>
- Giere, R. N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el Razonamiento Científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 63-70.
- Giffney, S., y Lane, D. (2025). Towards an integrated model of STEM education in secondary schools: perspectives of practicing teachers in Ireland. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10798-025-09971-4>
- Gil Madrona, P., Martínez, M., y Sáez, M. B. (2019). Factores objetivos y subjetivos asociados al rendimiento del alumnado español en ciencias en PISA 2015. *Cultura y Educación*, 31(4), 671-715. <https://doi.org/10.1080/11356405.2019.1656485>

- Gil Pérez, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 154-164. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4438>
- Gil Pérez, D. (1996). New trends in Science Education. *International Journal of Science Education*, 18(8), 889-901.
- Gil Pérez, D., Carrascosa, J., Dumas-Carré, A., Furió, C., Gallego, N., Gené, A., González, E., Guisasola, J., Martínez, J., Pessoa, A., Salinas, J., Tricárico, H., y Valdés, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4077>
- Gil Pérez, D., Carrascosa, J., y Martínez-Torregrosa, J. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En F. Perales y P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 11-36). Marfil.
- Gil Pérez, D., Carrascosa, J., y Martínez Terrades, J. (2001). Estatus de la Didáctica de las Ciencias. En F. Perales et al. (Eds.), *Las Didácticas de las Áreas Curriculares en el siglo XXI* (pp. 65-81).
- Gil-Pérez, D., Praia, J. F., y Vilches, A. (2020). 20 años de reivindicación y promoción de la “A” de Ambiente: de CTS a CTSA. *Boletín de la AIA-CTS*, 12, 168-172.
- Gil Pérez, D., y Vilches, A. (2006). ¿Cómo puede contribuir el proyecto PISA a la mejora de la Enseñanza de las Ciencias (y de otras áreas de conocimiento)? *Revista de Educación*, (nº. extra), 295-311.
- Gil Pérez, D., y Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de Educación* 42, 31-53.
- Gil Pérez, D., y Vilches, A. (2023). Cómo avanzar en la necesaria transición a la Sostenibilidad. *Ciência & Educação*, 23, e-23027. <https://doi.org/10.1590/1516-731320230027>
- Gilbert, J. K. (1995). La educación tecnológica: una nueva asignatura en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 15-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4279>
- Gilbert, J. K. (2004). *Models and Modelling in Science and Technology Education*. Academic Publishers.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of “context” in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Gilbert, J. K., y Boulter, C. J. (2000). *Developing Models in Science Education*. Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., y Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*. Springer.
- Gilbert, J. K., y Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. En J. K. Gilbert y D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education. Models and Modeling in Science Education*, vol 4. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_1
- Gilmartin, S. K., Li, E., y Aschbacher, P. (2006). The relationship between interest in physical science/engineering, science class experiences, and family contexts: Variations by gender and race/ethnicity among secondary students. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, 12, 179-207.
- Gill, D. D. (2025). An Update to the Technology Education Teaching Framework: Factors that Support and Hinder Technology Education Teachers in Canada. *International Journal of Technology and Design Education*, 35(1), 171-187. <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09907-4>

- Giordan, A., y De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchatel: Delachauz & Niestlé. (Traducción al castellano: *Los orígenes del saber*. Díada, 1988)
- Girón-Gamero, J. R., Blanco López, A., y Lupión-Cobos, T. (2015). Uso de la publicidad de un producto alimenticio para aprender un modelo sobre las defensas en el intestino humano. Un estudio en 3º de ESO. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 278-293. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i2.04<http://reuredc.uca.es>
- Glyn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikerman, M., y Muth, K. D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. En J. A. Glover *et al.* (Eds.), *A handbook of creativity: Assesment, research and theory*. Plenum.
- Gobierno de España. Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030 (2020). *Estrategia Española de Desarrollo Sostenible 2030. Un proyecto de País para hacer realidad la Agenda 2030*. <https://www.dsca.gob.es/sites/default/files/derechos-sociales/eds-cast-acce.pdf>
- Gobierno de España. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (2021). *Plan de Acción de Educación Ambiental para la Sostenibilidad (2021-2025)*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/ceneam/plan-accion-educacion-ambiental/plandeacciondeeducacionambientalparalasostenibilidad2021-202508-21_tcm30-530040.pdf
- Gobierno Vasco (2023). Decreto 75/2023, de 30 de mayo, de establecimiento del currículo de la Educación Infantil de la Comunidad Autónoma de Euskadi. *Boletín Oficial del País Vasco*, n.º 109, de 9 de junio de 2023. <https://www.euskadi.eus/bopv2/datos/2023/06/2302724a.pdf>
- Gómez-Gómez, M., y García-Lázaro, D. (2023). Concienciación y conocimientos sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la formación del profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 27(3), 243-264. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v27i3.27948>
- Gómez-Ochoa de Alda, J., Marcos-Merino, J. M., y Esteban-Gallego, R. (2024). Enseñanza interdisciplinar para la introducción de la evolución molecular mediante analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(1), 1204. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1204
- Gómez Urquiza, J. L. (2019). Gamificación y aprendizaje basado en juegos en la docencia en Enfermería. *Metas de Enfermería*, 22, 5–19. <https://doi.org/10.35667/metasenf.2019.22.1003081391>
- González-García, F. (2024, 4-6 septiembre). Ciencia Abierta, doce años en perspectiva. Presentación oral. *31 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Burgos, España.
- González-García, F. (2025). *Ciencia Abierta*. <https://cienciaabierta.es>
- González-García, F., y Jiménez-Liso, R. (2005). Escribir ciencia para enseñar y divulgar o la ciencia en el lecho de Procusto. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 43, 8-20.
- González García, M. I., López Cerezo, J. A., y Luján, J. L. (1996). *Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Tecnos.
- González-Lucini, F. (1993). *Los temas transversales y educación en valores*. Alauda.
- González-Picáns, A., y Puig, B. (2017). Analizar una problemática ambiental local para practicar la argumentación en clase de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de*

- las Ciencias*, 16(2). 280-297. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2204
- González-Robles, A., y Vázquez-Vílchez, M. (2022). Propuesta educativa para promover compromisos ambientales a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bachillerato: el juego S.O.S. Civilizaciones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1103. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1103
- González-Rodríguez, L., y Crujeiras-Pérez, B. (2024). Actividades para desarrollar el conocimiento epistémico y el pensamiento crítico a través de la indagación científica en el laboratorio escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(3), 3201. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.3201
- Granda, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 239-243. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5100>
- Gray, M. E., y Holyoak, K. J. (2021). Teaching by Analogy: From Theory to Practice. *Mind, Brain, and Education*, 15, 250-263. <https://doi.org/10.1111/mbe.12288>
- Gray, R., y Campbell, T. (2025). *Model Based Inquiry. Equity & Social Justice*. <https://www.modelbasedinquiry.com/support/equity-social-justice>
- Gray, S., Sterling, E. J., Aminpour, P., Goralnik, L., Singer, A., Wei, C., Akabas, S., Jordan, R. C., Giabbanelli, P.J., Hodbod, J., Betley, E., y Norris, P. (2019). Assessing (Social-Ecological) Systems Thinking by Evaluating Cognitive Maps. *Sustainability*, 11(20), 5753. <https://doi.org/10.3390/su11205753>
- Greca, I. M., Ortiz-Revilla, J., y Arriassecq, I. (2021). Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje STEAM para Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1802
- Gregory, J., y Miller, S. (1998). *Science in Public: Communication, Culture and Credibility*. Plenum Press.
- Griffin, J. (1998). Learning science through practical experiences in museums. *International Journal of Science Education*, 20(6), 655-663. <https://doi.org/10.1080/0950069980200603>
- Griffin, J., y Symington, D. (1997). Moving from task-oriented to learning-oriented strategies on school excursions to museums. *Science Education*, 81, 763-779. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199711\)81:6<763::AID-SCE11>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199711)81:6<763::AID-SCE11>3.0.CO;2-O)
- Grobler, S., y Dittrich, A. K. (2024). Envisioning quality education for sustainability transformation in teacher education: Perspectives from an international dialogue on SDG 4. *International Journal of Comparative Education and Development*, 26(3), 270-285. <https://doi.org/10.1108/IJCED-06-2023-0048>
- Grossman, P. (ed.) (2018). *Teaching core practices in teacher education*. Harvard Education Press.
- Guerra, A., Chen, J., Du, X., Nielsen, H., y Kørnøv L. (2024). Teacher's agency in education for sustainable development: an East-West collaborative Erasmus programme using Q methodology. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(9), 155-176. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2023-0155>
- Guijarro Serrano, C., y Robles Moral, F. J. (2024). Los Terremotos a través de un Escape Room Educativo para 4º ESO. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 46, 157-174. <https://doi.org/10.7203/DCES.46.27908>

- Guisasola, J., y Morentin, M. (2005). Museos de ciencias y aprendizaje de las ciencias: una relación compleja. *Alambique*, 43, 58–66.
- Guisasola, J., y Morentín, M. (2010). Concepciones del profesorado sobre visitas escolares a museos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 127–140. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/189101>
- Guisasola, J., Morentin, M., y Zuza, K. (2005). School visits to science museums and learning sciences: A complex relationship. *Physics Education*, 40, 544. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/40/6/006>
- Gumbo, M., Makgato, M., y Muller, H. (2012). The Impact of In-Service Technology Training Programmes on Technology Teachers. *Journal of Technology Studies*, 38(1), 23-33. <https://jotsjournal.org/articles/61>
- Gumede, L. P., y Photo, P. (2024). Science teachers' perspectives and prior practices for science centre visit: strategies development. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 6(27). <https://doi.org/10.1186/s43031-024-00117-5>
- Gutiérrez, J., y Pirrami, F. (2011). Water as Focus of Problem-Based Learning: An Integrated Curricular Program for Environmental Education in Secondary School. *US-China Education Review*, 2, 270-280. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED528324.pdf>
- Gutiérrez, R. (1987). La investigación en Didáctica de las Ciencias. Elementos para su comprensión. *Bordón*, 268, 339-362.
- Gutiérrez-García, L., Sánchez-Martín, J., Blanco-Salas, J., Ruiz-Téllez, T., y Corbacho-Cuello, I. (2024). Use of aromatic plants and essential oils in the teaching of physics and chemistry to enhance motivation and sustainability awareness among primary education trainee teachers. *Heliyon*, 15, e35301. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35301>
- Gutiérrez Pérez, J. (2008). Tendencias metodológicas contemporáneas de la investigación en Didáctica de las Ciencias. *Actas del XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 1284-1308. Universidad de Almería.
- Gutiérrez-Pérez, J., Poza, M. F., y Gutiérrez-Pozo, M. (2015). Progresión-disrupción en el desarrollo de actitudes ambientales. *Alambique*, 79, 45-52.
- Gutwill, J. P., y Allen, S. (2012). Deepening students' scientific inquiry skills during a science museum field trip. *Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 130–181. <https://doi.org/10.1080/10508406.2011.555938>
- Guzman, A., y Nussbaum, M. (2009). Teaching Competencies for Technology Integration in the Classroom. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(5), 453-469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00322.x>
- Hackl-Wimmer, S., Lackner, H. K., Eglmaier, M. T. W., Eichen, L., y Paechter, M. (2025). Utilizing ECG data in educational psychology research: insights and limitations. *Frontiers in Psychology*, 16, 1440721. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1440721>
- Haglund, J. (2013). Collaborative and self-generated analogies in science education. *Studies in science Education*, 49(1), 35-68. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.801119>
- Hajj-Hassan, M., Chaker, R., y Cederqvist, A. M. (2024). Environmental education: A systematic review on the use of digital tools for fostering sustainability awareness. *Sustainability*, 16(9), 3733. <https://doi.org/10.3390/su16093733>
- Halpern, D. F. (1987). Analogies as a critical thinking skill. En D. E. Berger *et al.* (Eds.), *Applications of cognitive psychology: Problem solving, education, and computing* (pp. 75–86). Lawrence Erlbaum.

- Hamed, S. (2017). *La progresión en el aprendizaje sobre la Enseñanza de las Ciencias basada en la investigación escolar. Un estudio con maestros en formación inicial*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Sevilla.
- Handri, S., Yajima, K., Nomura, S., Ogawa, N., Kurosawa, Y., y Fukumura, Y. (2010). Evaluation of student's physiological response towards e-learning courses material by using gsr sensor. En *2010 IEEE/ACIS 9th International Conference on Computer and Information Science* (pp. 805-810). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2010.92>
- Hansen, J. A., Barnett, M., MaKinster, J. G., y Keating, T. (2004). The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a quantitative analysis. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1555-1575. <https://doi.org/10.1080/09500690420001673766>
- Hapidin, Gunarti, W., Pujianti, Y., y Siti Syarah, E. (2020). STEAM to R-SLAMET modification: An integrative thematic play based learning with R-SLAMETS content in early childhood education. *JPUD - Jurnal Pendidikan Usia Dini*, 14(2), 262-274. <https://doi.org/10.21009/JPUD.142.05>
- Harder, M. K., Velasco, I., Burford, G., Podger, D., Janoušková, S., Piggot, G., y Hoover, E. (2014). Reconceptualizing “effectiveness” in environmental projects: Can we measure values-related achievements? *Journal of Environmental Management*, 139, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.022>
- Harlen, W. (ed.). (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education.
- Harvard Graduate School of Education (2022). *Project Zero's Thinking Routine Toolbox*. Project Zero. <https://pz.harvard.edu/thinking-routines>
- Hasenhütl, S., Luttenberger, S., Macher, D., Eichen, L., Eglmaier, M. T. W., y Paechter, M. (2024). Empowering educators: A training for pre-service and in-service teachers on gender-sensitive STEM instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(6), em2452. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14590>
- Haudek, K. C., y Zhai, X. (2024). Examining the effect of assessment construct characteristics on machine learning scoring of scientific argumentation. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34, 1482-1509. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00385-8>
- Heller, A. (2022). Conceptual change in science teaching and learning: The role of pre-instructional conceptions. *Learning to Teach Language Arts, Mathematics, Science, and Social Studies Through Research and Practice*, 11, 1. <https://openjournals.utoledo.edu/index.php/learningtoteach/article/view/584>
- Hernández-Álvarez, W., Vega-Santofimio, H. D., Cuéllar-Guarnizo, J. A., y Gutiérrez-Cárdenas, M. A. (2024). Tecnología para el aprendizaje: Una reflexión desde la robótica educativa y STEM en el desarrollo de competencias del siglo XXI. *Praxis*, 20(3), 635-652.
- Hernández del Barco, M., Cañada, F., Corbacho, I., y Sánchez-Martín, J. (2021). An Exploratory Study Interrelating Emotion, Self-Efficacy and Multiple Intelligence of Prospective Science Teachers. *Frontiers in Education*, 6, 604791. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.604791>
- Hernández del Barco, M., Corbacho Cuello, I., y Sánchez Martín, J. (2021). Estudio comparativo de diferentes estrategias de aprendizaje basado en juegos: rendimiento emocional de maestros en formación durante el aprendizaje de las ciencias. *Revista*

- Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática*, 2, 1-25. <http://hdl.handle.net/10662/20769>
- Hernández del Barco, M., Sánchez-Martín, J., Corbacho, I., y Cañada, F. (2021). Emotional Performance of a Low-Cost Eco-Friendly Project Based Learning Methodology for Science Education: An Approach in Prospective Teachers. *Sustainability*, 13(6), 3385. <https://doi.org/10.3390/su13063385>
- Hernández del Barco, M., Sánchez-Martín, J., Corbacho, I., y Cañada, F. (2022). Is sustainability an exhausted concept? Bridging the gap from environmental awareness to emotional proficiency in science education through integral sustainability. *Heliyon*, 12, e12546. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12546>
- Hernández-Mustieles, M. A., Lima-Carmona, Y. E., Pacheco-Ramírez, M. A., Mendoza-Armenta, A. A., Romero-Gómez, J. E., Cruz-Gómez, C. F., ... y Lozoya-Santos, J. D. J. (2024). Wearable biosensor technology in education: A systematic review. *Sensors*, 24(8), 2437. <https://doi.org/10.3390/s24082437>
- Herrada Valverde, R. I., y Baños Navarro, R. (2018). Revisión de experiencias de aprendizaje cooperativo en ciencias experimentales. *Campo Abierto. Revista de Educación y Psicología*, 37(2), 157-170. <https://doi.org/10.17398/0213-9529.37.2.157>
- Herrero, Y. (2013). Miradas ecofeministas para transitar a un mundo justo y sostenible. *Revista de Economía Crítica*, 16, 278-307.
- Hesse, M. (1963). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press.
- Hewson, P. W., y Hewson, M. G. (1987). Science teacher's conceptions of teaching: Implications for teacher education. *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440.
- Hewson, P. W., y Hewson, M. G. (1989). Analysis and use of a task for identifying conceptions of teaching science. *Journal of Education for teaching*, 15(3), 191-209.
- Heywood, D. (2002). The Place of Analogies in Science Education. *Cambridge Journal of Education*, 32(2), 233-247. <https://doi.org/10.1080/03057640220147577>
- Hierrezuelo-Orsorio, J. M., Franco-Mariscal, A. J., y Blanco-López, A. (2022). Uso de dilemas socio-científicos para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en docentes en formación inicial. Percepciones del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 97(36.1), 99-122. <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92435>
- Hill, J. L., van Driel, J., Seah, W. T., y Kern, M. L. (2024). Students' values in science education: a scoping review. *Studies in Science Education*, 61(2), 275-327. <https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2412456>
- Hinojosa, J., y Sanmartí, N. (2016). Promoviendo la autorregulación en la resolución de problemas de física. *Ciência y Educação*, 22(1), 7-22.
- Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., y Eyer, D. (2003). *Einstein never used flashcards: how our children really learn—And why they need to play more and memorize less*. Rodale Books.
- Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72, 19-40.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 1485, 541-566.
- Hodson, D. (1993). In Search of a Rationale for Multicultural Science Education. *Science Education*, 77(6), 585-711. <https://doi.org/10.1002/sce.3730770613>

- Hofstein, A. (2017). The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.) *Science Education. An International Course Companion* (pp. 357-368). Sense Publishers.
- Högström, P., Gericke, N., Wallin, J., y Bergman, E. (2025). Teaching Socioscientific Issues: A Systematic Review. *Science & Education*, 34, 3079–3122. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00542-y>
- Horvers, A., Tombeng, N., Bosse, T., Lazonder, A. W., y Molenaar, I. (2021). Detecting emotions through electrodermal activity in learning contexts: A systematic review. *Sensors*, 21(23), 7869. <https://doi.org/10.3390/s21237869>
- Höttecke, D., y Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, 104(4), 641-666. <https://doi.org/10.1002/sce.21575>
- Hou, J., Lee, J. F., y Doherty, S. (2025). State-of-the-Art of Eye Tracking in Mobile-Assisted Learning Studies: A Review of Twenty Years of Empirical Studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(1), e13118. <https://doi.org/10.1111/jcal.13118>
- Hoyle, R. H., Borsboom, D., y Tay, L. (2025). Measuring Constructs. En D. T. Gilbert *et al.* (Eds.), *The handbook of social psychology* (6th ed.). Situational Press. <https://doi.org/10.70400/OUQF7656>
- Huidobro, C., Torralba-Burrial, A., y Montejo-Bernardo, J. M. (2025). Primary Reactions Race: Exploring Basic Chemical Reactions in a Didactic Board Game for Future Educators. *Journal of Chemical Education*, 102(2), 688-696. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01192>
- Huidobro, J. M., y Vergara, M. (2016). *Las tecnologías que cambiaron la historia: El apasionante viaje desde la telegrafía hasta el mundo digital*. Ariel–Fundación Telefónica.
- Huizinga, J. (1944). *Homo Ludens*. Routledge.
- Hurd, P. DeH. (1958). Science literacy: Its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16(1), 13-16.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (1992). *Climate change 1992: The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- IPS Group. (1973). *Curso de introducción a las ciencias físicas. Nivel intermedio*. Reverté.
- Irwin, L. G., Siddiqi, A., y Hertzman, C. (2007). *Desarrollo de la Primera Infancia: Un Potente Ecuilizador. Informe final para la Comisión sobre los Determinantes Sociales de la Salud de la Organización Mundial de la Salud*. Organización Mundial de la Salud.
- Irzik, G., y Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- IUCN (1972). *First European regional conference on environmental education: Final report*. International Union for Conservation of Nature.
- Ivorra-Catalá, E. S., Catret-Mascarell, M., y Moreno-Gálvez, E. (2024). Are our schools carrying out effective environmental education? In-service and pre-service teachers' perceptions. *Social Sciences*, 13(8), 425. <https://doi.org/10.3390/socsci13080425>
- Izard, C. E. (2009). Emotion theory and research: Highlights, unanswered questions, and emerging issues. *Annual Review of Psychology*, 60, 1-25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163539>

- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3861>
- Jarodzka, H., Skuballa, I., y Gruber, H. (2021). Eye-tracking in educational practice: Investigating visual perception underlying teaching and learning in the classroom. *Educational Psychology Review*, 33(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09565-7>
- Jenkins, H. (2005). Game design as narrative architecture. En K. Salen y E. Zimmerman (Eds.), *The game design reader: A rules of play anthology*. MIT press.
- Jeong, J. S., González, D., y Cañada, F. (2021). How does a flipped classroom course affect affective domain toward science course? *Interactive Learning Environments*, 29(5), 707-719. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1636079>
- Jia, F., Sun, D., y Looi, C. (2023). Artificial intelligence in science education (2013–2023): Research trends in ten years. *Journal of Science Education and Technology* 33(4), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10077-6>
- Jiménez, M. A., y Prieto, T. (1996). La investigación en los departamentos –áreas de didáctica de las ciencias experimentales: programas de doctorado y líneas de investigación. En R. Jiménez-Pérez y A. M. Wamba (Eds.), *Avances en Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17-35. Serv. Publicaciones de la Universidad de Huelva.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la biología. En M.P. Jiménez Aleixandre (Ed.), *Enseñar Ciencias* (pp. 119-146). Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2008). La publicación como proceso de diálogo y aprendizaje: el papel de los artículos y revistas en la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), 311-320.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2008). Designing argumentation learning environments. En S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*, (pp. 91-115). Springer.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Graó
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., y Duschl, R. A. (2000). “Doing the lesson” or “Doing science”: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 359–369. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3914>
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. En S. Erduran y M. P. Jiménez Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., y Gallástegui-Otero, J. R. (2006). “Let’s save energy!”: Incorporating an environmental education dimension in the teaching of energy. *Environmental Education Research*, 12(1), 75–83. <https://doi.org/10.1080/1350462950010106>
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Puig, B. (2010). Argumentación en la evaluación de explicaciones causales en ciencias. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 11-19.
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Puig, B. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. En B. J. Fraser et al. (Eds.), *Second international handbook of science education. Volume 2* (pp. 1001-1017). Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., y Puig, B. (2022). Educating critical citizens to face post-truth: The time is now. En B. Puig y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Critical thinking*

- in biology and environmental education. Facing challenges in a post-truth world* (pp. 3–19). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., y Reigosa Castro, C. E. (2006). Contextualizing practices across epistemic levels in the chemistry laboratory. *Science Education*, 90(4), 707-733. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.20132>
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Sanmarti, N. (1997). ¿Qué ciencia enseñar: objetivos y contenidos en la educación secundaria? En L. del Carmen (Coord.). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria* (pp. 17-23). ICE-Horsori.
- Jiménez-Fontana, R., y García -González, E. (2017). Visibilidad de la Educación Ambiental y la Educación para la Sostenibilidad en las publicaciones españolas sobre educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 271-285. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3154>
- Jiménez Fontana, R., Guerrero Fernández, A, Solís Ramírez, E., y Rodríguez Pérez, L. (2024). El papel de las emociones en la alfabetización ambiental de futuros docentes. En M. Díez *et al.* (Coords.), *Sobre la educación científica y el cuidado de la casa común: Necesidades y perspectivas* (pp. 596-618). Dykinson.
- Jiménez-Liso, M. R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). En D. Couso *et al.* (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 53-62). Penguin Random House Grupo Editorial. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Jiménez-Liso, M. R., Castillo-Hernández, F. J., Amat González, A., Martínez-Chico, M., y López-Gay, R. (2018). ¿Motivar para aprender ciencias o aprender ciencias para motivar? Sensopíldoras para “enganchar” a los estudiantes y a sus docentes. *Boletín ENCIC: Revista Del Grupo de Investigación HUM-974*, 2(1), 64–69.
- Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J., y Baños-González, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 5–25. <https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.3032>
- Jiménez-Liso, M. R., Gómez-Macario H., Martínez-Chico M., Garrido-Espeja A., y López Gay, R. (2020). Egagrópilas como fuente de pruebas en una indagación. Percepciones de los estudiantes sobre lo que aprenden y sienten. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1), 1203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1203
- Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L., y Dillon, J. (2020). Changing How We Teach Acid-Base Chemistry. *Science & Education*, 29(5), 1291–1315. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00142-6>
- Jiménez-Liso, M. R., López-Gay, R., y Márquez, M. (2010). Química y cocina: del contexto a la construcción de modelos. *Alambique*, 65, 33–44.
- Jiménez-Liso, M. R., Manuel Torres, E. de, González-García, F., y Salinas-López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 451–461. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4031>
- Jimenez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., Castillo-Hernández, F. J., y López-Gay, R. (2021). Dos momentos clave en la indagación sobre la sal y la nieve: Asombro (¡oh!) y aprendizaje tácito (¡ajá!). En F. Cañada-Cañada y P. Reis (Eds.), *Actas electrónicas del XI*

- Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 2117–2120). <https://congresoenseciencias.org/actas/>
- Jimenez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., y López-Gay, R. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 380101–38012. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3801
- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., López-Gay, R., y Castillo-Hernández, F. J. (2018). ¡Aún no es otoño porque no se han caído todas-todas las hojas! Propuesta de cambio de contenidos sobre las estaciones. *Aula de Innovación Educativa*, 277, 28–33.
- Jiménez-López, R., Cajal-Blasco, B., Palmer-Pol, A., Vázquez-Alonso, A., y Sesé-Abad, A. (2025). Análisis del instrumento RoseS-C: identificación de factores subyacentes y validación de la estructura interna. En M. A. Manassero-Mass y A. Vázquez-Alonso (Eds.), *La relevancia de la educación científica para el siglo XXI en España e Iberoamérica* (pp. 59-84). Narcea Ediciones.
- Jiménez-Pérez, R. (2012). *Ayer, hoy y mañana de la investigación en la Enseñanza de las Ciencias*. Conferencia Plenaria en los XXV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Actas (pp. 21-45). Universidad de Santiago de Compostela
- Jiménez-Valverde, G., Fabre-Mitjans, N., Heras-Paniagua, C., y Guimerà-Ballesta, G. (2025). Tailoring Gamification in a Science Course to Enhance Intrinsic Motivation in Pre-service Primary Teachers. *Education Sciences*, 15(3), 300. <https://doi.org/10.3390/educsci15030300>
- Jin, H., Yan, D., y Krajcik, J. (Eds.). (2025). *Handbook of research on science learning progressions*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003170785>
- Johnson, D. W., y Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Analogy and the exercise of creativity. En S. Vosniadou y A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 313–331). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529863.015>
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and Micro-Chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – Logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>
- Jones, M. G., y Carter, G. (2007). Science Teacher Attitudes and Beliefs. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 1067-1104). Lawrence Erlbaum.
- Jones, N. F., Rassmussen, C. M., y Moffitt, M. C. (1997). *Real-life problem solving: A collaborative approach to interdisciplinary learning*. American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10266-000>
- Jorba, J., Gómez, I., y Prat, A. (2000). *Uso de la lengua en situaciones de enseñanza aprendizaje desde las áreas curriculares*. Ed. Síntesis.

- Joshua, S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'au mathématiques?, En Raisky, C. et Caillot, M. (dir) *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 61-73). De Boeck.
- Juárez-González, P., Cano-Iglesias, M. J., Cebrián-Robles, D. y Franco-Mariscal, A. J. (2025). Elemental Home: A Video Game to Explore Chemistry in Everyday Life. *Journal of chemical education*, 102(8), 3716-3724. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00168>
- Jung, H., Yoo, H. J., Choi, P., Nashiro, K., Min, J., Cho, C., Thayer, J. F., Lehrer, P., y Mather, M. (2025). Changes in negative emotions across five weeks of HRV biofeedback intervention were mediated by changes in resting heart rate variability. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 50(1), 25–48. <https://doi.org/10.1007/s10484-024-09674-x>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3798>
- Justi, R. (2015). Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do ensino de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 17(spe), 31-48. <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s03>
- Justi, R., y Gilbert J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Justi, R., y Gilbert, J. K. (2002). Models and modelling in chemical education. En J. K. Gilbert *et al.* (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (pp. 47–68). Springer.
- Kahan, D. M., Peters, E., Wittlin, M., Slovic, P., Ouellette, L. L., Braman, D., y Mandel, G. (2012). The polarizing impact of science literacy and numeracy on perceived climate change risks. *Nature Climate Change*, 2, 732–735. <https://doi.org/10.1038/nclimate1547>
- Kang, T. (2022). Construction and empirical analysis of citizens' water literacy evaluation index system: a structural equation model. *Water Resources Management*, 36(4), 1393–1411. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03089-1>
- Kapetanakis, C., Conflitti, S., Abdo, S., Wright, L. K., y Newman, D. L. (2024). Constructing analogies: Developing critical thinking through a collaborative task. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 52(5), 569-579. <https://doi.org/10.1002/bmb.21843>
- Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15(3), 169-182. [https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90001-2)
- Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons.
- Kara, Y. (2018). Determining the Effects of Microscope Simulation on Achievement, Ability, Reports, and Opinions about Microscope in General Biology Laboratory Course. *Universal Journal of Educational Research*, 6(9), 1981-1990. <https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8>
- Karisan, D., y Zeidler, D. L. (2017). Contextualization of nature of science within the socioscientific issues framework: A review of research. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 139-152. <https://ijemst.net/index.php/ijemst/article/view/115>

- Kates, R. W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C.C., Lowe, I., McCarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kasperson, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B. Iii., O’riordan, T., y Svedin, U. (2001). Sustainability Science. *Science*, 292(5517), 641-64. <https://doi.org/10.1126/science.1059386>
- Katsaliaki, K., y Mustafee, N. (2015). Serious games for sustainable development. *Simulation & Gaming*, 46 (4-5), 404-429. <https://doi.org/10.1177/1046878114552166>
- Kaushik, S., Dhiman, A., Sharma, C., Bhatia, A., y Sharma, G. (2024). Emotion Recognition in Education: A Bibliometric Analysis of Recent Trends and Technologies. *2024 2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, (pp. 1154-1160). <https://doi.org/10.1109/ICSCSS60660.2024.10625123>
- Kaya, E., y Erduran, S. (2016). From FRA to RFN, or how the family resemblance approach can be transformed for science curriculum analysis on nature of science. *Science & Education*, 25(9-10), 1115-1133. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9861-3>
- Kelley, T. R., y Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kennedy, T., y Odell, M. (2014). Engaging students in STEM education. *Science Education International*, 25(3), 246-258. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1044508.pdf>
- Kerkeni, L., Serrestou, Y., Mbarki, M., Raoof, K., y Mahjoub, M. A. (2017). A review on speech emotion recognition: Case of pedagogical interaction in classroom. En *2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)* (pp. 1-7). IEEE. <http://dx.doi.org/10.52549/ijeei.v6i1.409>
- Kerlow, I., Pedreros, G., y Albert, H. (2020). Earth Girl Volcano: Characterizing and conveying volcanic hazard complexity in an interactive casual game of disaster preparedness and response. *Geoscience Communication*, 3(2), 343-364. <https://doi.org/10.5194/gc-3-343-2020>
- Keskin, Ö., Seidel, T., Stürmer, K., y Gegenfurtner, A. (2023). Eye-tracking research on teacher professional vision: A meta-analytic review. *Educational Research Review*, 100586. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100586>
- Khine, M. S. (2015). *Attitude measurements in science education: classic and contemporary approaches*. Information Age Publishing, Inc. <https://doi.org/10.1108/978-1-68123-086-3>
- Khishfe, R., Alshaya, F. S., BouJaoude, S., Mansour, N., y Alrudiyan, K. I. (2017). Students’ understandings of nature of science and their arguments in the context of four socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 39(3), 299-334. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1280741>
- Khishfe, R., y Lederman, N. (2007). Relationship between instructional context and views of nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(8), 939-961. <https://doi.org/10.1080/09500690601110947>
- Kiboss, J. K. (2002). Impact of a computer-based physics instruction program on pupils’ understanding of measurement concepts and methods associated with school science. *Journal of Science Education and Technology*, 11(2), 193-198.
- Kim, H., y Chae, D.-H. (2016). The development and application of a STEAM program based on traditional Korean culture. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1925-1936. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1539a>

- Kim, H. J., Park, Y., y Lee, J. (2024). The validity of heart rate variability (HRV) in educational research and a synthesis of recommendations. *Educational Psychology Review*, 36(2), 42. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09878-x>
- Kim, M., y Dopico, E. (2016). Science education through informal education. *Cultural Studies of Science Education*, 11(2), 439–445. <https://doi.org/10.1007/s11422-014-9639-3>
- Kim, P. W. (2016). The wheel model of STEAM education based on traditional Korean scientific contents. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9), 2353-2371. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1263a>
- Kim, S., Song, K., Lockee, B., y Burton, J. (2018). *Gamification in Learning and Education. Enjoy Learning Like Gaming*. Springer.
- Kim, W. J. (2025). Teachers' Use of Generative Artificial Intelligence for Designing Science Lessons in Support of Environmental Science Agency. *Research in Science Education*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10262-0>
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: Perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204. <https://doi.org/10.1080/03057260903142285>
- Kind, V., y Chan, K. K. H. (2019). Resolving the amalgam: connecting pedagogical content knowledge, content knowledge and pedagogical knowledge. *International Journal of Science Education*, 41(7), 964-978. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1584931>
- King, D., y Ritchie, S. (2012). Learning science through real world contexts. En B. J. Fraser et al. (Eds.) *Second International Handbook of Science Education* (pp. 69-77). Springer.
- King, D., Ritchie, S., Sandhu, M., Henderson, S., y Boland, B. (2017). Temporality of emotion: Antecedent and successive variants of frustration when learning chemistry. *Science Education*, 101(4), 639-672. <https://doi.org/10.1002/sce.21277>
- Kjaernsli, M., y Lie, S. (2011). Students' preference for science careers: international comparisons based on PISA 2006. *International Journal of Science Education*, 33(1), 121-144. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518642>
- Klopfer, L. E. (1983). Editorial: Research and the crisis in science education. *Science Education*, 67(3), 283-284.
- Kloser, M. (2014). Identifying a core set of science teaching practices: A delphi expert panel approach. *Journal of Research in Science Teaching*, (51), 1185-1217. <https://doi.org/10.1002/tea.21171>
- Knol, E., y de Vries, P. W. (2011). EnerCities, a serious game to stimulate sustainability and energy conservation: Preliminary results. *E-Learning Papers*, 25, 1–10. <https://ssrn.com/abstract=1866206>
- Koballa, T. R., y Glynn, S. M. (2007). Attitudinal and Motivational Constructs in Science Learning. En S. Abell y N. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 75-102). Lawrence Erlbaum
- Koen, B. V. (2003). *Discussion of the Method: Conducting the Engineer's approach to problem solving*. University Oxford Press
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice-Hall.
- Kollmuss, A., y Agyeman, J. (2002). Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>

- Kolstø, S. D. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues. *Science Education*, 85(3), 291-310. <https://doi.org/10.1002/sce.1011>
- Korthagen, F. (2010). La práctica, la teoría y la persona en la formación del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 68(24.2), 83-101.
- Koster, R. (2013). *A theory of fun for game design* (2ª ed.). O'Reilly Media.
- Krajcik, J., Codere, S., Dahsah, C., Bayer, R., y Mun, K. (2014). Planning instruction to meet the intent of the Next Generation Science Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 157-175. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9383-2>
- Kremer, B. P. (2012). *Manual de microscopia*. Ediciones Omega.
- Kreuzer, C., Weber, S., Off, M., Hackenberg, T., y Birk, C. (2019). Shedding light on realized sustainable consumption behavior and perceived barriers of young adults for creating stimulating teaching-learning situations. *Sustainability*, 11(9), 2587. <https://doi.org/10.3390/su11092587>
- Krug, D., y Shaw, A. (2016). Reconceptualizing ST^E(A)M(S) education for teacher education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 16(2), 183-200. <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1166295>
- Kubínová, Š., y Šlégr, J. (2015). ChemDuino: Adapting Arduino for low-cost chemical measurements in lecture and laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1751-1753. <https://doi.org/10.1021/ed5008102>
- Kuhn, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62, 155-178.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Harvard University Press.
- Kuhn, D. (2021). Metacognition matters in many ways. *Educational Psychologist*, 57(2), 73-86. <https://doi.org/10.1080/00461520.2021.1988603>
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de cultura económica.
- Kummanee, J., Nilsook, P., y Wannapiroon, P. (2020). Digital learning ecosystem involving STEAM gamification for a vocational innovator. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(7), 533-539. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.7.1420>
- Kunnath, A. J., y Botes, W. (2025). Transforming science education with artificial intelligence: Enhancing inquiry-based learning and critical thinking in South African science classrooms. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(6), em2655. <https://doi.org/10.29333/ejmste/16532>
- Kurup, P. M., Levinson, R., y Li, X. (2021). Informed decision regarding global warming and climate change among high school students in the United Kingdom. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 21, 165-185. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00123-5>
- La Belle, T. J. (1982). Formal, nonformal and informal education: A holistic perspective on lifelong learning. *International Review of Education*, 28, 159-175. <https://doi.org/10.1007/BF00598444>
- Lakatos, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Tecnos.
- Lamb, R., y Etopio, E. A. (2020). Virtual reality: A tool for preservice science teachers to put theory into practice. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 573-585. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09837-5>
- Lämsä, J., Härmäläinen, R., Koskinen, P., y Viiri, J. (2018). Visualising the temporal aspects of collaborative inquiry-based learning processes in technology enhanced physics

- learning. *International Journal of Science Education*, 40(14), 1697–1717. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1506594>
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317>
- Larmer, J., y Mergendoller, J. R. (2010). Seven essentials for Project-Based Learning. *Educational Leadership*, 68(1), 34-37. http://www.ascd.org/publications/educational_leadership/sept10/vol68/num01/Seven_Essentials_for_Project-Based_Learning.aspx
- Larmer, J., Mergendoller, J., y Boss, S. (2015). *Setting the Standard for Project Based Learning: A Proven Approach to Rigorous Classroom Instruction*. Buck Institute for Education. <https://files.ascd.org/staticfiles/ascd/pdf/siteASCD/publications/books/Setting-the-Standard-for-PBL-sample-chapters.pdf>
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., y Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65-83. <https://doi.org/10.1002/tea.21125>
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (2006). Research on nature of science: reflections on the past, anticipations of the future. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7(1), 1-11. https://www.eduhk.hk/apfslt/v7_issue1/foreword/index.htm
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., y Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lederman, N. G., Zeidler, D. L., y Lederman, J. S. (Eds.). (2023). *Handbook of Research on Science Education, Volume III*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758>
- Ledesma, J. M. (2020). La caracterización estructural del benceno de Kekulé: un ejemplo de creatividad y heurística en la construcción del conocimiento químico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, e20019. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200019>
- Lee, E., y Luft, J. A. (2008). Experienced secondary science teachers' representation of pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1343–1363. <https://doi.org/10.1080/09500690802187058>
- Lee, G., Yun, M., Zhai, X., y Crippen, K. (2025). Artificial Intelligence in Science Education Research: Current States and Challenges. *Journal Science Education Technology* <https://doi.org/10.1007/s10956-025-10239-8>
- Lee, M., Wu, Y. T., y Tsai, C. C. (2009). Research trends in Science Education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31(15), 1999-2020. <https://doi.org/10.1080/09500690802314876>
- Legardez, A., y Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. ESF.
- Lehrer, R., y Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education*, 96(4), 701–724. <https://doi.org/10.1002/sce.20475>
- León, C., Lipuma, J., y Oviedo-Torres, X. (2025). Artificial intelligence in STEM education: a transdisciplinary framework for engagement and innovation. *Frontiers Education*, 10, 1619888. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1619888>

- Levinson, R. (2010). Science education and democratic participation: An uneasy congruence? *Studies in Science Education*, 46(1), 69-119. <https://doi.org/10.1080/03057260903562433>
- Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE). *Boletín Oficial del Estado*, 238, 28927-28942. <https://www.boe.es/eli/es/lo/1990/10/03/1>
- Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE). *Boletín Oficial del Estado*, 106, 17158-17207. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2006/05/03/2/con>
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. (2020). *Boletín Oficial del Estado*, 340, 122868-122953. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>
- Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa (LOMCE). *Boletín Oficial del Estado*, 295, 97858-97921. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2013/12/09/8/con>
- Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública. *Boletín Oficial del Estado*, 240, 104593-104626. <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/10/04/33>
- Li, S., Liu, Z., Tripathi, V. C., y Mohamed Hashim, M. A. (2025). An investigation of landscape of environmental education (EE): A bibliometric and systematic literature review. *The International Journal of Management Education*, 23(2), 101229. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2025.101229>
- Liaw, H., Yu, Y. R., Chou, C. C., y Chiu, M. H. (2021). Relationships between facial expressions, prior knowledge, and multiple representations: A case of conceptual change for kinematics instruction. *Journal of Science Education and Technology*, 30(2), 227-238. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09863-3>
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22 140, 55.
- Lin, C.-L., y Tsai, C.-Y. (2021). The effect of a pedagogical STEAM model on students' project competence and learning motivation. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 112-124. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09885-x>
- Lin, J. W., y Chao, H. Y. (2024). Developing an instrument to examine students' analogical modeling competence: An example of electricity. *Science Education*, 108(1), 63-85. <https://doi.org/10.1002/sce.21828>
- Linhares, E., y Reis, P. (2023). Education for environmental citizenship and activism through the development of nature-based solutions with pre-service teachers. *Journal of Social Science Education*, 22(4). <https://doi.org/10.11576/jsse-6498>
- Lipman, M. (2016). *El lugar del pensamiento en la educación: Textos de Matthew Lipman*. Ediciones Octaedro.
- Llerena, G., y Espinet, M. (2017). *Agroecología escolar*. Pol-len Edicions
- Llorente, J. A. (2017). La era de la posverdad: realidad vs. percepción. *Uno. d+i desarrollando ideas*. 7,8-9.
- Lo, C. K. (2021). Design principles for effective teacher professional development in integrated STEM education. *Educational Technology & Society*, 24(4), 136-152. [https://doi.org/10.30191/ETS.202110_24\(4\).0011](https://doi.org/10.30191/ETS.202110_24(4).0011)
- Lopes da Silva, F. (2013). EEG and MEG: Relevance to neuroscience. *Neuron*, 80(5), 1112-1128. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.10.017>
- López Calafi, J. A., Salvador Carreño, A., y Guardia Cirugeda, M. de la. (1998). Estudio bibliométrico de la evolución de la revista Enseñanza de las Ciencias a partir de

- sus fuentes de información. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 485–498. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4123>
- López Cerezo, J. A. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 41–68. <https://doi.org/10.35362/rie1801091>
- López Cerezo, J. A., y Sánchez Ron, J. M. (2001). *Ciencia, Tecnología, Sociedad y Cultura en el cambio de siglo*. Biblioteca Nueva.
- López-Fernández, M. (2025). <http://mariadelmarlopezfernandez.blogspot.com/>
- López-Fernández, M. M., González-García, F., y Franco-Mariscal, A. J. (2022). Plásticos: revisión bibliográfica en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2010–2019). *Revista de Educación*, 397, 247–278. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-397-547>
- López-Fernández, M. M., Franco-Mariscal, A. J., y Blanco-López, Á. (2023). Enseñar química en el nuevo currículum a través del problema sociocientífico sobre el uso de plásticos. *Educació Química*, 31, 10–17. <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.238>
- López-Fernández, M. M., González-García, F., Franco-Mariscal, A. (2022). How Can Socio-Scientific Issues Help Develop Critical Thinking in Chemistry Education? A Reflection on the Problem of Plastics. *Journal of Chemical Education*, 99(10), 3435–3442. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00223>
- López-Fernández, C., Paños, E., García Fernández, B., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2025). Change your wardrobe, change the world: empowering pre-service teachers to embrace responsible consumption. *Environmental Education Research*, 1–33. <https://doi.org/10.1080/13504622.2025.2499910>
- López-Fernández, C., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2024). Responsible consumers are made, not born: A clothing secondhand market experience in two Spanish high schools. *The Journal of Environmental Education*, 55(3), 203–222. <https://doi.org/10.1080/00958964.2023.2300447>
- López-Fernández, M. M., y Torres-Blanco, V. (2025). Análisis del aprendizaje, emociones y percepciones de maestros en formación inicial al jugar con *Conoce a tus polinizadores*. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(1), 1501. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i1.1501
- López-Gay, R., Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., y Castillo-Hernández, F. J. (2020). Evidencias para la mejora de la Enseñanza de las Ciencias. *Dossier*, 5, 39–43.
- López-Lozano, L. (2017). *Estudio de la evolución del conocimiento didáctico en estudiantes del Grado de Educación Primaria sobre la evaluación en ciencias*. [Tesis doctoral]. Universidad de Sevilla.
- López-Luengo, M. A., González Díaz, E., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2021). Micro-organismos y hábitos de higiene. ¿Se aprende más en la Educación Infantil mediante fichas? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2302. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2302
- López-Madróna, V. J., Medina-Villalón, S., Badier, J. M., Trébouchon, A., Jayabal, V., Bartolomei, F., ... y Bénar, C. G. (2022). Magnetoencephalography can reveal deep brain network activities linked to memory processes. *Human Brain Mapping*, 43(15), 4733–4749. <https://doi.org/10.1002/hbm.25987>
- López-Ocón, L. (2003). *Breve historia de la ciencia española*. Alianza Editorial.
- López Rodríguez, R., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2007). ¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos de alumnado de primaria y desempeño cognitivo en el estudio

- de una charca. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 309-324. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3698>
- López Simó, V., Couso Lagarón, D., y Simarro Rodríguez, C. (2020). Educación STEM en y para el mundo digital: El papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(62), 7. <https://doi.org/10.6018/red.410011>
- López Simó, V., y Márquez, C. (2022). Análisis de las explicaciones del profesorado de primaria en formación sobre el Flysch de Barrika. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(1), 42-50. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/432537/526806>
- Loughran, J., Mulhall, P., y Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391. <https://doi.org/10.1002/tea.20007>
- Lozano, R., Merrill, M. Y., Sammalisto, K., Ceulemans, K., y Lozano, F. J. (2017). Connecting competences and pedagogical approaches for sustainable development in higher education: A literature review and framework proposal. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4415–4430. <https://doi.org/10.3390/su9101889>
- Lubchenco, J. (1998). Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science. *Science*, (279), 5350, 491-497. <https://doi.org/10.1126/science.279.5350.491>
- Lucas, A. (1972). *Environment and Environmental Education: Conceptual issues and Curriculum Implications*. PhD Dissertation Ohio State University.
- Lucas-Palacios, L., y Ponsoda-López de Atalaya, S. (2024). Myths and realities in education: exploring the relationship between schools, museums, and teacher education. *Social and Education History*, 14(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.17583/hse.15425>
- Luft, J. A., y Hewson, P. W. (2014). Research on Teacher Professional Development Programs in Science. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 889-909). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267>
- Lui, M., McEwen, R., y Mullally, M. (2020). Immersive virtual reality for supporting complex scientific knowledge: Augmenting our understanding with physiological monitoring. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2181-2199. <https://doi.org/10.1111/bjet.13022>
- Ma, Y. (2022). Profiles of student science attitudes and its associations with gender and science achievement. *International Journal of Science Education*, 44(11), 1876–1895. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2101705>
- MacKenzie, L. E. (2019). Science podcasts: analysis of global production and output from 2004 to 2018. *Royal Society Open Science*, 6, 180932. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180932>
- Maeda, J. (2013). STEM + Art = STEAM. *The STEAM Journal*, 1(1), 34. <https://doi.org/10.5642/steam.201301.34>
- Magnusson, S., Krajcik, J., y Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Kluwer Academic.

- Maiztegui, A., Acevedo, J. A., Guisasola, J., y Vilches, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-158. <https://rieoei.org/historico/documentos/rie28a05.htm>
- Makransky, G., y Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1141–1164. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>
- Malcolm, J., Hodgkinson, P., y Colley, H. (2003). The interrelationships between informal and formal learning. *Journal of Workplace Learning*, 15(7-8), 313–318. <https://doi.org/10.1108/13665620310504783>
- Manassero-Mas, M. A., Bennàssar-Roig, A. J., y Vázquez-Alonso, A. (2021). Juegos serios para enseñar y aprender conocimiento epistémico sobre la naturaleza de la ciencia en educación primaria. *Revista Eletrônica Ludus Scientiae*, 5(1), 80-95. <https://doi.org/10.30691/relus.v5i1-2.2843>
- Manassero-Mas, M. A., y Vázquez-Alonso, A. (2023). Enseñar y aprender a pensar sobre la naturaleza de la ciencia: un juego de cartas como recurso en Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2), 2202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2202
- Manassero-Mas, M. A., y Vázquez-Alonso, A. (2024). El impacto de los juegos epistémicos para aprender sobre naturaleza de la ciencia en primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 173-195. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5946>
- Manassero-Mas, M. A., y Vázquez Alonso, A. (2025). Identidad científica y capital científico: nuevos retos para la educación y la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(3), 3102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i3.3102
- Manassero-Mas, M. A., Vázquez, A., y Acevedo, J. A. (2001). *Avaluació del temes de ciència, tecnologia i societat*. Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.
- Mao, P., Cai, Z., He, J., Chen, X., y Fan, X. (2021). The Relationship Between Attitude Toward Science and Academic Achievement in Science: A Three-Level Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 12, 784068. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.784068>
- Marcano, B. (2008). Juegos serios y entrenamiento en la sociedad digital. *Revista Electrónica Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 9(3), 93-107. <http://hdl.handle.net/10366/56633>
- Marchán, I. (2015). *Contribucions de la contextualització i de l'aprenentatge i la transferència del coneixement a l'educació química competencial*. Tesis doctoral, UAB
- Marcos, J. M., Esteban, R., y Ochoa, J. (2019). Formando a futuros maestros para abordar los microorganismos mediante actividades prácticas. Papel de las emociones y valoraciones de los estudiantes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1602. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1602
- Margulis, L., y Sagan D. (1995). *¿Qué es la vida?* Tusquets Editores.
- Marín, I. (2018). *¿Jugamos? Cómo el aprendizaje lúdico puede transformar la educación*. Paidós Educación.
- Marín, I., y Hierro, E. (2013). *Gamificación: El poder del juego en la gestión empresarial y en la conexión con los clientes*. Urano / Empresa activa.

- Markham, T., Larmer, J., y Ravitz, J. (2003). *Manual para el aprendizaje basado en proyectos: Una guía para el aprendizaje basado en proyectos orientado por estándares*. Fundación Omar Dengo.
- Marques, J. B. V., y de Freitas, D. (2017). Characterization factors of non-formal education: a literature review. *Educação e Pesquisa*, 43(4). <https://doi.org/10.1590/S1517-9702201701151678>
- Marques, L., Rebelo, D., Bonito, J., Morgado, M., Trindade, V., Medina, J., Soares De Andrade, A., Praia, J., Leite, A., y Futuro, A. (2017). El lugar de la investigación-formación-innovación en la didáctica de las Ciencias de la Tierra: El caso del tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3), 319-329. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/330137>
- Marquez-Fernandez, M., Ametller, J., Jimenez-Liso, M. R., y López-Gay, R. (2025). Exploring Undergraduate Students' Emotions and Learning Self-Perceptions in Connection with Different Types of Instructional Approaches in the Context of Daytime Astronomy. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00703-7>
- Marrero-Galván, J. J., y González-Pérez, P. (2023). Investigaciones sobre el uso de analogías en el aula de ciencias: una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1), 1101-1121. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1101
- Martín-Ferrer, L., Amat Vinyoles, A., y Espinet Blanch, M. (2022). Aprender a diseñar juegos para la Enseñanza de las Ciencias en la formación inicial de maestras y maestros en educación primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3601. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3601
- Martín-García, J., Pozuelo Muñoz, J., de Echave Sanz, A., y Cascarosa Salillas, E. (2023). Experiencia y actitudes hacia la ciencia: un estudio con maestros en formación. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 98(37.1), 313-334. <https://doi.org/10.47553/rifop.v98i37.1.94651>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., y Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Martinand, J. L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Peter Lang.
- Martínez Chico, M., López-Gay, R., y Jiménez-Liso, M. R. (2014). ¿Es posible diseñar un programa formativo para enseñar ciencias por Indagación basada en Modelos en la formación inicial de maestros? Fundamentos, exigencias y aplicación. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (28), 153-173. <https://doi.org/10.7203/dces.28.3153>
- Martínez Losada, C., García Barros, S., y Garrido, M. (2013). How children characterise living beings and the activities in which they engage. *Journal of Biological Education*, 48(4), 201-210. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.837402>
- Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J., y Greca, I. M. (2025). Rethinking Nature of STEM: theoretical insights and the development of EPISTEMIK-Fire as an assessment tool. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00643-2>
- Martínez Nieto, J. M. (2012). *Desarrollo de Competencias a través de Aprendizaje Basado en Proyectos: Proyecto de Educación para la Salud*. <http://hdl.handle.net/10498/26909>
- Martínez Peña, M. B., Calvo, J. M., y Cortés, A. L. (2015). De la estabilidad al continuo cambio inapreciable. La situación de la geología en la enseñanza obligatoria. *Alambique*, 79, 9-16.

- Martínez-Peña, M. B., y Gil-Quílez, M. J. (2014). Drawings as a tool for understanding Geology in the environment. *Journal of Geoscience Education*, 62(4), 701-713. <https://doi.org/10.5408/13-001>
- Martínez Valdivia, E., Pegalajar Palomino, M. C., y Burgos-García, A. (2023). Active methodologies and curricular sustainability in teacher training. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 24(6), 1364-1380. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2022-0168>
- Martins, C. (2019). *Dimensões e indicadores de educação ambiental: Análise de uma experiência de formação de professores em zoológico*. Tesis doctoral, Universidade de São Paulo.
- Martins, I. (Ed.) (2000). *O Movimento CTS na Península Ibérica*. Universidade de Aveiro.
- Martins, P. C., Costa, R. N., y Pereira, C. S. (2024). Dialogues between agroecology and environmental education amidst contemporary socio-environmental challenges: A systematic literature review. *The Journal of Environmental Education*, 55(4), 324-341. <https://doi.org/10.1080/00958964.2024.2339831>
- Masson, R. A., y Just, M. A. (2016). Neural representations of physics concepts. *Psychological Science*, 27(6), 904-913. https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1_4
- Masson, R. A., y Just, M. A. (2020). Neural Representations of Procedural Knowledge. *Psychological Science*, 31(6), 729-740. <https://doi.org/10.1177/0956797620916806>
- Mateo, E., y Sáez-Bondía, M. J. (2022). Experimentar con minerales en Educación Infantil: evaluación de un espacio de Ciencia de libre elección. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2), 2801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2801
- Mateos-Núñez, M., Martínez, G., y Naranjo, F. L. (2020). Comparación de las emociones, actitudes y niveles de autoeficacia ante áreas STEM entre diferentes etapas educativas. *European Journal of Education and Psychology*, 13(1), 49-64. <https://doi.org/10.30552/ejep.v13i1.292>
- Mateos-Núñez, M., Martínez, G., y Naranjo, F. L. (2020). Learning Science in Primary Education with STEM Workshops: Analysis of Teaching Effectiveness from a Cognitive and Emotional Perspective. *Sustainability*, 12, 3095. <https://doi.org/10.3390/su12083095>
- Matsumoto, D., Yoo, S. H., y Nakagawa, S. (2008). Culture, emotion regulation, and adjustment. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(6), 925-937.
- Maturana, H., y Varela, F. J. (1981). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of The Living*. D. Reidel Publishing Company.
- Mayoral, O., Pina, T., Ull, A., Calero, M., Cantó, J., Pina, T., y Vilches, A. (2023). Exposição itinerante sobre os Objectivos de Desenvolvimento Sustentável: uma ferramenta para a Educação para a Sustentabilidade. *Indagatio Didactica*, 15(1), 243-254. <https://doi.org/10.34624/id.v15i1.32219>
- Maz, A., Torralbo, M., Vallejo, M., Fernández-Cano, A., y Rico, L. (2009). La educación matemática en la revista Enseñanza de las Ciencias: 1983-2006. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), 185-194. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3730>
- Mazas Gil, B., Sáez Bondía, M. J., y Cortés Gracia, A. L. (2024). Hay que remodelar la plaza. Un escenario para plantear situaciones de aprendizaje sobre las rocas y sus usos. *Alambique*, 116, 22-28.

- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10-16. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1996.tb10205.x>
- McComas, W. F. (Ed.) (1998). *The nature of science in science instruction. Rationales and Strategies*. Springer.
- McComas, W. F., Clough, M. P., y Nouri, N. (2020). Nature of science and classroom practice: A review of the literature with implications for effective NOS instruction. En W. F. McComas (Ed.), *Nature of science in science instruction* (pp. 67-111). Springer.
- McGonigal, J. (2011). *Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world*. Penguin.
- McGregor, D., Baskerville, D., Anderson, D., y Duggan, A. (2019). Examining the use of drama to develop epistemological understanding about the nature of science: a collective case from experience in New Zealand and England. *International Journal of Science Education, Part B*, 9(2), 171-194. <https://doi.org/10.1080/21548455.2019.1585994>
- McIntyre, L. (2021). Talking to science deniers and sceptics is not hopeless. *Nature*, 596(7871), 165-165. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02152-y>
- McLure, F. I., Tang, K. -S., y Williams, P. J. (2022). What do integrated STEM projects look like in middle school and high school classrooms? A systematic literature review of empirical studies of iSTEM projects. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00390-8>
- McMillan, J. H., y Schumacher, S. (2005). *Investigación educativa. Una introducción conceptual (5ª ed.)*. Pearson Educación.
- McNeal, K. S., Zhong, M., Soltis, N. A., Doukopoulos, L., Johnson, E. T., Courtney, S., ... y Porch, M. (2020). Biosensors show promise as a measure of student engagement in a large introductory biology course. *CBE—Life Sciences Education*, 19(4), 50. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-08-0158>
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea Green Publishing.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., y Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica.
- Meadows, D. H., Randers, J., y Meadows, D. L. (2006). *Los límites del crecimiento 30 años después*. Galaxia Gutenberg.
- Medina, M., y Sanmartín, J. (1990). El programa tecnología, ciencia, naturaleza y sociedad. *Ciencia, Tecnología y Sociedad: estudios interdisciplinarios en la universidad, en la educación y en la gestión pública*. Anthropos.
- Megawati, R. (2024). Integration of Project-Based Learning in Science, Technology, Engineering, and Mathematics to Improve Students' Biology Practical Skills in Higher Education: A Systematic Review. *Open Education Studies*, 6(1), 20240049. <https://doi.org/10.1515/edu-2024-0049>
- Mellado, V. (1999). La investigación sobre la formación del profesorado de Ciencias Experimentales. En: C. Martínez y S. García (eds.) *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales*, 45-76. Serv. de Publicaciones de la Univ. de A Coruña.
- Mellado, V. (2011). Formación del profesorado de ciencias y buenas prácticas: el lugar de la innovación y la investigación didáctica. En: A. Caamaño (Coord.), *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas*, 11-30. Graó.

- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sanchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez, B., Jiménez, R., y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11–36. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Mellado, L., de la Montaña, J. L., Luengo, R., y Bermejo, M. L. (2017). Cambios en las emociones y en las metáforas sobre el rol docente y del alumnado, del futuro profesorado de Ciencias de Secundaria, tras las prácticas de enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 487-504. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.14
- Melo, L. V., Cañada, F., y Mellado, V. (2017). Exploring the emotions in pedagogical content knowledge about the electric field. *International Journal of Science Education*, 39(8), 1025-1044. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1313467>
- Membiola, P., y Padilla, Y. (2005). *Retos y perspectivas de la Enseñanza de las Ciencias desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI*. Educación Editora.
- Mendler de Suarez, J., Suarez, P., y Bachofen, C. (2012). *Games for a new climate: Experiencing the complexity of future risks*. The Frederick S. Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future, Boston University.
- Mendonça, P. C. C., y Justi, R. (2013). The Relationships Between Modelling and Argumentation from the Perspective of the Model of Modelling Diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>
- Mendonça, P. C. C., y Justi, R. (2014). An instrument for analyzing arguments produced in modeling-based chemistry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51, 192-218. <https://doi.org/10.1002/tea.21133>
- Mendoza-Espinosa, H., Méndez-López, J. F., y Torruco-García, U. (2012). Aprendizaje basado en problemas (ABP) en educación médica: sugerencias para ser un tutor efectivo. *Investigación en Educación Médica*, 1(4), 235–237. <https://doi.org/10.22201/FM.20075057E.2012.04.00011>
- Michael, D., y Chen, S. (2005). *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Muska y Lipman/Premier-Trade.
- Miller, D. I., Lauer, J. E., Tanenbaum, C., Burr, L., Jefferys, A., y Guzman-Álvarez, A. (2024). The Development of Children's Gender Stereotypes About STEM and Verbal Abilities: A Preregistered Meta-Analytic Review of 98 Studies. *Psychological Bulletin*, 150(12), 1363–1396. <https://doi.org/10.1037/bul0000456.supp>
- Ministerio de Educación y Ciencia [MEC] (2007). *Real Decreto 1631/2006 Enseñanzas Mínimas Educación Secundaria Obligatoria*. Boletín Oficial del Estado, 5-1, 677-773. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/12/29/1631/con>
- Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes (2023). *Guía de Escuelas Promotoras de Salud*. https://www.sanidad.gob.es/areas/promocionPrevencion/entornos-Saludables/escuela/docs/guia_EscuelasPromotorasdeSalud.pdf
- Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes (2025). *TALIS 2024. Estudio Internacional sobre la Enseñanza y el Aprendizaje, Informe español*. Secretaría Técnica. <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/inee/gl/evaluaciones-internacionales/talis/talis-2024.html>

- Ministerio de Sanidad y Consumo (2003). *Formación en promoción y Educación para la Salud. Informe del grupo de trabajo de promoción de la salud a la comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud*. Ministerio de Sanidad y Consumo.
- Minkley, N., Ringeisen, T., Josek, L. B., y Kaerner, T. (2017). Stress and emotions during experiments in biology classes: Does the work setting matter? *Contemporary Educational Psychology*, 49, 238-249. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.cedpsych.2017.03.002>
- Mioduser, D., y Betzer, N. (2007). The contribution of project-based learning to high achievers' acquisition of technological knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 18(1), 59-77. <http://doi.org/10.1007/s10798-006-9010-4>
- Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Moles, A. (1976). *Teoría de la información y percepción estética*. Júcar.
- Molina Morcillo, J., Paños Martínez, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2021). Microorganismos y hábitos de higiene. Estudio longitudinal en los cursos iniciales de Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2201
- Moll, A., Collado, S., Staats, H., y Corraliza, J. A. (2022). Restorative effects of exposure to nature on children and adolescents: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 84, 101884. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101884>
- Monteira, S. F., y Jimenez-Aleixandre, M. P. (2016). The practice of using evidence in kindergarten: The role of purposeful observation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1232-1258. <https://doi.org/10.1002/tea.21259>
- Montejo-Bernardo, J. M., y Fernández-González, A. (2021). Chemical Battleship: Discovering and learning the periodic table playing a didactic and strategic board game. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 907-914. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00553>
- Montés, N., Barquero, S., Martínez-Carbonell, A., Aloy, P., Ferrer, T., Romero, P. D., Milan, M., y del Saz Salazar, A. (2024). Redefining STEAM to STEAM H (STEAM for All Humanity) in Higher Education. *Education Sciences*, 14(8), 888. <https://doi.org/10.3390/educsci14080888>
- Moore, T., Stohlmann, M., Wang, H., Tank, K., Glancy, A., y Roehrig, G. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. En S. Purzer et al. (Eds.), *Engineering in Pre-College Settings: Synthesizing Research, Policy, and Practices* (pp. 35-60). Purdue University Press.
- Mora, F. (2008). *El reloj de la sabiduría. Tiempos y espacios en el cerebro humano*. Alianza Editorial.
- Mora-Jara, J. C., y Moreno-Vargas, S. (2018). *Fortalecimiento de las competencias básicas en las ciencias naturales mediante el uso de la realidad aumentada para estudiantes de básica primaria* (Tesis doctoral). Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Morales-Aguilar, R., Arenas, A., Cisternas, D., Bascopé, M., Salazar, D., Becerra, R., Solís-Pinilla, J., y Merino, C. (2025). Transforming education for a sustainable future: An analysis of teacher education in the context of climate change. *Frontiers in Education*, 10, 1537129. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1537129>

- Morcillo Arencibia, M. F., Sarsa Rubio, A. J., Yubero Serrano, C., y Alcaraz Pelegrina, J. M. (2019). Presencia de la mujer en los estudios de Física (1998-2017). *Revista Española de Física*, 33(2), 44-48.
- Moreira, M. A. (1994). Diez años de la revista Enseñanza de las Ciencias: de una ilusión a una realidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 147-153. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4437>
- Moreira, M. A. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de la Física y en la investigación en este campo. En N. Elórtogui *et al.* (Eds.), *XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 31-47).
- Moreno-Castro, C. (2003). La investigación universitaria en periodismo científico. *Ámbitos. Revista Internacional de Comunicación*, 9-10, 121-141. <https://doi.org/10.12795/ambitos.2003.i09-10.06>
- Moreno-Fontiveros, G., España-Ramos, E., y Blanco-López, A. (2016). Propuesta didáctica sobre la compra de un coche para trabajar competencias clave en la Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 604-616. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2993>
- Morentin, M., y Guisasola, J. (2015). The role of science museum field trips in the primary teacher preparation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 965-990. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9522-4>
- Morín Fraile, V., Sancho Agredano, R., Vázquez Archilla, M., Sarria Guerrero, J. A., Estrada Masllorens, J. M., Galimany Masclans, J., Guix Comellas, E., Rubio Serrano, L., y Maestre González, E. (2016). Aprendiendo a educar para la salud a través del aprendizaje servicio. Compartir ideas, la universidad va al instituto. *Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació* (CIDUI). <https://hdl.handle.net/2445/114735>
- Mork, S. M., Haug, B. S., Sørborg, Ø., Parameswaran, S., y Erduran, S. (2022). Humanising the nature of science: an analysis of the science curriculum in Norway. *International Journal of Science Education*, 44(10), 1601-1618. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2088876>
- Mossoux, S., Delcamp, A., Poppe, S., Michellier, C., Canters, F., y Kervyn, M. (2016). Hazagora: Will you survive the next disaster? A serious game to raise awareness about geohazards and disaster risk reduction. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 135-147. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-135-2016>
- Mostacedo-Marasovic, S. J., Mott, B. C., White, H., y Forbes, C. T. (2023). Towards water literacy: analysis of standards for teaching and learning about water on Earth. *Journal of Geosciences Education*, 71(2), 192-207. <https://doi.org/10.1080/10899995.2022.2112490>
- Mozzer, N. B., y Justi, R. (2018). Modelagem analógica no ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(1), 155-182. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p155>
- Msambwa, M. M., Daniel, K., Lianyu, C., y Antony, F. (2025). A Systematic Review Using Feminist Perspectives on the Factors Affecting Girls' Participation in STEM Subjects. *Science & Education*, 34, 1619-1650. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00524-0>
- Mubarok, H., Safitri, N. S., y Adam, A. S. (2020). The novelty of religion and art: Should we combine with STEM education? *Studies in Philosophy of Science and Education*, 1(3), 97-103. <https://doi.org/10.46627/sipose.v1i3.51>

- Munby, H. (1983). *An investigation into the measurement of attitudes in Science Education*. SMEAC Information Reference Center, Ohio State University.
- Muñiz, J., y Fonseca-Pedrero, E. (2019). Diez pasos para la construcción de un test. *Psichotema*, 31(1), 7–16. <https://doi.org/10.7334/psichotema2018.291>
- Muñoz, J. L., Esteban, R., Marcos, J. M., y Dávila-Acedo, M. A. (2023). Emociones y autoeficacia del alumnado de Educación Secundaria ante contenidos de Biología y Geología. *ÁPICE. Revista de Educación Científica*, 7(1), 33-55. <https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9360>
- Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A. J., y Blanco-López, A. (2020). Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de estudiantes de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201
- Muñoz Campos, V., Franco Mariscal, A. J., y Blanco López, Á. (2021). Secuencia de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de prácticas científicas en el contexto de consumo de yogur. En D. Cebrián Robles et al. (Coords.), *Enseñanza de las Ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía* (pp. 33-50). Graó.
- Myers, D. (2009). In search of a minimalist game. *Proceedings of the 2009 DiGRA. International Conference: Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory*. Digital Games Research Association (DiGRA).
- Naciones Unidas (1972). *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Estocolmo, 5–16 de junio de 1972)*. Naciones Unidas.
- Naciones Unidas (1992). *UN Conference on Environmental and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*. UNESCO.
- Naciones Unidas (2012). *El futuro que queremos: Documento final de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20)*. Naciones Unidas.
- Naciones Unidas (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (A/RES/70/1)*. Naciones Unidas. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- Nascimento, L., y Reis, P. (2025). Towards a teacher development model for environmental citizenship: A systematic literature review. *Australian Journal of Environmental Education*, 1–19. <https://doi.org/10.1017/ace.2025.10079>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019). *Science and engineering for grades 6-12: investigation and design at the center*. The National Academies Press.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/4962>
- National Research Council (2007). *Rising above the gathering storm: Energizing and employing America for a brighter economic future*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11463>
- National Research Council (2011). *Successful K-12 STEM education*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13158>
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- National Research Council (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>

- National Science and Technology Council (2018). *Charting a course for success: America's strategy for STEM education*. Office of Science and Technology Policy. <https://www.whitehouse.gov/wpcontent/uploads/2018/12/STEM-Education-Strategic-Plan-2018.pdf>
- National Science Foundation (2010). *Earth Science Literacy: The Big Ideas and Supporting Concepts of Earth Science*. <https://www.earthscienceliteracy.org/>
- Nersessian, N. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En P. Carruthers, et al. (Eds.), *The cognitive basis of science*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613517.008>
- Nicolaou, C. T., y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Nieswandt, M. (2005). Attitudes toward Science: A review of the field. En S. Alsop (Ed.), *Beyond Cartesian Dualism: Encountering affect in the teaching and learning of Science* (pp. 41-52). Springer.
- Nilsson, P., y Cederqvist, A. M. (2025). Tools for learning: Promoting reflection for student teachers' development of pedagogical content knowledge (PCK). *Journal of Research in Science Teaching*, 62(8), 1902-1922. <https://doi.org/10.1002/tea.70002>
- Normand, M. P. (2008). Science, skepticism, and applied behavior analysis. *Behavior Analysis in Practice*, 1(2), 42-49. <https://doi.org/10.1007/BF03391727>
- Novak, J., y Gowin, B. D. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press. (trad. Cast. *Aprendiendo a aprender*. Martínez Roca).
- Novo, M. (2006). *El desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa*. Pearson Educación.
- Nunziati, G. (1990). Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice. *Cahiers pédagogiques*, 280, 47-64.
- Nutbeam, D. (2000). Health literacy as a public health goal: a challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century. *Health Promotion International*, 15(3), 259-267. <https://doi.org/10.1093/heapro/15.3.259>
- Ochoa, J., Marcos, J. M., Méndez, F. J., Mellado, V., y Esteban, R. (2019). Emociones y aprendizaje de la biología, una asociación duradera. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 43-61. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2598>
- Ochoa, J., Marcos, J. M., Valares, C., y Esteban, R. (2024). Anticipatory emotions and academic performance: The role of boredom in a preservice teachers' lab experience. *Heliyon*, 11(1), e41142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41142>
- Odum, E. P. (1996). *Ecology: bridging science and society*. Sinauer Associates Inc.
- Oh, Y. W., y Nurfaradilla N. M. (2025). Acceptance of Artificial Intelligence (AI) in science education: Factors influencing science teachers' intention to use: A systematic literature review. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 14(3), 1472-1497. <https://doi.org/10.6007/IJARPED/v14-i3/26113>
- Ojeda-Serna, V., y García-Ruiz, R. (2022). Divulgación científica en YouTube en Latinoamérica. Estudio de Casos de universidades, museos y YouTubers. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2), 2204. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2204
- Oliva, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 363-384. https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen03/REEC_3_3_7.pdf

- Oliva, J. M. (2005). Sobre el estado actual de la revista Enseñanza de las Ciencias y algunas propuestas de futuro. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 123–132. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3862>
- Oliva, J. M. (2006). Actividades para la enseñanza/aprendizaje de la química a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 104–114. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i1.08
- Oliva, J. M. (2010). La educación secundaria como foco de atención en las publicaciones de didáctica de las ciencias de revistas de nuestro entorno. *Actas de los XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 53–58. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5–24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Oliva, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2009). Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química. *Educación Química*, 20(1), 41–54. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30006-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30006-5)
- Oliva, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2017). Modelización y pensamiento analógico en el aprendizaje del cambio químico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(3), 903–929. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017173903>
- Olson, J. K. (2018). The inclusion of the nature of science in nine recent international science education standards documents. *Science & Education*, 27(7), 637–660. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9993-8>
- Onel, N. (2024). Transforming consumption: The role of values, beliefs, and norms in promoting four environmentally significant consumption behaviours. *Journal of Consumer Behaviour*, 23(2), 491–513. <https://doi.org/10.1002/cb.2212>
- Organización Mundial de la Salud (1986). *Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud (1998). *Promoción de la Salud: Glosario*. Ministerio de Sanidad y Consumo.
- Organización Mundial de la Salud (2022). *Una sola salud*. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/one-health>
- Organización Mundial de la Salud y Marcolino Gomes, C. (1970). *Actividades de la OMS en 1969: informe anual del Director General a la Asamblea Mundial de la Salud y a las Naciones Unidas*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/95272>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2006). *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy: A Framework for PISA 2006*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264026407-en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2019). *Critical Thinking Assessment Rubric (CERI project)*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/education/teaching-learning-and-assessing-creative-and-critical-thinking-skills.htm>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2019). *Domain-General Creativity y Critical Thinking Conceptual Rubric* (CERI project). OECD Publishing. <https://www.oecd.org/education/teaching-learning-and-assessing-creative-and-critical-thinking-skills.htm>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2019). *OECD Learning Compass 2030: A series of concept notes*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/learning-compass-2030/OECD_Learning_Compass_2030_concept_notes.pdf
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2022). *The environmental sustainability competence toolbox: From theory to practice*. OECD Education Working Papers, No. 275. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/e716e255-en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE]. (2023). *PISA 2022 resultados clave: Lo que los estudiantes saben y pueden hacer*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2022-results.htm>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2023). *PISA 2025 science framework (second draft)*. OECD Publishing. https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/per_spa/
- Orion, N., y Hofstein, A. (1994). Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1097–1119. <https://doi.org/10.1002/tea.3660311005>
- Orovás, C., Sapounidis, T., Volioti, C., y Keramopoulos, E. (2024). EEG in education: A scoping review of hardware, software, and methodological aspects. *Sensors*, 25(1), 182. <https://doi.org/10.3390/s25010182>
- Ortiz-Revilla, J. (2020). *El desarrollo competencial en la Educación Primaria: efectos de una propuesta STEAM integrada* (Tesis doctoral). <https://riubu.ubu.es/handle/10259/5521>
- Ortiz-Revilla, J., Adúriz-Bravo, A., y Greca, I. M. (2020). A framework for epistemological discussion on integrated STEM education. *Science & Education*, 29(4), 857–880. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00131-9>
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., y Arriasecq, I. (2022). A theoretical framework for integrated STEM education. *Science & Education*, 31(2), 383–404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>
- Ortiz-Revilla, J., Sanz-Camarero, R., y Greca, I. M. (2021). Una mirada crítica a los modelos teóricos sobre educación STEAM integrada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 13–33. <https://doi.org/10.35362/rie8724634>
- Osborne, J. (2009). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463–466. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Osborne, J., y Pimentel, D. (2022). Science, misinformation, and the role of education. *Science*, 378(6617), 246–248. <https://doi.org/10.1126/science.abq8093>
- Osborne, J., y Pimentel, D. (2023). Science education in an age of misinformation. *Science Education*, 107(3), 553–571. <https://doi.org/10.1002/sce.21790>
- Osborne, J., Simon, S., y Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>

- Osborne, R. J., y Freyberg, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's science*. Heinemann Educational.
- Otero, J., y Sanjosé, V. (2006). Algunas reflexiones críticas sobre la investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Actas de los XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Prensa Universidad.
- Ouariachi, T., Olvera Lobo, M. D., y Gutiérrez Pérez, J. (2017). Evaluación de juegos online para la enseñanza y aprendizaje del cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 193–214. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2088>
- Oulton, C., Dillon, J., y Grace, M. (2004). Reconceptualizing the teaching of controversial issues. *International Journal of Science Education*, 26(4), 411–425. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072746>
- Ozkaya de Juanas, S., y Barroso-Barcenilla, F. (2019). Paleontología y su didáctica: diseño y aplicación de actividades basadas en yacimientos cretácicos y sus fósiles para alumnos de Educación Primaria. *Aula, Museos y Colecciones*, 6, 95–113. <https://www.rsehn.es/publicaciones-aula/art445>
- Palma-Jiménez, M., Cebrián-Robles, D., y Blanco-López, A. (2025). Impact of Instruction Based on a Validated Learning Progression on the Argumentation Competence of Preservice Elementary Science Teachers. *Science & Education*, 34, 423–455. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00468-x>
- Park, H. J., y Lin, L. M. (2020). Exploring attitude-behavior gap in sustainable consumption: Comparison of recycled and upcycled fashion products. *Journal of Business Research*, 117, 623–628. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.08.025>
- Parra-González, M. E., y Segura-Robles, A. (2019). Producción científica sobre gamificación en educación: un análisis cuantitativo. *Revista de Educación*, 386, 113–135. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2019-386-429>
- Parrilla, M. C., Jiménez-Liso, M. R., y Martínez-Chico, M. (2017). ¿Por qué el mar no se “desparrama” si solo tiene arena alrededor? Indagación en la playa. *Ápice*, 1(2), 38–46. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.2.3109>
- Pascual Trillo, J. A. (2013). La Tierra como sistema. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 130–138. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274146/362239>
- Pascual Trillo, J. A. (2017). Necesitamos la Geología también en Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3), 274–284. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/330132>
- Passmore, C. M., y Svoboda, J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535–1554. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.577842>
- Patapoutian, A., Peier, A. M., Story, G. M., y Viswanath, V. (2003). ThermoTRP channels and beyond: Mechanisms of temperature sensation. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(7), 529–539. <https://doi.org/10.1038/nrn1141>
- Pattison, S. A., Randol, S. M., Benne, M., Rubin, A., Gontan, I., Andanen, E., Bromley, C., Ramos-Montañez, S., y Dierking, L. D. (2017). A Design-Based Research Study of Staff-Facilitated Family Learning at Interactive Math Exhibits. *Visitor Studies*, 20(2), 138–164. <https://doi.org/10.1080/10645578.2017.1404348>
- Paul, R., y Elder, L. (2006). Critical thinking: The nature of critical and creative thought. *Journal of developmental education*, 30(2), 34–35. <https://www.proquest.com/>

- scholarly-journals/critical-thinking-nature-creative-thought/docview/228409035/se-2?accountid=14495
- Pecore, J. L. (2015). From Kilpatrick's project method to project-based learning. En M. Y. Eryaman y B. C. Bruce (Eds.), *International Handbook of Progressive Education* (pp. 155-171). Peter Lang.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., y Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Pedraz, P. (2019). *Aprende jugando: Una experiencia de aprendizaje real*. B de Blok.
- Pedretti, E. (2005). STSE Education: Principles and practices. En S. Aslop et al. (Eds.), *Analysing Exemplary Science Teaching: Theoretical Lenses and a Spectrum of Possibilities for Practice*. Open University Press.
- Pedretti, E., y Lannini, A. M. N. (2020). Towards fourth-generation science museums: changing goals, changing roles. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20, 700-714. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00128-0>
- Pedretti, E., y Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626. <https://doi.org/10.1002/sce.20435>
- Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 315-323. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4512>
- Pedrinaci, E. (2001). Cómo funciona la Tierra: una perspectiva sistemática. *Alambique*, 27, 47-57.
- Pedrinaci, E. (2002). Los contenidos geológicos en la ESO: un análisis del nuevo currículo. *Alambique*, 33, 49-58.
- Pedrinaci, E. (2006). Geología en la ESO: otra oportunidad perdida. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14(3), 194-201. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/107385/134368>
- Pedrinaci, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2), 133-140. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/257532/348370>
- Pedrinaci, E. (2016). La geología que necesitamos. *Alambique*, 83, 4-6.
- Pedrinaci, E. (2016). Qué debe saber todo ciudadano acerca del planeta en que habita. *Alambique*, 83, 7-12.
- Pedrinaci, E., Alcalde, A., ...Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 117-129. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/274145>
- Pedrinaci, E., y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1), 240-251. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88138/141611>
- Pedrinaci, E., Sequeiros, L., y García de la Torre, E. (1994). El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geología. *Alambique*, 2, 37-45.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Peme, C., Mellado, V., De Longhi, A. L., Argañaraz, M. R., y Ruiz, C. (2008). La interacción entre las concepciones y la práctica de una profesora de Ciencias Naturales de

- secundaria con experiencia: Un programa longitudinal de desarrollo profesional basado en la reflexión orientada colaborativa. *Tecne, Episteme y Didaxis: TED*, 24, 75-98.
- Penn, M., y Mavuru, L. (2020). Assessing pre-service teachers' reception and attitudes towards virtual laboratory experiments in life sciences. *Journal of Baltic Science Education*, 19(6), 1092-1105. <https://doi.org/10.33225/JBSE/20.19.1092>
- Perales Palacios, F. J. (1996). La evaluación en la Didáctica de las Ciencias. *RIFOP: Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 27, 179-188.
- Perales Palacios, F. J. (2000). *Resolución de problemas*. Síntesis educación.
- Perales Palacios, F. J. (2012). Reflexiones en torno a la 25 edición de los Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Actas de los XXV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* 3-6. Universidad de Santiago de Compostela.
- Perales Palacios, F. J. (2018). El área de Didáctica de las Ciencias Experimentales en España: entre la tribulación y la esperanza. *Ápice*, 2(2), 1-14. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.3915>
- Perales Palacios, F. J. (2022). Educación ambiental, didácticas específicas y transversalidad. *Boletín de la AIACTS*, 16, 39-47. <http://hdl.handle.net/10481/75939>
- Perales Palacios, F. J. (2023). *Educación Ambiental: más recursos que palabras*. Universidad de Granada. <https://hdl.handle.net/10481/82414>
- Perales Palacios, F. J., y Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción? *Ápice*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Perales Palacios, F. J., y Ayerbe, J. (2016). El trabajo por proyectos y por resolución de problemas en Educación Ambiental: análisis y tendencias. En J. L. Bravo Galán (Ed.), *XXVII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 593-602). Universidad de Extremadura. <http://hdl.handle.net/10481/43771>
- Perales Palacios, F. J., y Cañal, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Marfil.
- Pérez, S., y Meneses Villagrà, J. A. (2020). La enseñanza de las Ciencias por indagación y el diseño ingenieril en Educación Primaria. *Ápice*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.1.5807>
- Pérez-Bueno, B., De las Heras-Pérez, M. A., y Jiménez-Pérez, R. (2024). Enfoques académicos de las emociones hacia la Física en maestros en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 45-66. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6011>
- Pérez García, I., y Romero López, M. C. (2019). Microbios: ideas previas en Educación Infantil. En T. Sola Martínez et al. (Eds.), *Innovación Educativa en la Sociedad Digital* (pp. 200-212). Dykinson.
- Pérez Gómez, A. I., y Soto, E. (Coords.). (2022). *Lesson Study. Aprender a enseñar para enseñar a aprender*. Morata.
- Pérez-Rodrigo, C., y Aranceta, J. (2001). School-based nutrition education: lessons learned and new perspectives. *Public Health Nutrition*, 4(1a), 131-139. <https://doi.org/10.1079/PHN2000108>
- Pérez-Torres, M., Couso, D., y Márquez, C. (2021). ¿Como diseñar un buen proyecto STEM? Identificación de tensiones en la co-construcción de una rúbrica para su mejora. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1301

- Pérez-Vidal, D., y Crujeiras-Pérez, B. (2019). Desempeños del alumnado de Educación Secundaria en la evaluación de una investigación científica en el contexto de la industria láctea. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 5-23. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2544>
- Perrenoud, P. (1993). Touche pas à mon évaluation! Pour un approche systémique du changement. *Mesure et Evaluation en Education*, 16(1,2), 107-132.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques: des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation (Montréal)*, XXIV(3), 487-514. <https://doi.org/10.7202/031969ar>
- Petty, R. E., y Cacioppo, J. T. (1986). The elaboration likelihood model of persuasion. *Advances in Experimental Social Psychology*, 19, 123-205. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60214-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60214-2)
- Petty, R. E., y Wegener, D. T. (1998). Matching versus mismatching attitude functions: Implications for scrutiny of persuasive messages. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 24(3), 227-240. <https://doi.org/10.1177/0146167298243001>
- Piaget, J. (1984). *La representación del mundo en el niño*. Morata.
- Piangiamore, G. L., Maraffi, S., y Sacerdoti, F. M. (2024). A board game meets an App... this is GeoRisk!. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 64, 35-41. <https://doi.org/10.3301/ROL.2024.47>
- Piburn, M. D., Reynolds, S. J., McAuliffe, C., Leedy, D. E., Birk, J. P., y Johnson, J. K. (2005). The role of visualization in learning from computer-based images. *International Journal of Science Education*, 27(5), 513-527.
- Pinkel, S. (2016). Stem, Steam, Steams. *Leonardo*, 49(1), 2. <https://muse.jhu.edu/article/608583>
- Pinto Carral, A. (2023). *Aprendizaje-servicio para la promoción de la salud y la prevención de enfermedad en la población infantil*. Universidad de León, Innovación Docente.
- Pisabarro Marrón, A., y Vivaracho, C. (2018). Gamificación en el aula: gincana de programación. *ReVision - A Journal of Consciousness and Transformation*, 11(1), 8. https://aenui.org/revision/pdf.php?f=2018_11_1_234.pdf
- Plass, J. L., Homer, B. D., y Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational psychologist*, 50(4), 258-283. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>
- Pontes, A. (2005). Aplicaciones de las nuevas tecnologías de la información en la educación científica. 1ª Parte: Funciones y recursos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(1), 2-18. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3930>
- Pontes, A. (2019). Integración de recursos TIC en experiencias de formación del profesorado de enseñanza secundaria. *Congreso Internacional de Investigación Educativa: Experiencias innovadoras y desarrollo socioeducativo* (pp.618-623). UAM-AIDIPE.
- Popper, K. (1983). *Realism and the aim of science*. Routledge.
- Porlán, R. (1993). *Constructivismo y escuela: Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Díada.
- Porlán, R. (1993). La didáctica de las ciencias. Una disciplina emergente. *Cuadernos de Pedagogía*, 210, 68-71.
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.

- Porlán, R. (2022). Automatismos y conciencia: claves para la formación docente en la universidad. *Márgenes, Revista de Educación de la Universidad de Málaga*, 3(3), 45-54. <http://dx.doi.org/10.24310/mgnmar.v3i3.15118>
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P., y Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de Ciencias I: Marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31-46. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3619>
- Porlán, R., y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Diada Editora.
- Porlán, R., Rivero, A., y Martín del Pozo, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4173>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Potvin, P., y Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: A systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85-129. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>
- Pozo, J. I., y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata
- Pradeiro, F. N., Furman, M., Luzuriaga, M., Costillo, E., y Ayuso, E. (2024). The influence of emotions on science teaching: a case study with three early childhood education teachers. *Frontiers in Education*, 9, 1472721. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1472721>
- Prado-Arenas, D., Junyent, M., y Oliveras, B. (2022). Concepciones iniciales de pensamiento crítico y creativo del profesorado de ciencias. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 26(3), 547-567. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v26i3.21445>
- Presley, M. L., Sickel, A. J., Muslu, N., Merle-Johnson, D., Witzig, S. B., Izci, K., y Sadler, T. D. (2013). A framework for socio-scientific issues based education. *Science Educator*, 22, 26-32.
- Price, S., y Hein, G. E. (1991). More than a field trip: Science programmes for elementary school groups at museums. *International Journal of Science Education*, 13(5), 505-519.
- Prieto, I., García Fernández, B., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2025). Las ciencias de la Tierra en Educación Primaria: un análisis del currículo de la LOMLOE. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(2), 23-40. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6221>
- Pro, A. (1999). ¿Qué investigamos?, ¿Cómo lo hacemos?, ¿A qué conclusiones llegamos?: Tres preguntas que hacen pensar. En C. Martínez y S. García. *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales*, 19-43. Universidad de A Coruña.
- Pro, A. (2009). ¿Qué investigamos sobre la didáctica de las ciencias experimentales en nuestro contexto educativo? *Investigación en la Escuela*, 69, 45-59.
- Pro, A. (2010). ¿Cuáles han sido las preocupaciones de los trabajos de innovación en la Didáctica de las Ciencias? *Alambique*, 65, 73-85.
- Pro, A., y Rodríguez Moreno, J. (2011). La investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Educatio Siglo XXI*, 29(1), 129-148. <https://revistas.um.es/educatio/article/view/119911>
- Puig, B., Ageitos, N., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). Learning Gene Expression Through Modelling and Argumentation. A Case Study Exploring the Connections

- Between the Worlds of Knowledge. *Science & Education*, 26(10), 1193-1222. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9943-x>
- Puig, B., Blanco Anaya, P., y Mosquera Bargiela, I. (2023). Integrar el Pensamiento Crítico en la Educación Científica en la Era de la Post-verdad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 3301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3301
- Puig, B., Pérez, J. J., y Montero, S. (2015). La sucesión de terremotos del Delta del Ebro. Una secuencia para investigar las ideas del alumnado y la práctica de uso de pruebas. *Praxis & Saber*, 6(11), 43-65. <https://doi.org/10.19053/22160159.3574>
- Pupik, Ch., Grossman, P., Enumah, L., Herrmann, Z., y Schneider-Kavanagh, S. (2023). Core practices for Project-based learning: Learning from experienced practitioners in the United States. *Teaching and Teacher Education*, (133), 104275. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104275>
- Quigley, C., Herro, D., y Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1111/ssm.12201>
- Quintanal Pérez, F. (2016). Gamification and Physics and Chemistry of Secondary Education. *Education in the Knowledge Society*, 17(3), 6-9. <https://doi.org/10.14201/eks20161731328>
- Raaijmakers, H., Mc Ewen, B., Walan, S., y Christenson, N. (2021). Developing museum-school partnerships: art-based exploration of science issues in a *third space*. *International Journal of Science Education*, 43(17), 2746-2768. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1986646>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., y Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Radvila, V., Bredelytė, A., y Lekutienė, K. (2025). Empowering STEAM Educators through AI: A Conceptual Framework for Adaptive, Inclusive Professional Development. *Social Welfare: Interdisciplinary Approach*, 15, 160-174. <https://doi.org/10.15388/SW.2025.15.9>
- Rakedzon, T., Segev, E., Chapnik, N., Yosef, R., y Baram-Tsabari, A. (2017). Automatic jargon identifier for scientist engaging with the public and science communication educators. *PLoS ONE* 12(8), e0181742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181742>
- Ramadhan, D. L., y Nafisah, D. (2024). Project-Based Learning vs. Problem-Based Learning: Uncovering Effective Learning Methods. *Journal of Technology, Education y Teaching (J-TECH)*, 1(3), 108-114. <https://doi.org/10.62734/jtech.v1i3.424>
- Ramos Mejía, A. (2024). La Didáctica de la Química. *Educación Química*, 35(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.90004>
- Ramos-Solano, A., Martín Gámez, C., y Cebrián Robles, D. (2024). Activismo Colectivo Basado en la Indagación: Desarrollando la Conciencia de Sostenibilidad del Profesorado. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 13(1), 51-69. <https://doi.org/10.15366/riejs2024.13.1.003>
- Ramos-Truchero, G., Eugenio-Gozalbo, M., y Estrada-Vidal, L. I. (2026). Validating scales to assess learning about sustainable food through university gardens. *International Journal of Sustainability in Higher Education*.

- Rau, G. (2009). An activity to help students learn about observation, interpretation, and argumentation. *The Science Teacher*, 76(8), 30–35. https://search.proquest.com/open-view/d17fb9b36f453372be586adc1496650a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40590&casa_token=uoJUIA-q53cAAAAA:hqasIJWD5BmriLScKiuaHXvbKkDumwnjVpSRjKWqAKUbiRw1EGLWN7po_todPcPWWI5fdzboXbNL
- Reckien, D., y Eisenack, K. (2013). Climate change gaming on board and screen: A review. *Simulation & Gaming*, 44, 253–271. <https://doi.org/10.1177/1046878113480867>
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Reid, A., Dillon, J., Ardoin, N., y Ferreira, J. A. (2021). Scientists' warnings and the need to reimagine, recreate, and restore environmental education. *Environmental Education Research*, 27(6), 783–795. <https://doi.org/10.1080/13504622.2021.1937577>
- Reigosa Castro, C. E., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Scaffolded Problem-solving in the Physics and Chemistry Laboratory: Difficulties hindering students' assumption of responsibility. *International Journal of Science Education*, 29(3), 307–329. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690600702454>
- Renna, M., Spaeth, P., Clayton, M., y Mennin, D. (2025). Emotional reactivity and regulation: Associations with heart rate variability during experimental worry and relaxation inductions. *Journal of Emotion and Psychopathology*, 1(2), 478–488. <https://doi.org/10.55913/joep.v1i2.61>
- Resnick, M. (2004). Edutainment? No thanks. I prefer playful learning. *Associazione Civita Report on Edutainment*, 14, 1–4.
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. CMIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11017.001.0001>
- Retana, D. A., de las Heras, M. A., y Jiménez, R. (2020). ¿Puede influir una práctica docente emocional en el cambio de emociones del alumnado? Un estudio en la formación inicial de maestros. *Investigación en la Escuela*, 102, 16–31. <https://doi.org/10.12795/IE.2020.i102.02>
- Retana-Alvarado, D. A., de las Heras-Pérez, M. A., Vázquez-Bernal, B., y Jiménez-Pérez, R. (2018). El cambio de las emociones de maestros en formación inicial hacia el clima de aula en una intervención basada en investigación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2602. https://doi.org/10.25267/rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2602
- Retana-Alvarado, D. A., De las Heras-Pérez, M. A., Vázquez-Bernal, B., y Jiménez-Pérez, R. (2019). ¿Cómo cambian las emociones en docentes en formación inicial hacia la asignatura Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza con un proyecto de indagación de aula? *Apice. Revista de educación científica*, 3(2), 55–69. <https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.2>
- Retana, D. A., de las Heras, M. A., Vázquez-Bernal, B., y Jiménez-Pérez, R. (2025). Explorando el vínculo entre las emociones y el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en la formación inicial docente. *Tecné, Epísteme y Didaxis: TED*, 57, 296 – 313. <https://doi.org/10.17227/ted.num57-20695>
- Retana, D. A., Vázquez, B., de las Heras, M. A., y Jiménez, R. (2021). Las causas del cambio emocional en el clima del aula desde la hipótesis de la complejidad. *Revista Interdisciplinar Sulear*, 4(9), 170–190. <https://revista.uemg.br/sulear/article/view/5150>

- Reverté, N., Calero, M., y Vilches, A. (2023). Evolución de las interacciones CTSA en la educación científica. *Anales del VIII Seminario Iberoamericano CTS* (pp.931-943). Universidade Cruzeiro Do Sul (Brasil).
- Revuelta, G., Llorente, C., y Saladié, N. (2023). *La comunicación científica en España*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). <https://doi.org/10.58121/gvn9-h856>
- Reyes, A., Melero, J. J., y Román, J. M. (2008). *Materiales para la formación del profesorado de secundaria: Didáctica de la Tecnología*. Universidad de Cádiz.
- Richland, L. E., y Simms, N. (2015). Analogy, higher order thinking, and education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(2), 177-192. <https://doi.org/10.1002/wcs.1336>
- Rieckmann, M. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje*. UNESCO Publishing.
- Rivarossa, A., y Perales-Palacios, F. J. (1998). La transformación de la pedagogía de los profesores universitarios de ciencias desde la reflexión: Una propuesta innovadora. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, (33), 141-159. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=118000>
- Rivero, A., y Jiménez-Liso, M. R. (7-10 de septiembre de 2021). *Prácticas clave en la formación de docentes de ciencias. Aproximaciones para un debate necesario*. [Conferencia]. XI Congreso Internacional sobre Investigaciones en Didáctica de las Ciencias.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research in science education* (pp. 729-779). Lawrence Erlbaum.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., y Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Directorate General for Research, Science, Economy and Society. <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/5e745fa8-d837-4d9d-bdb0-dd13701c1d81>
- Rockström, J., Kotzé, L., Milutinović, S., Biermann, F., Brovkin, V., Donges, J., Ebbesson, J., French, D., Gupta, J., Kim, R., Lenton, T., Lenzi, D., Nakicenovic, N., Neumann, B., Schuppert, F., Winkelmann, R., Bosselmann, K., Folke, C., Lucht, W., Schlosberg, D., Richardson, K., y Steffen, W. (2024). The planetary commons: A new paradigm for safeguarding Earth-regulating systems in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 121(5), e2301531121. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2301531121>
- Rodríguez-Arteche, I., y Martínez-Aznar, M. M. (2016). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal of Chemical Education*, 93, 1528-1535. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.5b01037>
- Rodríguez Fernández, Á., Cárdenas Castellar, M., y Romero López, M. C. (2019). Microorganismos e Higiene Alimentaria a través de la Indagación, una intervención didáctica. En A. Baena Extremera y P. J. Ruiz Montero (Eds.), *Metodologías activas en ciencias de la educación* (Vol. 2, pp. 83-112). Wanceulen.
- Rodríguez-Mora, F., y Blanco-López, A. (2021). Diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de competencias científicas en el contexto del consumo de agua envasada. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1803. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1803

- Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ellis, J. A., y Ring-Whalen, E. (2021). Beyond the basics: A detailed conceptual framework of integrated STEM. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00041-y>
- Rohracher, H. (2015). History of Science and Technology Studies. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (2nd Edition, pp. 200-205). J. Wright Ed. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.03064-6>
- Roldán Muñoz, J. (2025). ¿Cómo y por qué mejorar la comprensión del tiempo geológico en el alumnado de Secundaria? *Ápice*, 9(1), 83-99. <https://doi.org/10.17979/arec.2025.9.1.11650>
- Roldán-Segura, C., Perales-Palacios, F. J., Ruiz-Granados, B., Moral-Santaella, C., y de la Torre, A. (2018). Enseñando a programar por ordenador en la resolución de problemas de Física de Bachillerato. *Revista Eureka de Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), 1301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1301
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la Enseñanza de las Ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299. <http://hdl.handle.net/10498/19218>
- Romero-Ariza, M., y Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 101-115. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.433>
- Romera-Iruela, M. J. (2011). La investigación-acción en la formación del profesorado. *Revista española de documentación científica*, 34(4), 597-614.
- Romero García-Aranda, C. (2025). Metodologías de enseñanza-aprendizaje: aula invertida o flipped classroom y aprendizaje basado en proyectos. En A. Santaella Vallejo (Ed.), *Experiencias de innovación educativa aplicada a la formación del profesorado* (1ª Ed., pp. 65-80). Dykinson. <https://doi.org/10.14679/3517>
- Romero-López, M. C., Jiménez-Tejada, M. P., y González-García, F. (2021). ¿Mensajes publicitarios o nutricionales?: Esa es la cuestión. En *Enseñanza de las Ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía* (pp. 239-252). Graó.
- Romero-López, M. C., Jiménez-Tejada, M. P., González-García, F., Carrillo-Rosúa, F. J., Barón, S. D., Casas-Castillo, R., y Ruiz-Rodríguez, L. (2016). Educación nutricional mediante trabajo colaborativo multidisciplinar con un enfoque aprendizaje-servicio. En J. L. Bravo Galán (Ed.), *XXVII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 1187-1194). Universidad de Extremadura.
- Romero-López, M. C., Rodríguez-Fernández, A., y Cárdenas-Castellar, M. (2019). Indagando sobre higiene alimentaria en educación primaria. Intervención educativa en un ambiente transcultural. En P. Ayala Almécija et al. (Coords.), *Re-inventando la investigación en salud y educación para una sociedad transcultural: propuestas de acción* (pp. 181-192). Universidad de Almería.
- Romero Rincón, Y. N. (2022). *Relación entre las emociones y el desarrollo profesional de maestros en servicio de la básica primaria en el contexto de la educación en ciencias*. Tesis Doctoral. Universidad Pedagógica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17365>
- Rosati, R., Regini, L., Pauls, A., Strafella, E., Rafaelli, F., y Frontoni, E. (2025). Gamification in nutrition education: the impact and the acceptance of digital game-based intervention for improving nutritional habits. *Journal of Computers in Education*, 12, 367-390. <https://doi.org/10.1007/s40692-024-00314-1>

- Rossiter, M. W. (1993). The Matthew Matilda Effect in Science. *Social Studies of Science*, 23(2), 325-341. <https://doi.org/10.1177/030631293023002004>
- Royal Society (1985). *The Public Understanding of Science*. The Royal Society.
- Royo Torres, R., Ponz-Miranda, A., Carrasquer, B., Lordán, M., y Maya, S. (2021). Los dinosaurios como recurso de enseñanza y aprendizaje en Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 29(1), 90-100. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/414030>
- Ruíz-González, C., Cruz-Lorite, I. M., y Blanco-López, A. (2025). Abordando la desextinción de especies en la enseñanza de la Biología en la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín de la AIA-CTS*, 22, 36-45
- Ruščić, M., Vidović, A., Kovačević, G., y Sirovina, D. (2018). The Use of microscope in School Biology Teaching. *Resolution and discovery*, 3, 13-16. <https://doi.org/10.1556/2051.2018.00054>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., y van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Ryder, J. (2001). Identifying science understanding for functional scientific literacy. *Studies in Science Education*, 36(1), 1-44. <https://doi.org/10.1080/03057260108560166>
- Sachs, J. D., Lafortune, G., Kroll, C., Fuller, G., y Woelm, F. (2022). *From Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond*. Sustainable Development Report 2022. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009210058>
- Sadler, D. R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. *Instructional Science*, 18(2), 119-144. <https://doi.org/10.1007/BF00117714>
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 513-536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45, 1-42. <https://doi.org/10.1080/03057260802681839>
- Sadler, T. D. (Ed.). (2011). *Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research*. Springer.
- Sadler, T. D., Xu, Z., y Fortus, D. (2025). Restructuring the science curriculum around grand challenges. *International Journal of Science Education*, 47(15-16), 2093-21121-20. <https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2490777>
- Sáez Bondía, M. J., Gil Quílez, M. J., Martínez Peña, M. B., y Carrasquer Zamora, J. (2021). *Las tres letras de RÍO. Fundamentos y recursos para trabajar en el aula*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Salcedo-Armijo, E., Cano-Iglesias, M. J., Blanco-López, Á., y Franco-Mariscal, A. J. (2023). Uso de pruebas y decisiones de profesores en formación inicial en un debate sobre prohibición de plásticos. *Educación Química*, 34(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.4.84663>
- Salvador, T., y Suelves, J. M. (2009). *Ganar salud en la escuela. Guía para conseguirlo*. Ministerio de Educación. Ministerio de Sanidad y Política Social.
- Sampson, V., Grooms, J., y Walker, J. P. (2011). Argument-Driven Inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written

- arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95(2), 217-257. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.20421>
- Sancar, R., Atal, D., y Deryakulu, D. (2021). A new framework for teachers' professional development. *Teaching and Teacher Education*, (101), 103305. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103305>
- Sánchez-Carracedo, F., Moreno-Pino, F. M., Romero-Portillo, D., y Sureda, B. (2021). Education for sustainable development in Spanish university education degrees. *Sustainability*, 13(3), 1467. <https://doi.org/10.3390/su13031467>
- Sánchez-Martín, J., Álvarez, G. J., Dávila-Acedo, M. A., y Mellado, V. (2017). Teaching technology: from knowing to feeling enhancing emotional and content acquisition performance through Gardner's multiple intelligences theory in technology and design lessons. *Journal of Technology and Science Education*, 7(1), 58-79. <https://doi.org/10.3926/jotse.238>
- Sánchez-Martín, J., Cañada-Cañada, F., y Dávila-Acedo, M. A. (2018). Emotional Responses to Innovative Science Teaching Methods: Acquiring Emotional Data in a General Science Teacher Education Class. *Journal of Technology and Science Education*, 8(4), 346-359. <https://doi.org/10.3926/jotse.408>
- Sánchez-Martín, J., Corrales-Serrano, M., Luque-Sendra, A., y Zamora-Polo, F. (2020). Exit for success. Gamifying science and technology for university students using escape-room. A preliminary approach. *Heliyon*, 6(7), e04340. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04340>
- Sánchez Montero, M. (2021). *En clase sí se juega*. Paidós Educación.
- Sánchez Mora, M. C. (2013). Museos de ciencias, escuelas y profesorado: Una relación a revisarse. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 377-393. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i3.05
- Sánchez-Robles, J. M., Martínez Pérez, L. F., y Martínez-Chico, M. (2024). ¿Tiene sentido que al tocarse dos frutos se genere una planta "mezcla" de ambos? Sensemaking en el análisis de Modelos de Reproducción Vegetal. *Ápice*, 8(1), 37-53. <https://doi.org/10.17979/arec.2024.8.1.10002>
- Sánchez Ron, J. M. (2003). *Elogio del mestizaje: historia, lenguaje y ciencia*. Discurso de entrada a la RAE. Real Academia Española.
- Sánchez Ron, J. M. (14-20 de noviembre de 2025). Comprender Stonehenge. *Revista El Cultural*, 48-49.
- Sanders, M. (2008). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26. <https://www.questia.com/library/journal/1G1-190941545/stem-stem-education-stemmania-a-series-of-circumstances>
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis.
- Sanmartí, N. (2007). *Evaluar para aprender. 10 Ideas clave*. Graó.
- Sanmartí, N. (2008). Contribuciones y desafíos de las publicaciones del área de educación en ciencias en la construcción y consolidación del área: la experiencia de la revista Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), 301-310. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3743>
- Sanmartí, N. (2020). *Evaluar y aprender: un único proceso*. Octaedro.
- Sanmartí, N. (2025). Evaluar el pensamiento crítico para aprender a ser personas críticas. En D. Couso y C. Márquez (Coord.), *El pensamiento crítico en el aula de ciencias*. Graó.

- Sanmartí, N., y Azcárate, P. (1997). Reflexiones en torno a la línea editorial de la revista *Enseñanza de las Ciencias*. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), 3-9. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4185>
- Santana-Monagas, E., Falcon, S., y Leon, J. (2025). Emotions in teacher engaging messages: Their interplay with student outcomes. *Teaching and Teacher Education*, 166, 105195. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105195>
- Santos-Pastor, M. L., Ruiz-Montero, P. J., Chiva-Bartoll, O., Baena-Extremera, A., y Martínez-Muñoz, L. F. (2022). Environmental education in initial training: Effects of a physical activities and sports in the natural environment program for sustainable development. *Frontiers in Psychology*, 13, 867899. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.867899>
- Sanz Alonso, J., Zuazagoitia, D., Lizaso, E., y Pérez, M. (2021). ¿Promueven los patios naturalizados el desarrollo de la competencia científica? Un estudio de caso en la educación infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2203
- Sanz-Azkue, I., Fernandez-Arrieta, A., Garin-Barrio, I., y Zuazagoitia, D. (2023). ¿Dónde podemos construir un microhumedal en nuestro entorno escolar? Diseñar, construir y evaluar un ecosistema acuático. En M. Eugenio-Gozalbo y D. Zuazagoitia (Coords.), *STEAM en el huerto. 10 propuestas de proyecto científico para educación secundaria* (pp. 71-87). Graó.
- Sardà, A., y Sanmarti, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 405-422.
- Savelsbergh, E. R., Prins, G. T., Rietbergen, C., Fechner, S., Vaessen, B. E., Draijer, J. M., y Bakker, A. (2016). Effects of innovative science and mathematics teaching on student attitudes and achievement: a meta-analytic study. *Educational Research Review*, 19, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.07.003>
- Schibeci, R. A. (1984). Attitudes to Science: an update. *Studies in Science Education*, 11(1), 26-59.
- Schmidt, M., Radchuk, O., y Meinhart, C. (2014). A serious game for public engagement in synthetic biology. En S. Göbel y J. Wiemeyer (Eds.), *International Conference on Serious Games* (Lecture Notes in Computer Science, pp. 77–85). Springer.
- Schofield, L., Takriti, R., Rabbani, L., Al Amirah, I., Ioannidou, O., Alhosani, N., Elhoweis, H., y Erduran, S. (2023). Early years education teachers' perceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, 45(8), 613-635. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2168139>
- Schwartz, R. S., y Crawford, B. A. (2006). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science: Identifying critical element. En L. B. Flick y N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 331-355). Springer.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Scott, G. W., y Boyd, M. (2016). Getting more from getting out: increasing achievement in literacy and science through ecological fieldwork. *Education 3-13*, 44(6), 661–670. <https://doi.org/10.1080/03004279.2014.996242>

- Scriven, M., y Paul, R. (2007). Defining critical thinking. En *8th annual international conference on critical thinking and education reform* (pp. 2-5). http://www.criticalthinking.org/aboutCT/define_critical_thinking.cfm
- Segarra, A., Vilches, A., y Gil, D. (2008). Los museos de ciencias como instrumentos de alfabetización científica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 85–102.
- Shaby, N., Assaraf, O. B. Z., y Tal, T. (2019). 'I know how it works!' student engagement with exhibits in a science museum. *International Journal of Science Education, Part B*, 9(3), 233–252. <https://doi.org/10.1080/21548455.2019.1624991>
- Sharma, M., Kacker, S., y Sharma, M. (2016). A brief introduction and review on galvanic skin response. *International journal of medical research professionals*, 2(6), 13-17. <https://doi.org/10.21276/ijmrp.2016.2.5.055>
- Shaughnessy, J. M. (2013). Mathematics in a STEM context. *Mathematics Teaching in the Middle school*, 18(6), 324-324. <https://www.jstor.org/stable/10.5951/mathteacmid-dscho.18.6.0324>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Shulman, L. S. (2012). *Keynote at the PCK Summit*. Colorado Springs, octubre 20-25 de 2012.
- Siegel, H. (1989). The rationality of science, critical thinking and science education. *Synthese*, 80, 9–41. <https://doi.org/10.1007/BF00869946>
- Silva, F. K. M. da, y Compiani, M. (2006). Las imágenes geológicas y geocientíficas en libros didácticos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 207-217. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3801>
- Silva-Díaz, F., Fernández-Ferrer, G., Vázquez-Vílchez, M., Ferrada, C., Narváez, R., y Carrillo-Rosúa, J. (2022). Emerging technologies in STEM education: A bibliometric analysis of publications in Scopus y WoS (2010–2020). *Bordón. Revista de Pedagogía*, 74(4), 25–44. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94198>
- Silva-Díaz, F., Marfil-Carmona, R., Narváez, R., Silva Fuentes, A., y Carrillo-Rosúa, J. (2023). Introducing virtual reality and emerging technologies in a teacher training STEM course. *Education Sciences*, 13(10), 1044. <https://doi.org/10.3390/educsci13101044>
- Simard, C. (2023). Microorganism education: misconceptions and obstacles. *Journal of Biological Education*, 57(2), 308-316. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1909636>
- Simarro, C., y Couso, D. (2022). Didáctica de la ingeniería. *Enseñanza de las Ciencias*. 40(3), 147-164. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3507>
- Simpson, R. D., Koballa, T. R., Oliver, J. S., y Crawley, F. (1994). Research on the affective domain dimension of science learning. En D. Gabel (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 211-234). McMillan.
- Sinatra, G. M., Broughton, S. H., y Lombardi, D. (2014). Emotions in science education. En R. Pekrun y L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 415–436). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203148211>
- Sjöström, J. (2025). Vision III of scientific literacy and science education: an alternative vision for science education emphasising the ethico-socio-political and relational-existential. *Studies in Science Education*, 61(2), 239-274. <https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2405229>

- Sjøberg, S., y Schreiner, C. (2005). How do learners in different cultures relate to science and technology? *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 6(2).
- Sjöström, J., Frerichs, N., Zuin, V. G., y Eilks, I. (2017). Use of the Concept of Bildung in the International Science Education Literature, Its Potential, and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 53, 165–192. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1384649>
- Skarstein, T. H., y Skarstein, F. (2020). Curious children and knowledgeable adults—early childhood student-teachers' species identification skills and their views on the importance of species knowledge. *International Journal of Science Education*, 42(2), 310–328. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1710782>
- Smetana, L. K., y Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Snow, C. P. (1964). *The two cultures: and a second look: an expanded version of the two cultures and the scientific revolution*. New American Library.
- Soga, M., y Gaston, K. J. (2016). Extinction of experience: the loss of human–nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 94–101. <https://doi.org/10.1002/fee.1225>
- Solbes Matarredona, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 1–10. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i1.01<http://reuredc.uca.es>
- Solbes Matarredona, J. (2013). Contribución de las cuestiones socio-científicas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(2), 148–158. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i2.03<http://reuredc.uca.es>
- Solbes, J., y Torres, N. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones socio-científicas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 26, 247–269. <https://doi.org/10.7203/DCES.26.1928>
- Solbes, J., y Vilches, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377–386.
- Solbes, J., y Vilches, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 337–348. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3868>
- Solís, E. (2005). *Concepciones curriculares del profesorado de física y química en formación inicial*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Sevilla.
- Soto Alvarado, M., y Couso Lagarón, D. (2023). Construcción de un modelo sofisticado de energía en futuros docentes de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(2), 25–45. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5585>
- Soto, D. (2015). *Espacios de inclusión e implicaciones educativas entre escuela, museo y universidad*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- Souza, V. M., Bonifácio, V., y Rodrigues, A. V. (2023). School Visits to Science Museums: A Framework for Analyzing Teacher Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 34(4), 329–351. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2022.2103010>

- Spector, B., Strong, P., y La Porta, T. (1998). Teaching the nature of science as an element of science, technology and society. En W. F. McComas (ed.), *The Nature of Science in Science Education* (pp. 267-276). Springer.
- Spyropoulou, N., Ioannou, M., y Kameas, A. (2025). Impact Framework for Transforming STEAM Education: A Multi-Level Approach to Evidence-Based Reform. *Education Sciences*, 15(11), 1552. <https://doi.org/10.3390/educsci15111552>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Sage Publications, Inc
- Stanković Elesini, U., Miha, H., Kristan, D., Korošec, A., Protić, E., Učakar A., Vrabč Brodnjak, U., y Rugelj, J. (2022). Mobile serious game for enhancing user experience in museum. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 16(1), 1–26. <https://doi.org/10.1145/3569088>
- Stenros, J. (2017). The game definition game: A review. *Games and culture*, 12(6), 499-520. <https://doi.org/10.1177/1555412016655679>
- Stern, M. J., Powell, R. B., y Hill, D. (2014). Environmental education program evaluation in the new millennium: what do we measure and what have we learned? *Environmental Education Research*, 20(5), 581–611. <https://doi.org/10.1080/13504622.2013.838749>
- Stokes, L. C., y Selin, N. E. (2014). The Mercury Game: Evaluating a negotiation simulation that teaches students about science–policy interactions. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4, 597–605. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0183-y>
- Storsve, G. (2024). Formal, informal, and non-formal learning as analytic categories for research in music education. *International Journal of Music Education*, 44(1), 37-55. <https://doi.org/10.1177/02557614241250035>
- Sulaiman, M., Al-Balushi, S., Shamsa, S., y Al-Aamri, S. (2014). The effect of environmental science projects on students' environmental knowledge and science attitudes. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 23(3), 213-227. <https://doi.org/10.1080/10382046.2014.927167>
- Sun, X., Lin, G., Zhan, M., Zheng, Y., Ye, J., y Chen, D. (2024). Effects of a Micro-computer-Based Laboratory on the Triple-Representation of a Preservice Chemistry Teacher: An Eye-Tracking Design and Evidence. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 858–867. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00075>
- Sun, W., y Zhong, B. (2024). Integrating reading and writing with STEAM/STEM: A systematic review on STREAM education. *Journal of Engineering Education*, 113(4), 939–958. <https://doi.org/10.1002/jee.20569>
- Supriyadi, S., Suhandi, A., y Samsudin, A. (2023). Study on the Nature of Science (NOS) in Science Education Since 1895-2022: Bibliometric Analysis. *Equator Science Journal*, 1(2), 57-63. <https://doi.org/10.61142/esj.v1i2.32>
- Suryanda, A., Azrai, E. P., Nuramadhan, M., y Ichsan, I. Z. (2020). Analogy and Critical Thinking Skills: Implementation Learning Strategy in Biodiversity and Environment Topic. *Universal Journal of Educational Research*, 8(4A), 45-50. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081807>
- Susac, A., Bubic, A., Planinic, M., Movre, M., y Palmovic, M. (2019). Role of diagrams in problem solving: An evaluation of eye-tracking parameters as a measure of visual attention. *Physical Review Physics Education*, 15(1), 013101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.013101>

- Susac, A., Planinic, M., Bubic, A., Ivanjek, L., y Palmovic, M. (2020). Student recognition of interference and diffraction patterns: An eye-tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020133. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.16.020133>
- Susskind, K., y Corburn, J. (2000). Using simulations to teach negotiation: Pedagogical theory and practice. En M. Wheeler (Ed.), *Teaching negotiation: Ideas and innovations* (pp. 285–310). PON Books.
- Suter, L. E. (2014). Visiting science museums during middle and high school: A longitudinal analysis of student performance in science. *Science Education*, 98(5), 815–839. <https://doi.org/10.1177/02557614241250035>
- Swick, K. J., y Miller, H. C. (1975). Utilization of analogies to teach critical thinking skills. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 49(4), 180–181. <http://dx.doi.org/10.1080/00098655.1975.11477819>
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156–168. <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>
- Taber, K. S. (2017). Modelos y modelización en ciencias y educación científica. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.), *Educación en Ciencias: Un Curso Internacional* (pp. 263–278). Sense Publishers.
- Tahull, J., y Molina-Luque, F. (2025). El abandono de la docencia y la escasez de profesores. Datos y análisis sobre sus causas. *Antropología Experimental*, (25), 55–68. <https://dx.doi.org/10.17561/rae.v25.9423>
- Talanquer, V. (2023). Interview with the Chatbot: How does it reason? *Journal of Chemical Education*, 100(8), 2821–2824. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00472>
- Tang, K. S., y Cooper, G. (2024). The role of materiality in an era of generative artificial intelligence. *Science & Education*, 34, 731–746. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00508-0>
- Taton, R. (1988). *Historia General de las Ciencias. Vol. 1 La ciencia antigua y medieval. Cap. 1. Orbis*. Obra original publicada en 1966.
- Teixes, F. (2014). *Gamificación: fundamentos y aplicaciones*. UOC.
- Tejedor, G., Segalàs, J., Barrón, Á., Fernández-Morilla, M., Fuertes, M. T., Ruiz-Morales, J., ... y Hernández, A. (2019). Didactic strategies to promote competencies in sustainability. *Sustainability*, 11(7), 2086. <https://doi.org/10.3390/su11072086>
- Tena, E., y Couso, D. (2023). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de Investigación Basada en Diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2), 2801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2801
- Tenreiro-Vieira, C., y Vieira, R. M. (2022). Pensamento crítico e criativo para uma educação ciência-tecnologia-sociedade. *CTS: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 17(51), 141–155. <https://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/323>
- Teo, T., Goh, M., y Yeo, L. (2014). Chemistry education research trends: 2004–2013. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 470–487. <https://doi.org/10.1039/C4RP00104D>
- Terenteva, D., Rodionov, D., Konnikova, O., y Konnikov, E. (2023). Measuring the level of responsible consumption influenced by the digital environment: A case study of

- University of Barcelona and Bielefeld University Students. *Information*, 14(2), 73. <https://doi.org/10.3390/info14020073>
- Testón-Martínez, S., y Alberich, J. (2023). Revisión de usos y estrategias de divulgación científica en YouTube de contenido generado por instituciones científicas. *Documentación de las Ciencias de la Información*, 46(1), 75-82. <https://dx.doi.org/10.5209/dcin.83681>
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., y Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., y Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- Thomas, F., y Harding, S. (2011). The role of play: Play outdoors as the medium and mechanism for wellbeing, learning and development. En J. White (Ed.), *Outdoor provision in the early years* (pp.12–22). SAGE Publications.
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. Autodesk Foundation
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in secondary school. En R. Millar et al. (Eds.), *Improving science education. The contribution of research* (pp. 27-47). Open University Press.
- Tlaie, A., Abd El Hay, M. Y., Mert, B., Taylor, R., Ferracci, P. A., Shapcott, K., ... y Schölvinc, M. L. (2025). Inferring internal states across mice and monkeys using facial features. *Nature Communications*, 16(1), 5168. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-60296-1>
- Tobin, K., King, D., Henderson, S., Bellocchi, A., y Ritchie, S. M. (2016). Expression of emotions and physiological changes during teaching. *Cultural Studies of Science Education*, 11(3), 669-692. <https://doi.org/10.1007/s11422-016-9778-9>
- Toma, R. B. (2020). Revisión sistemática de instrumentos de actitudes hacia la ciencia (2004-2016). *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 143-159. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2854>
- Toma, R. B., y García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Toma, R. B., García-Carmona, A., y Quilez, J. (2025). Are integrated STEM educational reforms at risk? Teachers' motivations and perceived barriers to integration. *Journal of Research in Science Teaching*, 62(1). <https://doi.org/10.1002/tea.22064>
- Toma, R. B., y Retana-Alvarado, D. A. (2021). Mejora de las concepciones de maestros en formación de la educación STEM. *Revista Iberoamericana de Educación*, 81(1), 15-33. <https://doi.org/10.35362/rie8714538>
- Tormala, Z. L., y Rucker, D. D. (2025). Attitudes: Form, function, and the factors that shape them. En D. T. Gilbert et al. (Eds.), *The handbook of social psychology* (6th ed.). Situational Press. <https://doi.org/10.70400/EOQW7740>

- Torres, J., Prieto, C., y Vasconcelos, C. (2013). Problem based learning environmental scenarios: an analysis of science students and teachers questioning. *Journal of Science Education*, 2(14), 71-74.
- Tóthová, M., y Rusek, M. (2021). Use of eye-tracking in science textbook analysis: a literature review. *Scientia in educatione*, 12(1), 63-74. <https://doi.org/10.14712/18047106.1932>
- Tóthová, M., y Rusek, M. (2025). Eye Tracking in Science Education Research: Comprehensive Literature Review. *Science & Education*, 34, 4853-4626. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00644-1>
- Tóthová, M., Rusek, M., y Chytrý, V. (2021). Students' procedure when solving problem tasks based on the periodic table: An eye-tracking study. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 1831-1840. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00167>
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Trámpuz, J. P., García, J. C., y Henríquez-Coronel, P. (2025). Divulgación científica en la era digital: percepciones de los científicos sobre sus riesgos y beneficios. *Com-Humanitas: Revista Científica de Comunicación*, 16(1), 167-189. <https://dx.doi.org/10.5209/dcin.83681>
- Trend, R. (2009). Commentary: Fostering students' argumentation skills in geoscience education. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 224-232.
- Trentzsch, V., Mueller, N., Heinrich, M., Kутtenreich, A. M., Guntinas-Lichius, O., Volk, G. F., y Anders, C. (2023). Test-retest reliability of high-resolution surface electromyographic activities of facial muscles during facial expressions in healthy adults: A prospective observational study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1126336. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1126336>
- Trindade, J., Fiolhais, C., y Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: A descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471-488.
- Trott, C. D., Even, T. L., y Frame, S. M. (2020). Merging the arts and sciences for collaborative sustainability action: A methodological framework. *Sustainability Science*, 15(4), 1067-1085. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00798-7>
- Trujillo, F. (2015). *Aprendizaje basado en proyectos. Infantil, Primaria y Secundaria*. Ministerio de Educación. Secretaría General Técnica. <https://hdl.handle.net/10481/83725>
- Tunstall, C., Badaracco, A., Martín, R., y Arias Regalía, D. (2020). El tiempo geológico en el aula: una propuesta de abordaje colaborativa, lúdica y versátil. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 28(3), 339-347. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/413806>
- Turner, B. L., Kasperson, R., Matsone, P., McCarthy, J., Corell, R., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J., Luers, A., Martello, M., Polsky, C., Pulsipher, A., y Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 100, 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Tytler, R. W., Monroe, M. C., Eames, C., y White, P. J. (2025). Expanding the Scope of Science Education to Engage with Anthropocene Challenges. *Research in Science Education*, 55, 1129-1147. <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10276-8>
- Tytler, R., y Osborne, J. (2012). Student Attitudes and Aspirations Towards Science. En B. J. Fraser *et al.* (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 335-359). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_64.597-625

- UICN (2016). *Environmental education and how to naturalise the spaces in educational centres for healthy development and a better childhood connection with nature*. UICN World Conservation Congress. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_084_EN.pdf
- UNESCO (1975). *The Belgrade Charter: A global framework for environmental education*. UNESCO–UNEP.
- UNESCO (1977). *Intergovernmental Conference on Environmental Education: Final Report (Tbilisi, USSR, 14–26 October 1977)*. UNESCO–UNEP.
- UNESCO (2001). *Declaración Universal de UNESCO sobre Diversidad Cultural*. UNESCO. <https://www.unesco.org/es/legal-affairs/unesco-universal-declaration-cultural-diversity>
- UNESCO (2014). *Conferencia Mundial de la UNESCO sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible: Informe final*. UNESCO.
- UNESCO (2017). *Education for Sustainable Development Goals. Learning Objectives*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/CGBA9153>
- UNESCO (2020). *Educación para el desarrollo sostenible. Hoja de ruta*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374896>
- UNESCO (2023). *Informe mundial sobre el personal docente*. UNESCO. <https://dx.doi.org/10.17561/rae.v25.9423>
- United Nations (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development* (No. A/RES/70/1). United Nations. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
- United Nations [UN DESA] (2022). *The Sustainable Development Goals Report 2022*. UN DESA. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>
- United Nations Economic Commission for Europe [UNECE] (2013). *Empowering educators for a sustainable future: Tools for policy and practice workshops on competences in education for sustainable development*. United Nations.
- Uskola A., Burgoa, B., y Maguregi, G. (2021). Integración del conocimiento científico en la argumentación sobre temas científicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1101
- Uskola, A., y Seijas, N. (2021). Use of data obtained in the field and its contribution to the process of construction of the geological change model by preservice elementary teachers. *Research in Science & Technological Education*, 41(4), 1330-1349. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.2005561>
- Uskola, A., Seijas, N., y Sanz, J. (2022). Revisión de experiencias sobre prácticas científicas en secuencias educativas de geología con trabajo de campo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1105
- Vaessen, M., Van der Heijden, K., y de Gelder, B. (2023). Modality-specific brain representations during automatic processing of face, voice and body expressions. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1132088. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1132088>
- Valderrama, C. A., Guerrero, L. R., y Lache, L. M. (2025). La investigación formativa para la enseñanza de la ciencia y la tecnología en la escuela. *Técné, Episteme y Didaxis*, 57, 156-171. <https://doi.org/10.17227/ted.num57-20205>
- Valencia, J., Acebal, M. C., y Franco-Mariscal, A. J. (2025). Biodiversidad y ecosistemas: una revisión sistemática en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2012–2024).

- Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(2), 2105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i2.2105
- Valladares, L. (2022). Post-truth and education. STS vaccines to re-establish science in the public sphere. *Science & Education*, 31, 1311–1337. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00293-0>
- Vallespín, M., Rams, S., Díaz, B., y Soleguia, D. (2019). Causas de la escasa utilización del microscopio en Educación Primaria según el profesorado de Ciencias en formación. En C. Vasconcelos *et al.* (Eds.), *Livro de Resumos: XVIII ENEC - III ISSE. Educação em Ciências: cruzar caminhos, unir saberes* (pp. 53-54). U. Porto Edições.
- Varela-Losada, M., Lorenzo-Rial, M. A., Castiñeira-Rodríguez, N., y Pérez-Rodríguez, U. (2025). El pensamiento sistémico como competencia científica clave ante el cambio ambiental global. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(3), 157-177. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6300>
- Vargas, R., y Just, M. A. (2020). Neural Representations of Abstract Concepts: Identifying Underlying Neurosemantic Dimensions. *Cerebral Cortex*, 30(4), 2157-2166. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhz229>
- Vasquez, J. A. (2014). STEM--Beyond the Acronym. *Educational leadership*, 72(4), 10-15. <https://www.ascd.org/el/articles/stem-beyond-the-acronym>
- Vasquez, J. A., Sneider, C., y Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, Grades 3–8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann.
- Vázquez-Alonso, A. (2013). La educación científica y los factores afectivos relacionados con la ciencia y la tecnología. En V. Mellado *et al.* (Eds.), *Las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y las matemáticas* (Vol. II, pp. 245-278). DEPROFE.UEX.
- Vázquez-Alonso, A., Acevedo-Díaz, J. A., y Manassero-Mas, M. A. (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación*, 34(1), 1-37. <https://doi.org/10.35362/rie3412895>
- Vázquez-Alonso, A., Acevedo-Díaz, J. A., y Manassero-Mas, M. A. (2005). Más allá de la Enseñanza de las Ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 1-30. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART5_Vol4_N2.pdf
- Vázquez Alonso, A., y Alarcón, M. (2010). *Didáctica de la Tecnología*. Síntesis.
- Vázquez Alonso, A., y Manassero-Mas, M. A. (1995). Actitudes relacionadas con la ciencia: Una revisión conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 337-346. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4254>
- Vázquez Alonso, A., y Manassero-Mas, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka*, 8(3), 274–292. https://doi.org/10.25267/REV_EUREKA_ENSEN_DIVULG_CIENC.2008.V5.I3.03
- Vázquez Alonoso, A., y Manassero-Mas, M. A. (2017). Interdisciplinariedad y conceptos nómadas en didáctica de la ciencia: consecuencias para la investigación. *Revista Eureka*, 14(1), 24–37. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3003>
- Vázquez-Alonso, A., y Manassero-Mas, M. A. (2017). Juegos para enseñar la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico. *Educación*, 53(1), 165–184. <https://raco.cat/index.php/Educación/article/view/317275>
- Vázquez-Alonso, A., y Manassero-Mas, M. A. (2018). Más allá de la comprensión científica: educación científica para desarrollar el pensamiento. *Revista Electrónica de Enseñanza*

- de las Ciencias, 17(2), 309–336. https://reec.educacioneditora.net/volumenes/volumen17/REEC_17_2_02_ex1065.pdf
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., y Mellado, V. (2007). La reflexión en profesoras de ciencias experimentales de enseñanza secundaria. Estudio de caso. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 73-90. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87863>
- Vázquez-Bernal, B., Mellado, V., Jiménez-Pérez, R., y Taboada, C. (2012). The Process of change in a Science Teacher's Professional development: a case study based on the types of problems in the classroom. *Science Education*, 96(2), 337-363. <https://doi.org/10.1002/sce.20474>
- Vázquez-Vílchez, M., Garrido-Rosales, D., Pérez-Fernández, B., y Fernández-Oliveras, A. (2021). Using a cooperative educational game to promote pro-environmental engagement in future teachers. *Education Sciences*, 11, 691. <https://doi.org/10.3390/educsci11110691>
- Vázquez Vílchez, M., Jabaloy, A., Carrillo-Rosúa, J., y Casas, R. (2018). La edad de las montañas a la luz de termocronología de baja temperatura. Aportaciones para la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(1), 57-67. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/335625>
- Vega Ramírez, F. A., López Liria, R., Padilla Góngora, D., Santiuste, V., Martínez Cortés, M. D. C., y Rodríguez Martín, C. R. (2010). El aprendizaje basado en problemas en Ciencias de la Salud. *Revista de Psicología y Educación*, 1(5), 187-200.
- Velasco Martínez, L. C., Martín Jaime, J. J., y Tójar Hurtado, J. C. (2025). Desarrollar competencias para la evaluación participativa de la sostenibilidad y la emergencia climática mediante itinerarios educativos. *Revista Española de Pedagogía*, 83(290), 63–82. <https://doi.org/10.22550/2174-0909.4132>
- Venkataraman, B. (2009). Visualization and interactivity in the teaching of chemistry to science and non-science students. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(1), 62–69. <https://doi.org/10.1039/B901462B>
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Librairie Honoré Champion.
- Viehmann, C., Fernández-Cárdenas, J. M., y Reynaga-Peña, C. G. (2024). The Use of Socioscientific Issues in Science Lessons: A Scoping Review. *Sustainability*, 16, 5827. <https://doi.org/10.3390/su16145827y>
- Vieira, R. M., Tenreiro-Vieira, C., y Martins, I. P. (2011). Critical thinking: Conceptual clarification and its importance in science Education. *Science Education International*, 22(1), 43-54.
- Vila, L., Márquez, C., y Oliveras, B. (2023). Una propuesta para el diseño de actividades que desarrollen el pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1), 130201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_div_ulg_cienc.2023.v20.i1.1302
- Vilches, A., y Gil Pérez, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria a la que debemos y podemos hacer frente. *Revista de Educación*. Número extraordinario, 101-122.
- Vilches, A., y Gil Pérez, D. (2013). Ciencia de la sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la Química y la Educación Química están contribuyendo. *Educación Química*, 24(2), 199-206. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72463-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72463-7)
- Vilches, A., y Gil Pérez, D. (2015). Ciencia de la Sostenibilidad: ¿Una nueva disciplina o un nuevo enfoque para todas las disciplinas? *Revista Iberoamericana de Educación*, 69(1), 39-60. <https://doi.org/10.35362/rie691152>

- Vilches, A., y Gil Pérez, D. (2021). El Antropoceno. Riesgos y oportunidades para las nuevas generaciones. *Educación Química*, 32(número especial). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.4.80342>
- Vilches, A., Gil Pérez, D., y Cañal, P. (2010). Educación para la sostenibilidad y educación ambiental. *Investigación en la Escuela*, 71, 5-15. <https://doi.org/10.12795/IE.2010.i71.01>
- Vílchez, J. E., Vílchez-González, J. M., Campillos, R., y Ezquerro, A. (2024). Pre-service Teachers' Progression in incorporating science in social context in the classroom. *Science & Education*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00578-0>
- Vílchez-González, J. M., y Perales-Palacios, F. J. (2006). Image of science in cartoons and its relationship with the image in comics. *Physics Education*, 41(3), 240. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/41/3/006>
- Vílchez-González, J. M., Romero-López, M. C., y González-García, F. (2015). Científicamente demostrado...por el momento. *Alambique*, 81, 17-24.
- Villanueva García, B. (2018). Reseña de *Las tecnologías que cambiaron la historia. El apasionante viaje desde la telegrafía hasta el mundo digital*, de J. M. Huidobro y M. Vergara. *Revista de Historia Industrial*, 72, 213-214.
- Villar López, M., y Blanco-Anaya, P. (2024). Activando el pensamiento crítico en el estudio de una enfermedad neurodegenerativa. En R. M. Veira et al. (Eds.), *Desafios da Educação CTS e Objetivos da Agenda 2030. Seminário IX Seminário Ibero-Americano CTS & XIII Seminário CTS*, (pp. 521-525). UA Editora.
- Villar López, M., y Blanco-Anaya, P. (2025). ¿Qué dimensiones del pensamiento crítico se activan durante una actividad de modelización? *Actas XII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, (pp. 255-259). Revista Enseñanza de las Ciencias. https://congresoenseciencias.org/wp-content/uploads/2025/09/Libro_Actas_12CIIDC.pdf
- Villegas, D. A., Vilca Arana, M., Saavedra Villar, P., Leyva Aguilar, N., y Arritola Fernández, S. (2023). Divulgación científica: arte de visibilidad y alto impacto. *Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 7(27), 468-480. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v7i27.530>
- Villegas Monsalve, A. (2022). La argumentación y el cambio químico en el aula multigrado. *Educación Química*, 33(4), 37-48. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.0.78089>
- Vincent-Ruz, P., y Schunn, C. D. (2018). The nature of science identity and its role as the driver of student choices. *International journal of STEM education*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0140-5>
- Vizcaíno-Verdú, A., de-Casas-Moreno, P., y Contreras-Pulido, P. (2020). Divulgación científica en youtube y su credibilidad para docentes universitarios. *Educación XX1*, 23(2), 283-306. <https://doi.org/10.5944/educxx1.25750>
- Von Davier, M., Kennedy, A., Reynolds, K., Fishbein, B., Khorramdel, L., Aldrich, C., Bookbinder, A., Bezirhan, U., y Yin, L. (2024). *TIMSS 2023 International Results in Mathematics and Science*. TIMSS & PIRLS International Study Center. <https://doi.org/10.6017/lse.tpisc.timss.rs6460b>
- Waddington, D. I., y Fennewald, T. (2018). Grim FATE: Learning about systems thinking in an in-depth climate change simulation. *Simulation & Gaming*, 49(2), 168-194. <https://doi.org/10.1177/1046878117753498>

- Walan, S. (2020). Embracing Digital Technology in Science Classrooms, Secondary School Teachers' Enacted Teaching and Reflections on Practice. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 431-441. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09828-6>
- Walshe, P., Commins, A., McDonnell, C., y Kelly, B. G. (2025). 'STEAM from the Start': Proposing a conceptual framework for the development and implementation of a STEAM training intervention for early childhood educators. *European Journal of STEM Education*, 10(1), 11. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/17156>
- Wandersee, J. H., y Schussler, E. E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82-86. <https://doi.org/10.2307/4450624>
- Wannapiroon, N., y Petsangsri, S. (2020). Effects of STEAMification model in flipped classroom learning environment on creative thinking and creative innovation. *TEM Journal*, 9(4), 1647-1655. <https://doi.org/10.18421/TEM94-42>
- Wardhani, J. P. K., y Riani, A. L. (2020). The Effectiveness of Learning Models to Increase Students' Interest in Entrepreneurship. *International Journal of Education and Social Science Research*, 3(06), 245-253. <http://dx.doi.org/10.37500/IJESSR.2020.3622>
- Watanabe, G., Calafell, G., y Rodríguez-Marín, F. (2022). ¿Cómo incorporamos la complejidad en actividades de educación científica y ambiental? *Enseñanza de las Ciencias*, 40(2), 109-124. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3504>
- Watson, F. (1983). Science Education: A discipline? *Journal of Research in Science Teaching*, 20(3), 263-264.
- World Commission on Environment and Development – WCED- (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Webb, G. P. (1992). A critical survey of methods used to investigate links between diet and disease. *Journal of Biological Education*, 26(4), 263-271. <https://doi.org/10.1080/00219266.1992.9655284>
- Welbourne, D. J., y Grant, W. J. (2015). Science communication on YouTube: Factors that affect channel and video popularity. *Public Understanding of Science*, 25(6), 706-718. <https://doi.org/10.1177/0963662515572068>
- Wells, G. (2001). *Action, talk & text: Learning & Teaching Through Inquiry*. Teachers College Press.
- Werbach, K., y Hunter, D. (2012). *For the wEn how game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press.
- Westmeyer, P. (1983). The Nature of Disciplines. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(3), 265-270.
- Wiek, A., y Iwaniec, D. M. (2014). Quality criteria for visions and visioning in sustainability science. *Sustainability Science*, 9, 497-512. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0208-6>
- Wiek, A., y Redman, A. (2022). What Do Key Competencies in Sustainability Offer and How to Use Them. En P. Vare et al. (Eds.), *Competences in Education for Sustainable Development. Sustainable Development Goals Series*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6_4
- Wiek, A., Withycombe, L., y Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6, 203-218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>
- Wigfield, A., y Eccles, J. S. (2000). Expectancy-Value Theory of Achievement Motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 68-81. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1015>

- Wijaya, A., Hasibuan, S., Baihaqi, W. M., Darmawan, R., Primartha, R., y Supriyanto, C. (2025). *Bibliometric-enhanced systematic literature review of EEG in education: Learning concepts, computational methods, and research opportunities*. ArXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.26083>
- Wiliam, D. (2009). Una síntesis integradora de la investigación e implicaciones para una nueva teoría de la evaluación formativa. *Archivos de Ciencias de la Educación*, (4a. época), 3(3). http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4080/pr.4080.pdf
- Willard, K., y Duffrin, M. W. (2003). Utilizing project-based learning and competition to develop student skills and interest in producing quality food items. *Journal of Food Science Education*, 2(4), 69-73. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4329.2003.tb00031.x>
- Wilson, C. D., Haudek, K. C., Osborne, J. F., Buck Bracey, Z. E., Cheuk, T., Donovan, B. M., Stuhlsatz, M. A. M., Santiago, M. M., y Zhai, X. (2024). Using automated analysis to assess middle school students' competence with scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(1), 38-69. <https://doi.org/10.1002/tea.21864>
- Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2018). *Ambitious Science Teaching*. Harvard Education Press.
- Windschitl, M., Thompson, J., Braaten, M., y Stroupe, D. (2012). Proposing a core set of instructional practices and tools for teachers of science. *Science Education*, 96(5), 878-903. <https://doi.org/10.1002/sce.21027>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Woodcock, B. A. (2014). "The scientific method" as myth and ideal. *Science & Education*, 23(10), 2069-2093. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9704-z>
- Wright, G. W., y Delgado, C. (2023). Generating a framework for gender and sexual diversity-inclusive STEM education. *Science Education*, 107(3), 713-740. <https://doi.org/10.1002/sce.21786>
- Wu, C. -L., Lin, T. -J., Chiou, G. -L., Lee, C. -Y., Luan, H., Tsai, M. -J., Potvin, P., y Tsai, C. -C. (2021). A systematic review of MRI neuroimaging for education research. *Frontiers in Psychology*, 12, 617599. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.617599>
- Wu, X., Yang, Y., Zhou, X., Xia, Y., y Liao, H. (2024). A meta-analysis of interdisciplinary teaching abilities among elementary and secondary school STEM teachers. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00500-8>
- Wubbels, T., y Brekelman, M. (1998). The Teacher factor in the Social Climate of the Classroom. En B. J. Fraser y K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 565-579). Kluwer Academic Publishers.
- Xiao, Y., Xie, C., Gong, Y., Chen, J., Lin, Q., Huang, Y., Peng, J., Liu, Q., Xie, L., Xiong, J., y Xiao, Y. (2024). Development and validation of an instrument to assess pre-service physics teachers' views on non-epistemic nature of science. *Science & Education*, 1-40. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00593-1>
- Xu, J., y Zhong, B. (2018). Review on portable EEG technology in educational research. *Computers in Human Behavior*, 81, 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>
- Xu, M., Williams, P. J., y Gu, J. (2022). Development of an instrument to assess technology teachers' understanding of the nature of technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(5), 2611-2629. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09698-y>

- Yakman, G. (2008). STΣ@M education: An overview of creating a model of integrative education. *PATT-17 and PATT-19 Proceedings*, 335-358. https://www.academia.edu/8113795/STEAM_Education_an_overview_of_creating_a_model_of_integrative_education
- Yager, R. E. (1998). STS challenges for accomplishing educational reform: The need for solving learning problems. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 18(5), 315-320. <https://doi.org/10.1177/027046769801800501>
- Yeomans, L., Chappell, K., Hetherington, L., Bresciani, S., Unterfrauner, E., Fabian, C. M., y Koulouris, P. (2025). Practice or Praxis? A Theoretical Classification System for STEAM Education. *Education Sciences*, 15(2), 164. <https://doi.org/10.3390/educsci15020164>
- Yeomans, L., Chappell, K., Hetherington, L., Bresciani, S., Unterfrauner, E., Fabian, C., y Koulouris, P. (2023). *Road STEAMer conceptual framework*. <https://www.road-steamer.eu/wp-content/uploads/2024/02/RoadSTEAMer-D2.2-Concpetual-Framework.pdf>
- Yoh, T., Kim, J., Chung, S., y Chung, W. (2021). STREAM: A new paradigm for STEM education. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 22(1), 46-51. <https://www.jstem.org/jstem/index.php/JSTEM/article/view/2438>
- Zamalloa Echevarría, T., Sanz Alonso, J., Maguregi González, G., Fernández Alonso, M. D., y Echevarría Ugarte, I. (2014). Acercar la geodiversidad a través de las salidas de campo en la ESO. Una investigación con el profesorado de ciencias de Bizkaia. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 443-467. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1282>
- Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: Theory, research and practice. En N. Lederman y S. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Vol. 2, (pp. 697–726). Routledge.
- Zeidler, D. L. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11-26. <https://doi.org/10.1007/s11422-014-9578-z>
- Zhang, L., y Ma, Y. (2023). A study of the impact of project-based learning on student learning effects: A meta-analysis study. *Frontiers in Psychology*, 14, 1202728. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>
- Zhang, W. X., Lin, J. J. H., y Hsu, Y. S. (2025). AI-assisted assessment of inquiry skills in socioscientific issue contexts. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(1). <https://doi.org/10.1111/jcal.13102>
- Zhindón-Calle, K. M. Z., y Ávila-Mediavilla, C. M. (2021). Tecnologías emergentes aplicadas a la práctica educativa en pandemia COVID-19. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(3), 32–59. <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i3.1303>
- Zhou, S., Dong, Z., Wang, H. H., y Chiu, M. M. (2025). A meta-analysis of STEM integration on student academic achievement. *Research in Science Education*, 55, 1273–1302. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10216-y>
- Zichermann, G., y Linder, J. (2013). *Gamification revolution*. McGraw Hill.
- Zinsstag, J., Schelling, E., Waltner-Toews, D., y Tanner, M. (2011). From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. *Preventive Veterinary Medicine*, 101(3–4), 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.003>
- Zorlu, F., y Zorlu, Y. (2022). The investigation of preservice science teachers’ analogical reasoning skills from thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 43, 100981p. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100981>Get rights and content

- Zuazagoitia, D., Eugenio-Gozalbo, M., Ruiz-González, A., y Torralba-Burrial, A. (2024). Huertos universitarios para la transformación ecosocial. *V Encuentro RUC*. Servicio Editorial UPV-EHU. <https://addi.ehu.es/handle/10810/71029>
- Zuazagoitia, D., Ruiz-González, A., Aragón, L., y Eugenio-Gozalbo, M. (2021). ¿Podemos cultivar este suelo? Una secuencia didáctica para futuros maestros contextualizada en el huerto. *Investigación en la Escuela*, 103, 32-47. <http://dx.doi.org/10.12795/IE.2021.i103.03>
- Zucker, A. A., y Hug, S. T. (2008). Teaching and learning physics in a 1:1 laptop school. *Journal of Science Education and Technology*, 17(6), 586–594. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9125-3>
- Zusho, A., y Pintrich, P. R. (2003). Skill and Will: The role of motivation and cognition in the learning of college Chemistry. *Internacional Journal of Science Education*, 25(9), 1081-1094.