

*Bicentenario
del nacimiento de
Gregor Mendel*

1822-2022

Catálogo de la exposición

eug



ISBN 978-84-338-7094-0

Exposición comisariada por:

Rafael Navajas Pérez, Carmelo Ruiz Rejón, Roberto de la Herrán y Francisca Robles.

Textos:

Rafael Navajas Pérez.

Diseño y maquetación:

Francisco Álvarez Lloret.

Piezas cedidas por:

Cristina Aznarte Mellado (36, 44), Guillermo Crovetto Montoya (6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14), Roberto de la Herrán (17, 42, 43), Aaron Gálvez Salido (7, 44), Juan Pedro Martínez Camacho (39), Rafael Navajas Pérez (17, 19, 23, 31, 32, 34, 41, 43, 44), José Luis Prats (45), Manuel Ruiz Rejón (27, 42), y por las siguientes instituciones: Biblioteca de la Universidad de Granada (24, 25, 26, 29, 30, 33), CEIP Parque Nueva Granada (1), Departamento de Genética de la Universidad de Granada (20, 40), Departamento de Zoología de la Universidad de Granada (18, 28), Herbario de la Universidad de Granada (2, 15), Museo de Ciencias Naturales de Madrid (4, 22), Museo Mendel en Brno (1).

Todas las fotografías de las piezas de la exposición han sido realizadas por Cristina Aznarte Mellado, excepto: (2, 15) Herbario de la Universidad de Granada, (18, 28) Departamento de Zoología de la Universidad de Granada, (6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14) Guillermo Crovetto Montoya, (20) Aaron Gálvez Salido y (contraportada, 35, 45) Rafael Navajas Pérez.

Las reproducciones 16, 42 y 43 fueron extraídas de la red: <https://www.researchgate.net/>, <https://rare2poundcoins.co.uk/>, <https://numista.com/> y <https://www.cnb.cz/>, mientras que 5, 37 y 38 son reproducciones digitales de las publicaciones.

Organiza:

Universidad de Granada en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) – Ministerio de Ciencia e Innovación.

Mi momento llegará

El 20 de julio de 1822, Heinzendorf, un pequeño pueblo del Imperio austriaco (actual Hynčice, República Checa), vio nacer a Johann Mendel, un hombre que cambiaría para siempre la historia de la ciencia. Sus padres, Rosina y Anton Mendel, fueron dos humildes agricultores; junto a ellos y a sus hermanas Veronika y Theresia vivió hasta los 12 años. Desde pequeño, su curiosidad por la naturaleza fue enorme y siempre mostró mucho interés en formarse. Tanto que, en la escuela, un maestro detecta sus dotes intelectuales y aconseja a sus padres enviarlo a un liceo. Aunque así lo hicieron, su situación socioeconómica lo abocaba a seguir los pasos de sus progenitores.

Afortunadamente, el destino le tenía reservado otro cometido superior. Y es que, muy probablemente para escapar de este designio, en 1843 ingresa en la abadía agustina de Santo Tomás de Brno (actual República Checa), hecho fundamental para el devenir de los siguientes acontecimientos de su vida. Allí, por cierto, adquirió el nombre con el que pasaría a la posteridad, **Gregor Johann Mendel**. En la época, formar parte de este tipo de congregaciones otorgaba un estatus especial. Así, Gregor tuvo acceso al conocimiento científico más actual de su momento y pudo formarse en distintas instituciones educativas de prestigio. Gracias a ello, se relacionó con científicos relevantes de la época, como

el fisiólogo vegetal y defensor de las teorías de Darwin, **Franz Unger**, o el físico **Christian Doppler** (descubridor del efecto que lleva su nombre). Seguramente, éstos y otros contactos contribuyeron decisivamente a forjar en él un sólido espíritu crítico y científico.

En los casi 42 años que pasó en la abadía, sus tareas diarias se dividieron entre las obligaciones propias de un monasterio (en la parte final de su vida llegó incluso a ser nombrado abad), la docencia y la investigación. Como profesor, fue respetado y querido por sus estudiantes, sin embargo, a pesar de haberlo intentado en diversas ocasiones, nunca logró superar los exámenes que le daban acceso a una certificación oficial. Fue un investigador incansable, miembro y fundador de diversas sociedades científicas. Mantuvo siempre un profundo interés por la meteorología, la astronomía y, sobre todo, por la agricultura y la horticultura. Destacan, muy por encima del resto, los trabajos desarrollados en híbridos de guisante que lo harían entrar en el olimpo de los grandes nombres de la ciencia. A pesar de que el reconocimiento no le llegó en vida, siempre mantuvo la convicción de estar trabajando en una empresa relevante.

Como él mismo diría: *“Mi momento llegará...”*

Mendel a la edad de 40 años. Probablemente se trate de su fotografía más icónica, denominada por su biógrafo, Hugo Ittis, la fotografía VI o del “Mendel apuesto” (Handsome Mendel)
Fuente: <https://archiv.radio.cz/>





Las dos hermanas de Mendel: Veronika, la mayor, sentada a la derecha y Theresa, sentada a la izquierda, junto con su marido, Leopold Schindler, de pie en el centro
Fuente: <https://mskhistorieaja.cz/>



Cuadro al óleo de Mendel como abad, cargo que ostentó desde 1868 hasta su muerte en 1884
Fuente: <https://learnodo-newtonic.com/>



Aspecto actual de la abadía de Santo Tomás de Brno
Fuente: <https://travel.sygic.com/>

Y su momento llegó

Una de las puntas de lanza de la ciencia de finales del siglo XIX la constituía la hibridación de plantas. El objetivo de los hibridadores era doble: por un lado, producir nuevas variedades de interés comercial y, por otro, entender cómo se transmitían los rasgos de generación en generación. Además, existía interés en dilucidar si los híbridos podían originar especies nuevas. Mendel toma el testigo de estas investigaciones y se propone encontrar patrones reproducibles en la descendencia de los híbridos de plantas. La clave de su éxito reside en la selección de rasgos individuales para llevar a cabo su estudio, la planificación experimental exhaustiva y un meticuloso tratamiento estadístico de los datos, algo inaudito en la época.

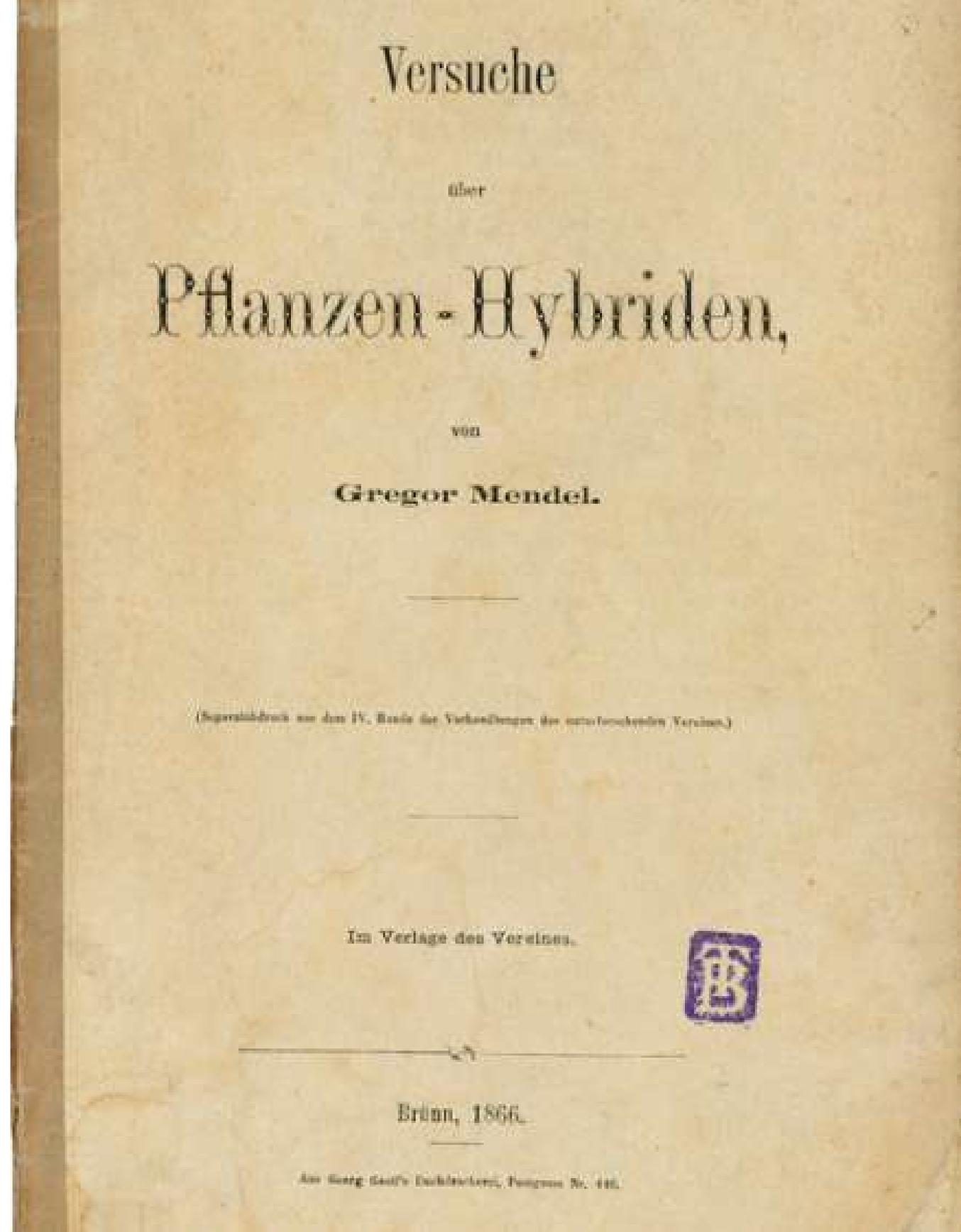
De esta forma, entre 1856 y 1863, llevó a cabo en torno a unos 30.000 cruzamientos entre variedades de guisante que diferían en una característica morfológica claramente observable, cada una de las cuales presentaba dos alternativas fenotípicamente estables. Para ello, se valió de un pequeño huerto y de un invernadero que se encontraban en los jardines de la abadía. El invernadero, de 30 x 6 metros, había sido construido por el abad **Cyril F. Napp** en 1854, y proporcionó a Mendel unas condiciones excepcionales para llevar a cabo sus experimentos. Napp no sólo aportó los medios

materiales para la investigación de Mendel sino que, también, influyó decisivamente en su interés por la ciencia.

Tras una década de estudio, Mendel presentaba los resultados obtenidos en dos sesiones consecutivas el 8 de febrero y el 8 de marzo de 1865 en la Sociedad de Historia Natural de Brno y, un año más tarde, los publicó en las actas de la sociedad bajo el nombre de «*Experimentos sobre hibridación de plantas*» (en alemán, idioma original del artículo: «*Versuche über Pflanzenhybriden*»). Este trabajo daría lugar a los fundamentos de la herencia (las Leyes de Mendel), por lo que este monje agustino es considerado hoy día el Padre de la Genética. No obstante, el trabajo de Mendel pasó desapercibido o fue incomprendido por sus coetáneos, incluido **Charles Darwin** que, probablemente, no llegó tener conocimiento de él o, al menos, entender su relevancia. De esta forma, sus hallazgos permanecieron ocultos hasta que, en 1900, **Carl Correns**, **Erich von Tschermak** y **Hugo De Vries** los redescubrieron de forma independiente. Aunque el reconocimiento no le llegó a Mendel en vida, ya que falleció en 1884, éste es el momento en que la genética mendeliana nace.

Su momento había, finalmente, llegado.

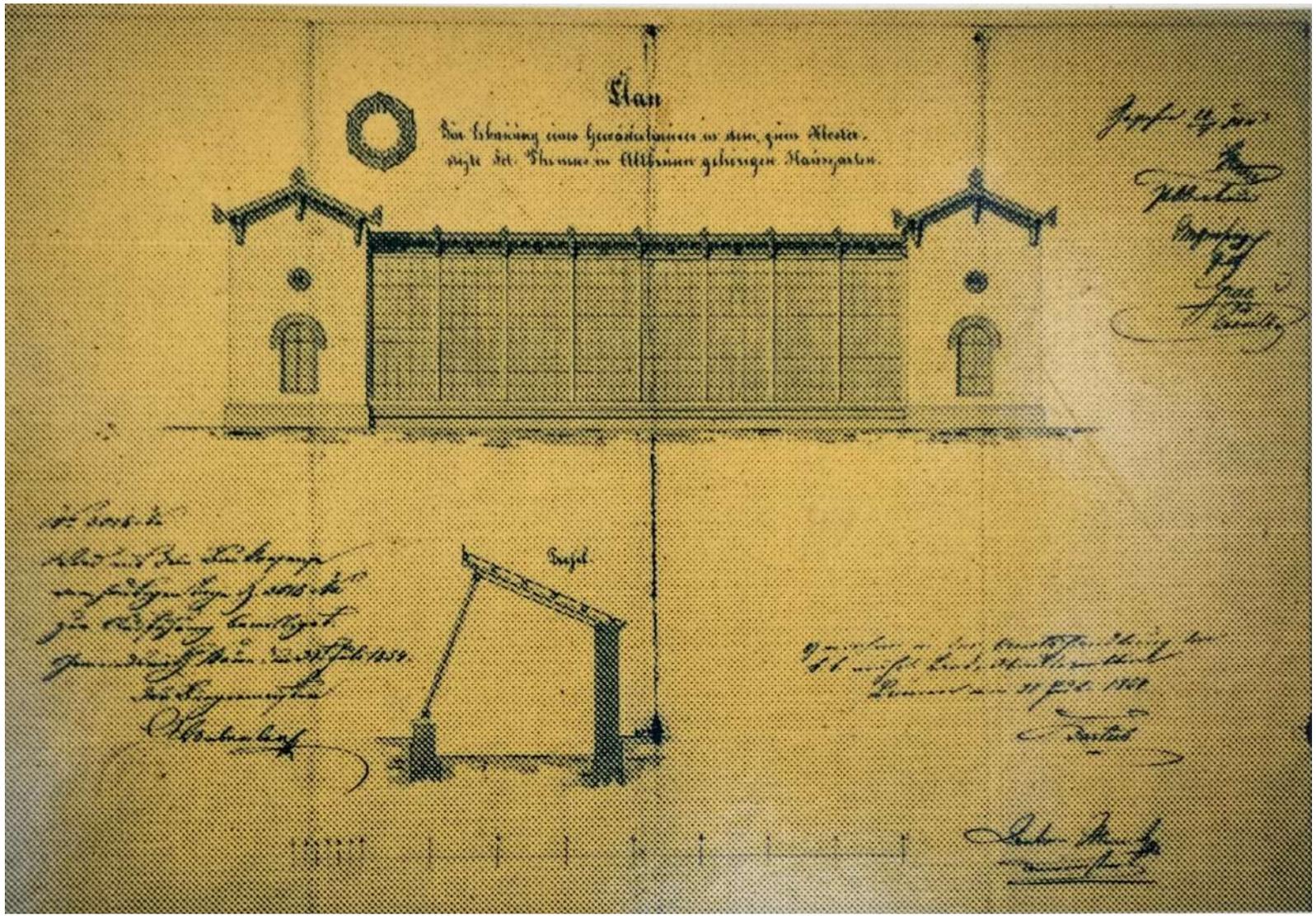
Portada del trabajo de Mendel
«*Versuche über Pflanzenhybriden*»
Fuente: Christie's





František Cyril Napp.
Kreslil K. Maixner.

Cyrl F. Napp
Fuente: Wikipedia



Plano del invernadero utilizado por Mendel para sus experimentos
Fuente: Museo de Mendel

Pero ¿qué dicen las leyes de Mendel?

A finales del siglo XIX, estaba generalizada la Teoría de la Herencia Mezclada, esto es, la fusión de las características de los progenitores para dar lugar a la descendencia. Darwin recoge esta idea en el enunciado de la llamada Hipótesis Provisional de la Pangénesis, propuesta anteriormente en la Grecia clásica por Anaxágoras, Demócrito y los tratados hipocráticos. De acuerdo con esta teoría, los caracteres procedentes de todas las partes del cuerpo circulan por la sangre en forma de gémulas y llegan a los órganos reproductores, desde donde se transmiten. En el momento de la fecundación se mezclan de forma insoluble como lo harían líquidos de distinto color. Según esto, las aportaciones de los antepasados se irían diluyendo con el paso de las generaciones. El modelo parecía funcionar, ya que explicaba el comportamiento de la mayoría de características de tipo cuantitativo (color de la piel, por ejemplo), aunque para interpretar la aparición de algunas excepciones (como la de progenitores con ojos claros y oscuros que dan lugar a descendientes con ojos oscuros), hubiera que recurrir a la ocurrencia ocasional de reversiones.

Los postulados de Mendel rompen radicalmente con la pangénesis. Las dos ideas fundamentales que subyacen a las Leyes de Mendel son: por un lado, y en contraposición a la fusión permanente de gémulas, que la herencia es de naturaleza *particulada*. Esto quiere decir que cada característica está determinada por dos elementos o factores (que hoy conocemos como

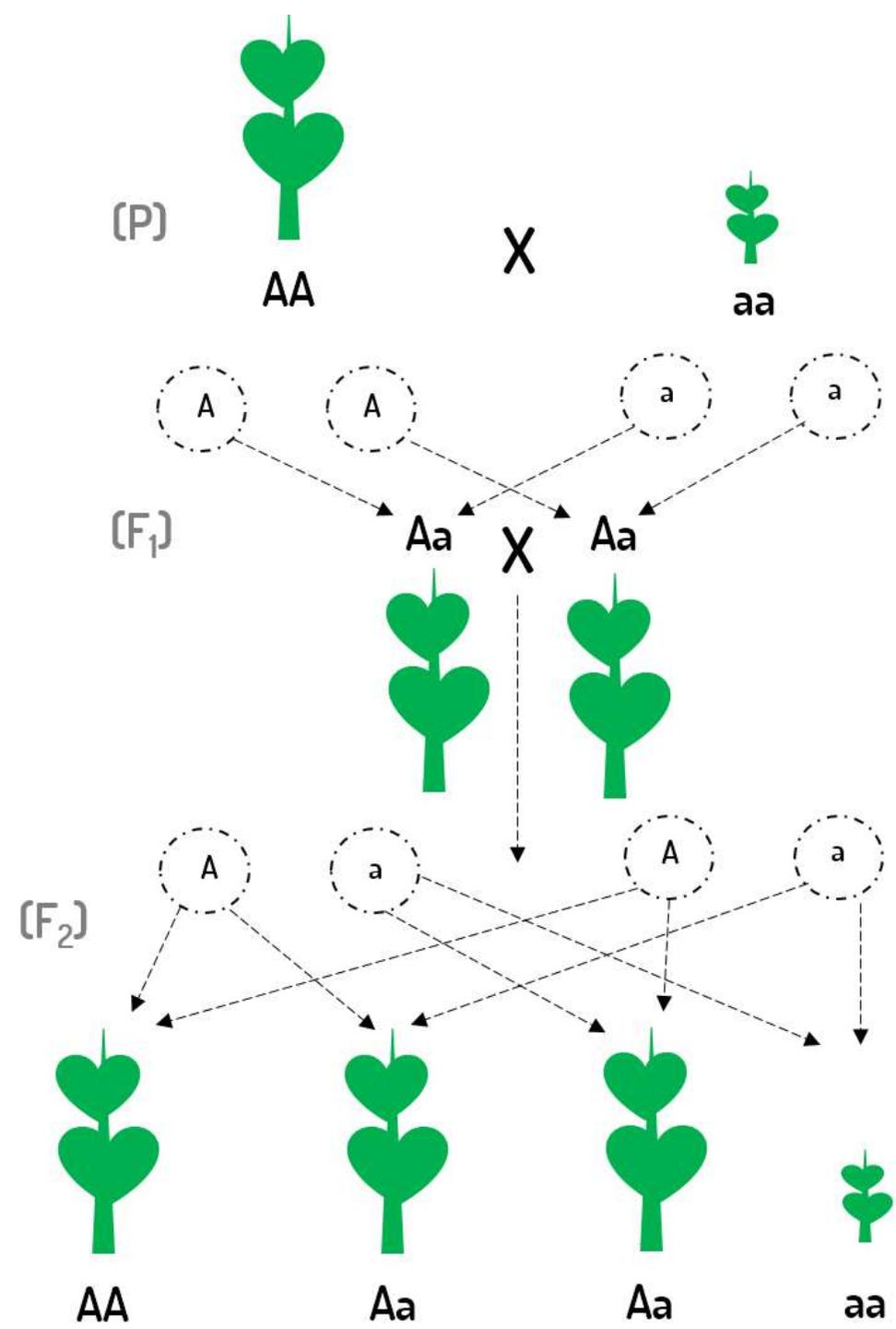
alelos), que se unen durante la fecundación, pero que vuelven a separarse durante la formación de las células reproductivas (en un proceso que hoy denominamos meiosis). Este hecho se corresponde con la **Primera Ley de Mendel o Ley de la Segregación de los Alelos**.

La otra idea principal del mendelismo establece que la forma en la que se hereda un rasgo es completamente independiente de la forma en la que se hereda cualquier otro. Dicho de otra manera, y considerando el material empleado por Mendel, la forma del guisante no tiene influencia alguna en el color que éste vaya a presentar. Esto se corresponde con la **Segunda Ley de Mendel o Ley de la Independencia de los Caracteres**.

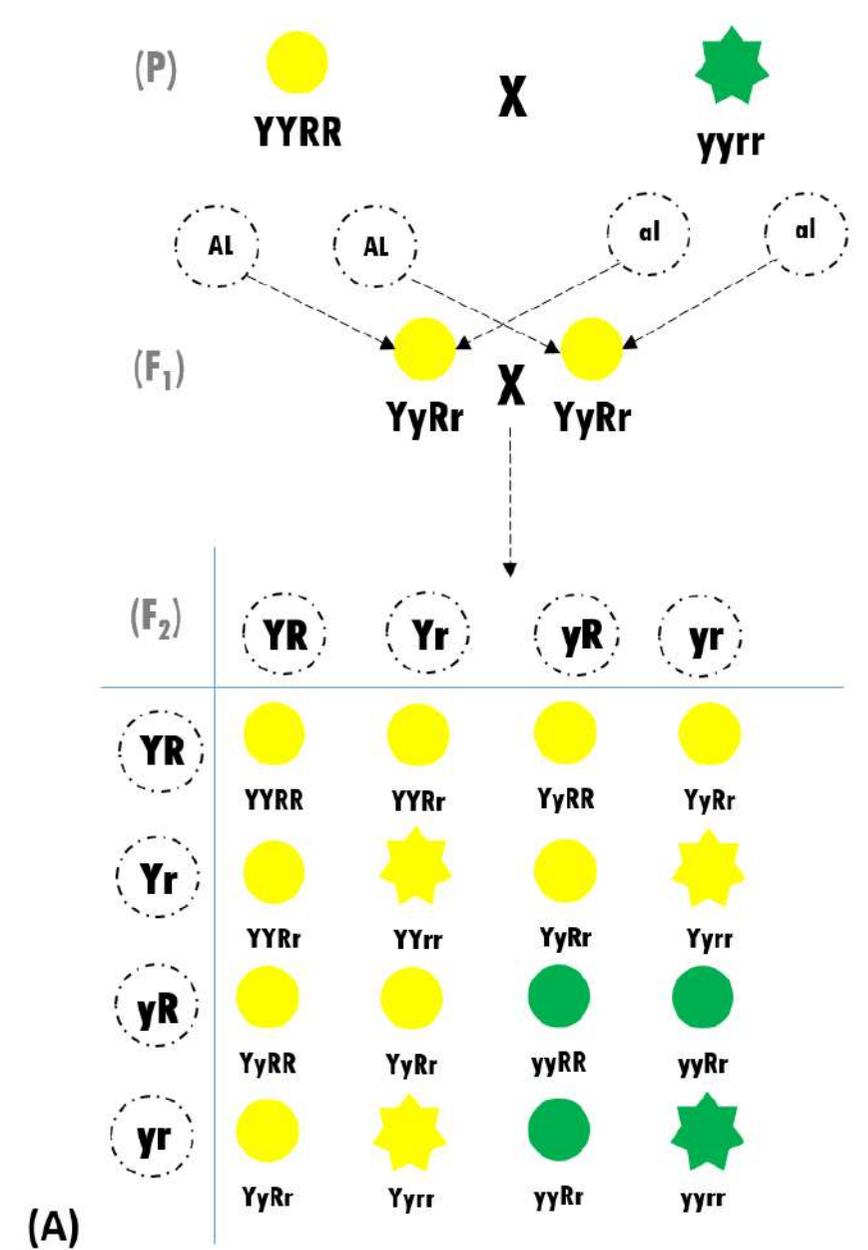
Es frecuente encontrar en muchos libros de texto la presencia de tres leyes. En ellos, y por motivos fundamentalmente didácticos, se incluye una primera ley adicional, la **Ley de la Uniformidad de los Híbridos o Ley de la Dominancia**. Esta ley establece que cuando dos individuos de raza pura que difieren en un único carácter se cruzan, la descendencia es uniforme y presenta el fenotipo de uno de los dos parentales (dominante). Dado que la relación entre dos alelos de un gen no es siempre de dominancia completa (existen, por ejemplo, casos de herencia intermedia y codominancia), esta ley ha sido degradada en muchos manuales a la categoría de principio o, simplemente, retirada del enunciado de la teoría.

Pliego de herbario de ejemplar de
Pisum sativum de flor morada
Fuente: Herbario de la Universidad de Granada

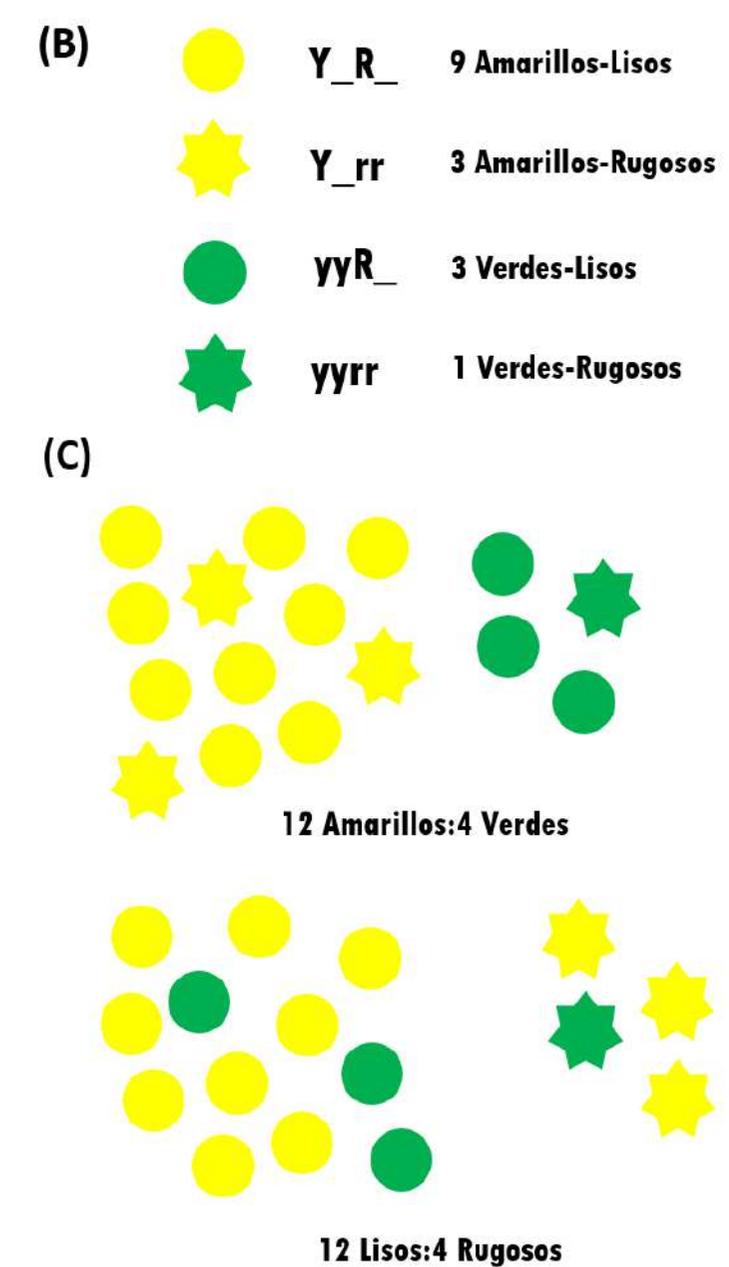




Demostración de la Ley de Segregación de los Alelos mediante un cruzamiento monohíbrido para el rasgo tamaño del tallo y posterior cruzamiento entre híbridos de primera generación. El Principio de Uniformidad o Dominancia está fundamentado en el cruzamiento monohíbrido, cuya descendencia es íntegramente heterocigótica –uniforme- y con fenotipo dominante.



Demostración de la Ley de la Independencia de los Caracteres usando (A) un cruzamiento dihíbrido para los rasgos color y forma de la semilla y cruzamiento entre dihíbridos de primera generación. Interpretación de las proporciones fenotípicas considerando (B) los dos rasgos a la vez y (C) los dos rasgos por separado, de arriba a abajo, color y forma de la semilla.



Notas: (P) generación parental, (F₁) primera generación filial y (F₂) segunda generación filial. En negrita, los genotipos de cada individuo. En círculo rayado, gametos formados por cada individuo (Fuente: Gálvez Salido & Navajas-Pérez (2022), DCES, 42:99-118).

Algo más que guisantes

Huelga reiterar que los trabajos experimentales más conocidos de Mendel son los llevados a cabo en guisante. Sin embargo, en su intento por tener una visión más general del comportamiento de los híbridos de plantas, estudió otros muchos géneros. Atendiendo a referencias contenidas en sus propios manuscritos y a la correspondencia que mantuvo con el botánico suizo-alemán **Carl Nagéli**, se cree que experimentó con, al menos, estos 29 géneros de plantas: *Antirrhinum* (boca de dragón), *Aquilegia*, *Calceolaria*, *Campanula*, *Carex*, *Cheiranthus* (alhelí), *Cirsium* (cardo), *Dianthus* (clavellina), *Ficaria*, *Geum*, *Hieracium*, *Ipomoea*, *Lathyrus*, *Linaria*, *Linchnis*, *Malus* (manzana), *Matthiola*, *Mirabilis* (dondiego de noche), *Phaseolus* (judía), *Pirus*, *Pisum* (guisante), *Potentilla*, *Propaeolum*, *Prunus* (cerezo o melocotonero, entre otros), *Troaeolum*, *Verbascum*, *Veronica*, *Viola*, *Zea* (maíz). Además, se sabe de la predilección de Mendel por las flores del género *Fucsia*, con el que podría también haber experimentado, y para el que desarrolló una variedad (la fucsia 'Mendel') que llegó a explotarse comercialmente. De hecho, en al menos dos fotografías grupales con los otros monjes de la abadía, aparece Mendel examinando flores de este género. Esto ha sido motivo de confusión frecuente, ya que en varias ocasiones, al reproducir dichas imágenes, se ha sustituido la flor de la fucsia por plantas de guisante. Así ocurre, por ejemplo, en sellos emitidos por Austria y Portugal. Se ha llegado, incluso, a especular que esta afición por las fucsias estuviera motivada por una posible relación amorosa con una señora que también adoraba estas flores.

De entre todos los trabajos con materiales diferentes a *Pisum*, son destacables los realizados en el género *Hieracium*. Entre 1869 y 1870, inmediatamente después de la publicación de sus resultados en guisante y alentado por Nagéli, Mendel comenzó a estudiar híbridos de *Hieracium*. Trató, sin éxito, de replicar los resultados obtenidos previamente. No lo consiguió porque en *Hieracium* existe una mezcla de reproducción sexual y asexual (apomixis), lo que impedía que se observaran las proporciones mendelianas. Este fracaso científico tuvo, además, consecuencias en la salud del monje agustino. Las innumerables horas pasadas a la luz de la lupa para llevar a cabo las polinizaciones dirigidas entre las diminutas flores de *Hieracium* le acarrearón graves problemas de visión que lo apartaron de la investigación casi completamente. A pesar de lo dicho, Mendel mantuvo hasta el final de sus días afición por la meteorología y la astronomía.

Finalmente, son también reseñables los intentos de Mendel por utilizar modelos animales para comprobar sus teorías. Fue miembro activo de la Sociedad de Apicultura de Brno y presidente de la misma desde 1871 a 1874. Está documentado que mantuvo en la abadía colmenas de abejas pertenecientes a varias razas y especies de todo el mundo. Sin embargo, el propio Mendel admitiría que sus años de trabajo usando este material fueron muy frustrantes, incluso, podría decirse que peligrosos, a tenor del comportamiento extremadamente violento que exhibían algunas de las especies que criaba.

Pliego de herbario de ejemplar de *Hieracium amplexicaule*

Fuente: Herbario de la Universidad de Granada



FLORA DE ANDALUCÍA ORIENTAL
Identificación confirmada
Rev. G. Blanca Fecha X- 2005

HERBARIO DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA
GDA

Hieracium amplexicaule L.

GRANADA: Laroles, bco. del cruce de Bayarcal, 1700 m, 13-VII-1994, talud rocoso.

Leg.: F. El Ouardani & M.J. Martínez Lirola
Det.: G. Blanca

HERBARIO GDA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
047303

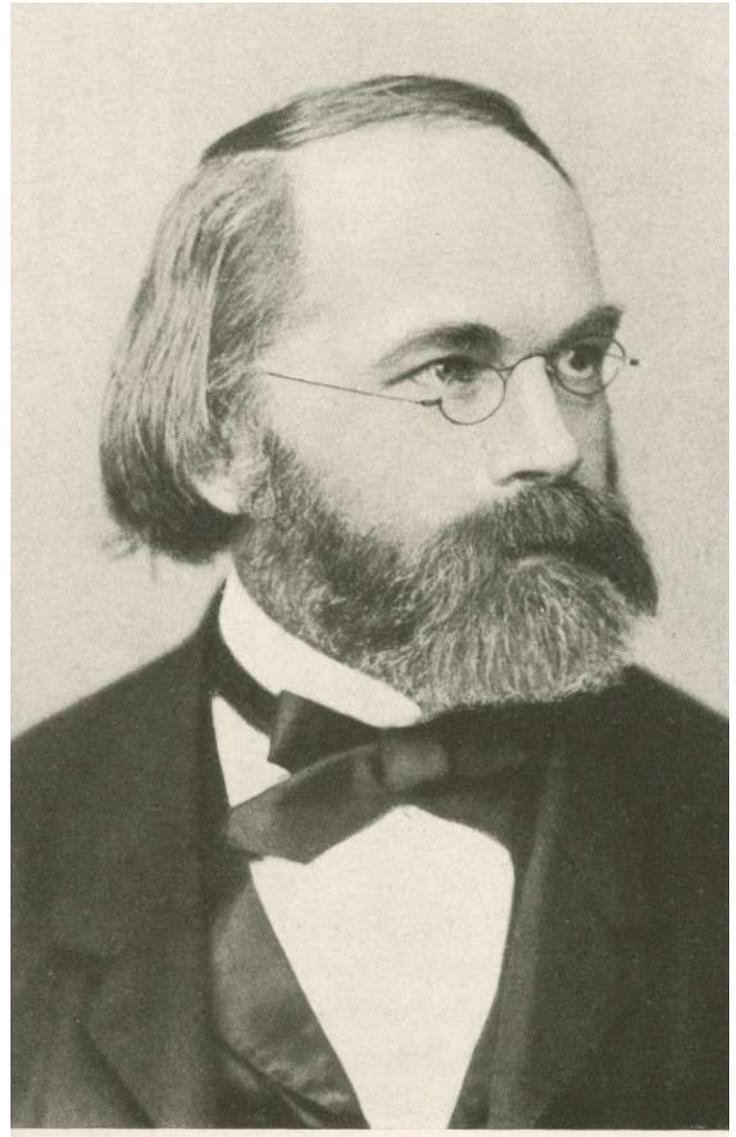


Fig. 6.1 Members of the Augustinian monastery in Brno in about 1862. Standing, from left to right: Benedikt Fogler, Anselm Rambousek, Antonín Alt, Tomáš Bratránek, Joseph Lindenthal, Gregor Mendel, and Václav Šembera. Seated, from left to right: Pavel Křížkovský, Baptist Vorthey, Cyrill Napp, and Matouš Klácel.

Retrato tomado en 1862, denominado fotografía V.
En él, Mendel posa junto con otros miembros de la abadía.
En su mano sostiene una fucsia.
Fuente: Wikipedia



Sello postal conmemorativo del centenario de la muerte de Mendel (1884-1984), emitido por Austria, con valor facial de 4 chelines.
Nótese la ilustración en blanco y negro, inspirada en la fotografía V, que muestra a Mendel examinando dos flores de guisante
Fuente: Navajas-Pérez (2021), DCES, 40:97-116

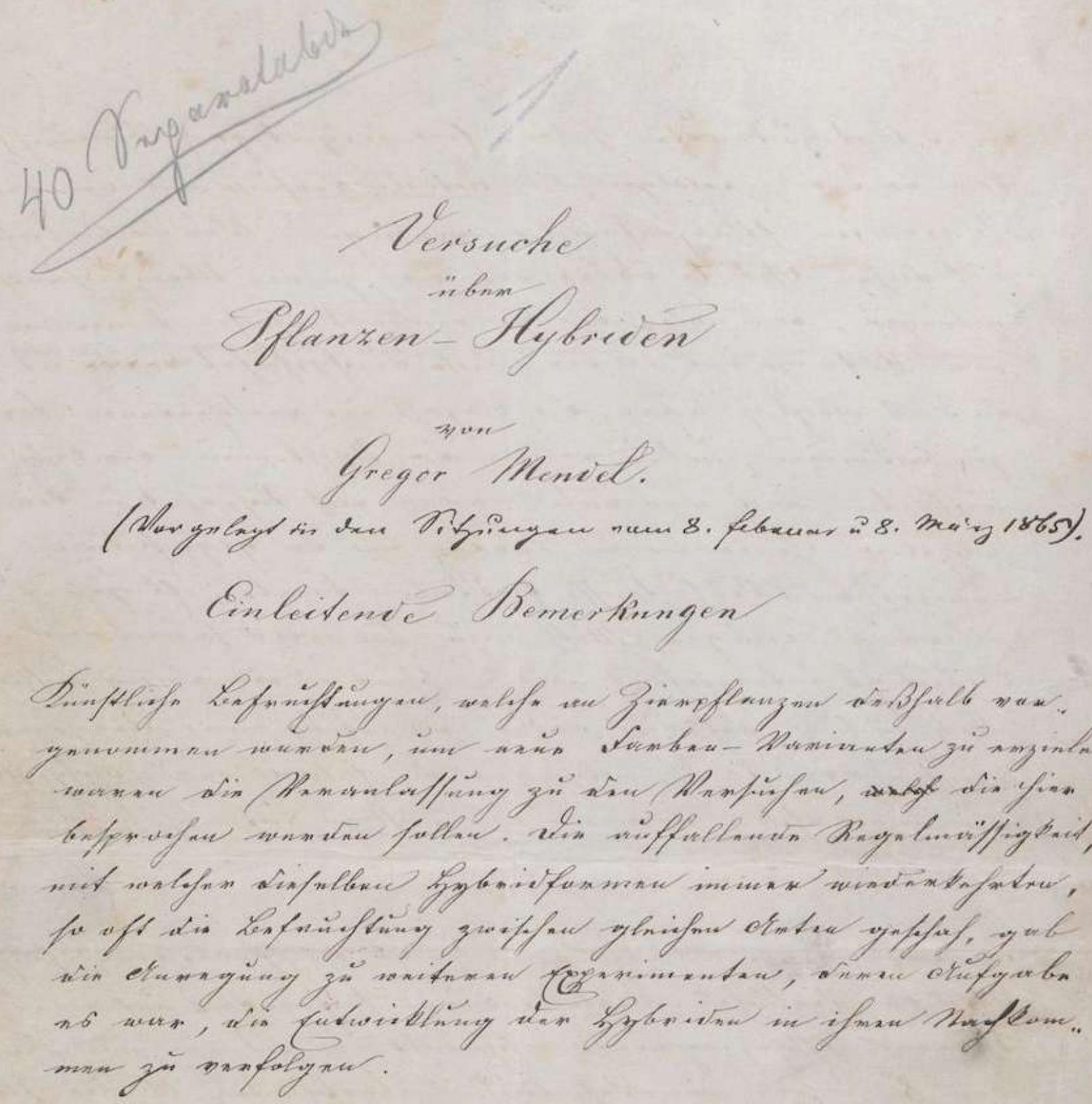


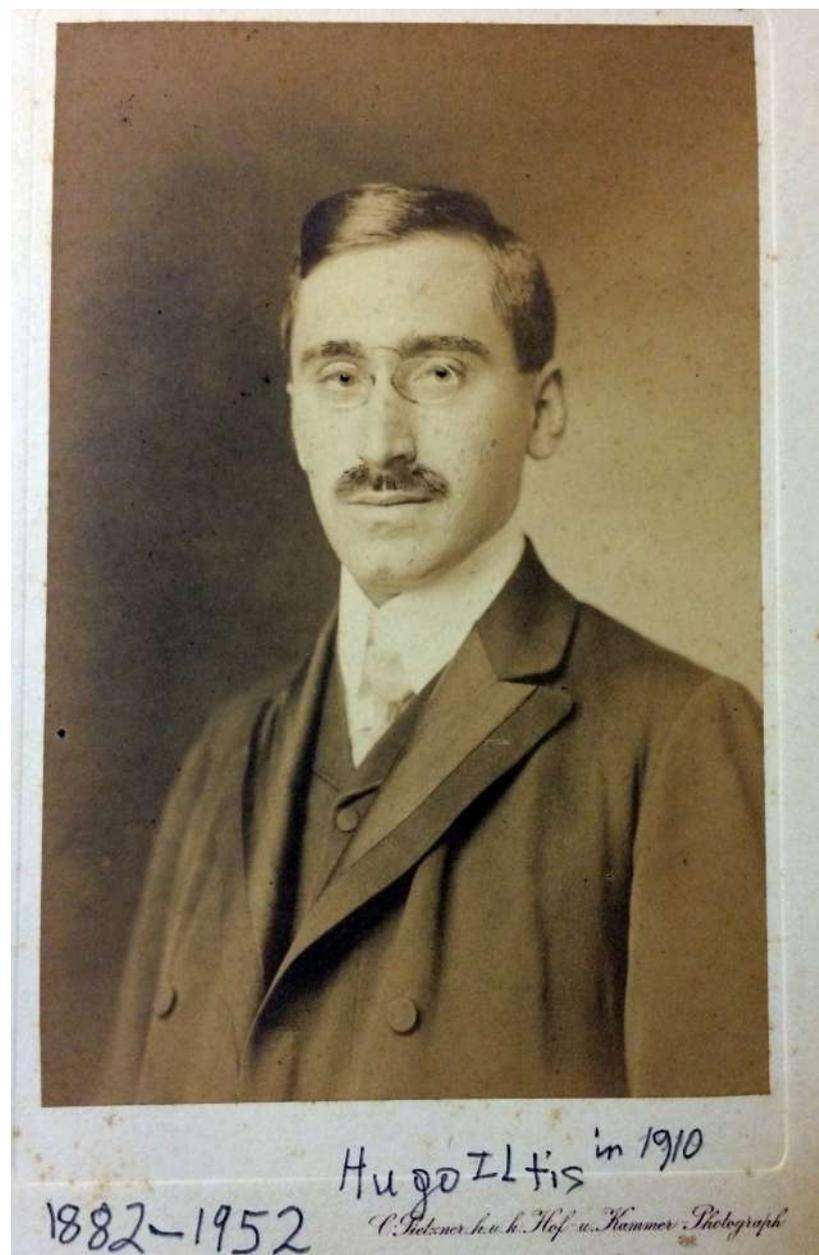
Retrato de Carl Nagéli
Fuente: Wikipedia

Un documento muy escurridizo

En 1865, Mendel expone las conclusiones de sus experimentos sobre herencia en la Sociedad de Historia Natural de Brno, en dos sesiones consecutivas dictadas los días 8 de febrero y 8 de marzo. A petición de **Gustav Niessl von Mayendorf**, secretario de la sociedad, Mendel reescribió los resultados y envió el manuscrito para su publicación en 1866 en el anuario de la sociedad. Éste fue custodiado en la abadía de Santo Tomás de Brno pero, de forma sorprendente, en 1910 fue rescatado de una papelera por **Hugo Itis**, biógrafo de Mendel, quien lo trasladó a la Sociedad de Ciencias Naturales donde quedó depositado. De no haber sido por esta intervención, con casi total seguridad, el documento no habría llegado hasta nuestros días. No obstante, durante la Segunda Guerra Mundial se le pierde la pista, y se llega a pensar que había sido destruido, hasta que reaparece en 1990 en manos de un pariente de Mendel, también religioso agustino, afincado en Alemania. Se inicia entonces un largo proceso judicial con la intervención de tres Gobiernos (el alemán, el austriaco y el checo), la familia Mendel y la orden agustina. El periplo concluye en 2012 con el fallo de la justicia a favor de los agustinos checos, regresando así el manuscrito a la abadía de Santo Tomás. Allí permanece expuesto desde 2017. En la actualidad, existe un proyecto financiado por Austria, República Checa y la Unión Europea para producir diez facsímiles e incluir el manuscrito en el Programa Memoria del Mundo de la UNESCO.

Uno de los pliegos del manuscrito de Mendel. Obsérvese, escrito a lápiz en el margen superior izquierdo de la primera página, el encargo del editor de imprimir 40 copias que serían distribuidas entre distintas instituciones científicas e investigadores
Fuente: <https://mendel-genetics.cz/>





Hugo Iltis, biógrafo de Mendel
Fuente: Wikipedia



Ondřej Dostál, director del Museo de Mendel, y Jan Biernat, monje agustino de la abadía de Santo Tomás de Brno, preparan el manuscrito original de Mendel para ser expuesto de forma permanente
Fuente: <https://www.em.muni.cz/>

Nace la genética

La genética se encarga de estudiar el material hereditario que forma parte de todos los seres vivos y de comprender los mecanismos de transmisión de las características morfológicas de una generación a otra. Aunque el término *genética* fue utilizado por primera vez por **William Bateson** en el año 1905, la historia de esta disciplina comienza 40 años antes, en 1866, cuando Gregor Mendel publica su «*Versuche über Pflanzenhybriden*». A partir del redescubrimiento de estos trabajos por parte de Correns, Tschermak y De Vries, la figura del monje agustino resurge y se pone en valor. Primero el propio Bateson, en 1902, con su trabajo «*Mendel's Principles of Heredity*» y, después, **Thomas Hunt Morgan**, a partir de 1910, serían los principales valedores e ideólogos de las Leyes de Mendel.

Morgan, junto con **Theodor Boveri** y **Walter Sutton**, desarrolló la Teoría Cromosómica de la Herencia que, a grandes rasgos, señala a los cromosomas como las entidades físicas portadoras de los elementos genéticos descritos por Mendel (o *genes*, término acuñado por el botánico **Wilhelm Johannsen** en 1909). A la postre, Morgan recibiría en 1933 el Premio Nobel en Fisiología y Medicina por estas investigaciones, decisivas para la consolidación de la genética mendeliana. Para desarrollarlas, utilizó como material de estudio la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), que cultivaba en

la famosa *Fly Room* (Habitación de las Moscas) de su laboratorio en la Universidad de Columbia. En concreto, fue decisivo para el enunciado de su teoría el mutante *white*, originado por la mutación de un gen presente en el cromosoma X de esta especie.

La mutación es, además, parte fundamental de la Teoría de la Evolución por Selección Natural enunciada por Darwin (1859), ya que la mutación es fuente de variabilidad genética, y sin esta variabilidad la selección natural carecería de variantes sobre las que actuar. Por si fuera poco, la mutación es pieza clave en estudios genéticos, y constituye la base de un procedimiento denominado *diseción genética*, que consiste en determinar la función de un determinado gen (o parte del genoma) mediante la inactivación del mismo.

Para completar la visión general de la disciplina, es necesario mencionar que durante las décadas de los años 30 y 40 del siglo XX se dio forma a la denominada Teoría Sintética de la Evolución o Neodarwinismo. Esta teoría integra las Leyes de Mendel, la Teoría Cromosómica de la Herencia de Morgan, y la Teoría de la Evolución por Selección Natural de Darwin. **Ronald Fisher**, biólogo y estadístico y **Theodosius Dobzhansky**, biólogo evolutivo, son dos de sus principales impulsores.

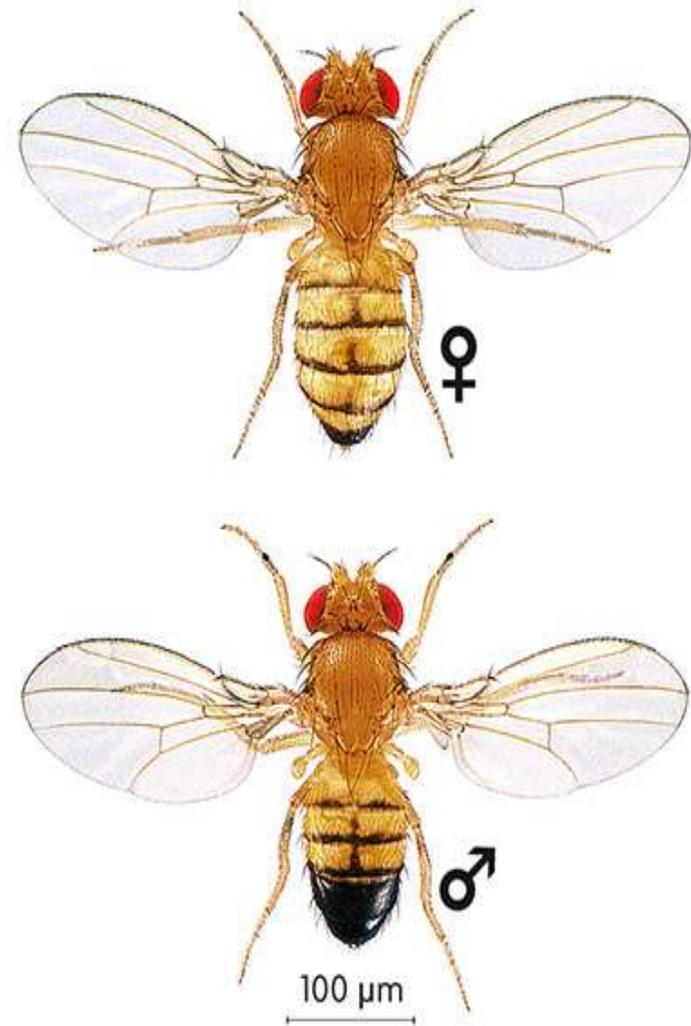
Ejemplares salvajes y *white* de *Drosophila melanogaster*
Fuente: Aaron Gálvez Salido





W. Bateson

William Bateson, principal valedor de las Leyes de Mendel durante los primeros años del siglo XX
Fuente: Wikipedia



Individuos macho y hembra de la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), organismo clave en investigaciones genéticas.
Fuente: <https://metode.es/>

Thomas H. Morgan, en 1922, en la Habitación de las Moscas (Fly Room) de la Universidad de Columbia
Fuente: Historical Photograph Collection, Columbia University Archives



El escarabajo que introdujo la genética en España

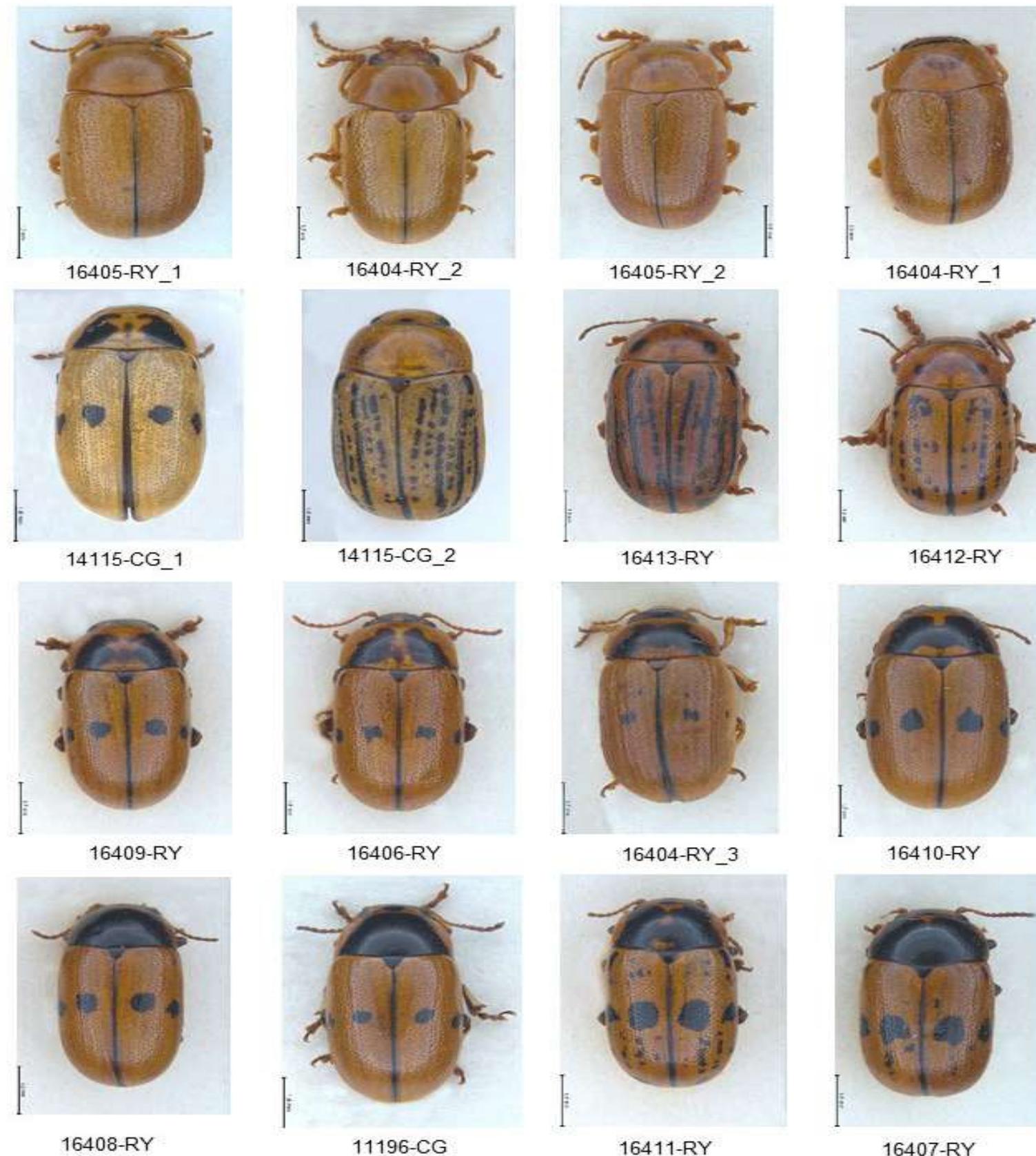
Antonio de Zulueta (1885-1971) es considerado el primer genetista español. Desarrolló la mayor parte de su labor investigadora trabajando en los cromosomas sexuales del escarabajo *Gonioctena variabilis* (syn. *Phytodecta variabilis*) en el Laboratorio de Biología del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MCNM). Demostró que el cromosoma Y era también portador de información genética, algo que en aquella época estaba en duda. Además de un investigador de prestigio internacional, Zulueta fue pieza clave en la introducción del mendelismo y las teorías evolutivas en nuestro país, ya que llevó a cabo las primeras traducciones al español de los textos de Darwin y Morgan. Además, publicó diversos textos divulgativos sobre mendelismo.

El primer curso sobre herencia mendeliana en España fue organizado en 1920 también por el MCNM, pero esta vez impartido por un discípulo de Zulueta, **José Fernández Nonidez** (1892-1947), que por aquel entonces se encontraba formándose en el laboratorio de la Universidad de Columbia (Nueva York) dirigido por Edmund B. Wilson y Thomas H. Morgan, ideólogo de las Leyes de Mendel. Este curso se plasmó finalmente en un libro fundacional (publicado en 1922 y ampliado en 1935) que llevaba por título: «*La herencia mendeliana: introducción al estudio de la Genética*». En esta década se comienzan a publicar otros escritos en nuestro país que reproducen las Leyes de Mendel.

Por su parte, **la ciudad de Granada** también contribuyó en cierta medida al desarrollo de la genética. En contexto nos pone un cuaderno de campo que se conserva en la Universidad de Cambridge. Gracias a él hoy sabemos que, 30 años antes de que Zulueta iniciara sus investigaciones usando *Phytodecta variabilis*, William Bateson ya trabajaba con este material. Además, está documentado que en marzo de 1895, llevó a cabo una campaña de recolecta de dicho coleóptero en varias ciudades españolas; entre ellas precisamente se encuentra Granada. Queda constancia de ello por una carta remitida desde la ciudad por Bateson a Ignacio Bolívar, director del MCNM en aquella época. A la postre, los especímenes recolectados en Granada, le darían a Bateson el número suficiente de individuos para apoyar estadísticamente las demostraciones que estaba desarrollando en relación a los postulados de Mendel.

A pesar de esta temprana incursión, habría que esperar hasta el año 1960 para que la Universidad de Granada creara la Cátedra de Genética. Ésta sería ocupada por **Amadeo Sañudo Palazuelos** que, por vicisitudes del proceso, no tomaría posesión hasta casi pasados siete años, en 1967. Actualmente, el Departamento de Genética, que cuenta con 20 profesores y un buen número de investigadores en formación, continúa con un firme compromiso con la investigación de calidad y la innovación docente. Prueba de ello es su producción científica y su participación en múltiples proyectos de investigación y de innovación docente.

Ejemplares de *Gonioctena variabilis* (syn. *Phytodecta variabilis*)
Fuente: Departamento de Zoología de la Universidad de Granada





José Fernández Nonidez,
introducción del mendelismo en España

Fuente: Red de Bibliotecas y Archivos del CSIC



Antonio de Zulueta, primer genetista de España

Fuente: Museo de Ciencias Naturales de Madrid



Grabados mostrando distintos fenotipos de *Phytodecta variabilis*, realizados por Serapio Martínez y conservados por la familia Zulueta
Fuente: Museo de Ciencias Naturales de Madrid



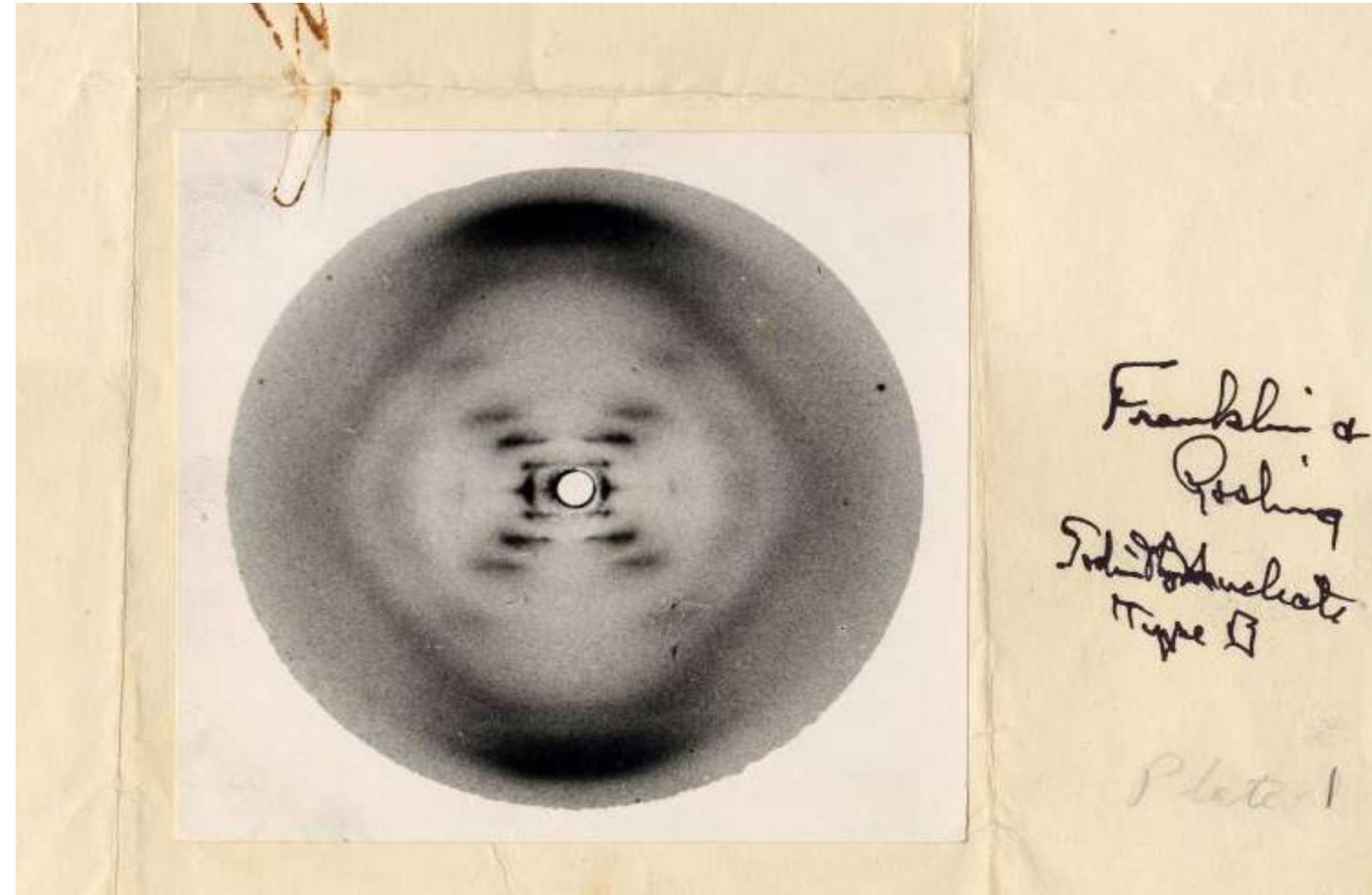
La doble hélice de ADN

El ADN es la pieza clave de la genética. Aunque fue aislado por primera vez en 1869 por el biólogo suizo **Friedrich Miescher**, quien identificó en distintos tipos celulares una sustancia rica en fosfatos a la que denominó *nucléina*, su estructura y función no se conocieron hasta mucho más tarde. Las primeras décadas del siglo XX fueron testigos de grandes avances en relación al descubrimiento de la composición de esta *misteriosa* molécula. Comenzaba a saberse que el ADN estaba compuesto por bases nitrogenadas, un tipo de azúcar y grupos fosfato, pero se desconocía si se trataba de una molécula muy variable o, simplemente, era la repetición monótona de unas pocas unidades. Por supuesto, su función aún estaba por descifrar.

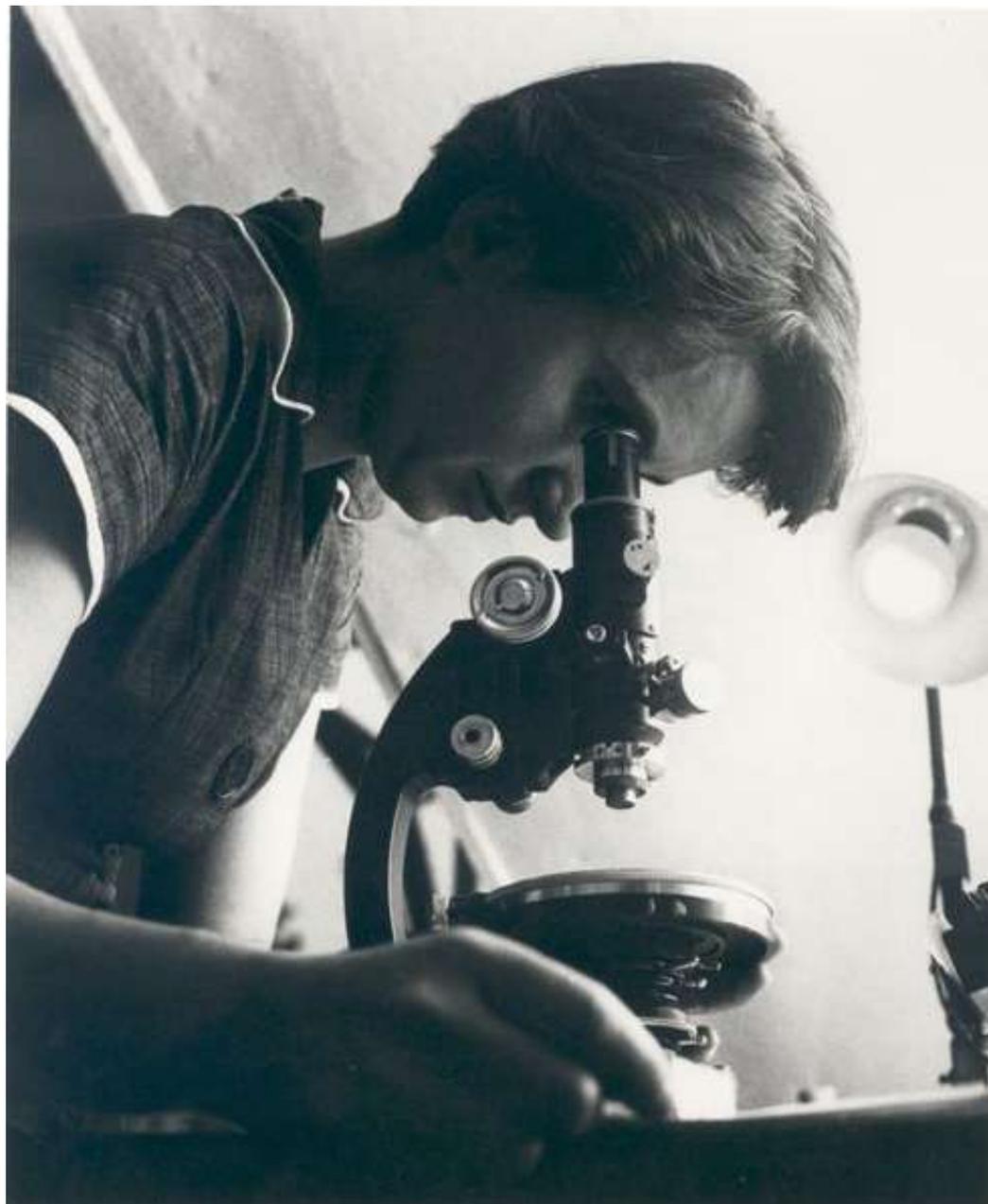
En este sentido, **Frederick Griffith** describió en 1928 lo que denominó principio *transformante*. Buscando una vacuna contra la neumonía, describió bacterias inocuas que adquirían capacidades patogénicas. Pronosticó que en el proceso tendría que intervenir dicho principio, de naturaleza desconocida. Hoy día sabemos que el responsable de la adquisición de patogenicidad de las bacterias de Griffith era el intercambio de moléculas de ADN, que ocurre frecuentemente en bacterias mediante un proceso denominado transformación. Para entender este hecho, fueron decisivos los experimentos de **Avery, McCarty y MacLeod** (1944) y los de **Hershey y Chase** (1952). Estos últimos trabajaban con bacteriófagos, virus que atacan a bacterias. Los bacteriófagos se componen exclusivamente de ADN y proteínas. Marcando radiactivamente uno y otras verificaron la implicación del ADN en la transformación. Se inicia, entonces, una carrera por ser el primero en descifrar la estructura tridimensional del ADN. **Linus Pauling** estaba trabajando en la hipótesis de la triple hélice, mientras que el grupo constituido

por **Rosalind Franklin, Maurice Wilkins, Francis Crick** y **James Watson** defendía la idea de una doble hélice. Esta última hipótesis sería finalmente probada y publicada en tres artículos seminales en la revista *Nature* en 1953. Franklin aportaría la conocidísima fotografía de difracción de rayos X del ADN (la fotografía 51), que corroboraba las predicciones teóricas, aunque por su muerte prematura y por desavenencias de tipo personal, quedaría finalmente relegada a un segundo plano y apartada de la concesión del Premio Nobel de Medicina que le fue otorgado por este descubrimiento al resto de investigadores del equipo, en 1962. El descubrimiento del ADN como molécula responsable de la herencia abrió un vasto campo de conocimiento e investigación. Entre otras cosas, se determinó que el flujo de información es unidireccional, desde los genes (portadores de la información) hasta la proteína (la molécula ejecutora), pasando por una fase intermedia, producto de la transcripción del ADN y que atraviesa un proceso de maduración, el ARN mensajero. Éste es el denominado Dogma Central de la Biología.

Probablemente, uno de los descubrimientos más relevantes se lo debemos al bioquímico americano **Kary Mullis**, quien aprovechó su experiencia en el diseño de moléculas para idear la tecnología que revolucionó definitivamente el mundo de la biología: se trata de la reacción en cadena de la polimerasa (o PCR, del inglés *Polymerase Chain Reaction*), que permite hacer copias ad hoc de moléculas de ADN. Quedaba abierta la era de la genética molecular. Un viaje que, de momento, nos ha permitido asistir a la secuenciación y caracterización de un gran número de genomas, incluido el humano, la transgénesis, la clonación de seres vivos, la edición genética y al nacimiento de la medicina personalizada.



Fotografía de difracción de rayos X (fotografía 51), obtenida por Rosalind Franklin, que confirmó definitivamente la estructura del ADN
Fuente: <https://biology.stackexchange.com>



Rosalind Franklin
Fuente: Wikipedia



James Watson (izquierda) y Francis Crick (derecha), en 1953, junto a su modelo de la doble hélice de ADN en el Laboratorio Cavendish de Cambridge
Fuente: <https://metode.es/>

Mendel hoy

Hablar de Gregor Mendel hoy, 200 años después de su nacimiento, es hablar de genética. Este nombre forma parte del elenco de los científicos más importantes de la historia de la humanidad y, en nuestra sociedad actual, existen múltiples manifestaciones de su relevancia.

Sin duda, la ciudad de Brno es el epicentro mundial del mendelismo. Allí, en la abadía de Santo Tomás, se encuentra el Museo de Mendel (dependiente de la Universidad de Masaryk), donde pueden encontrarse algunos de los pocos efectos personales de Mendel que han llegado hasta nuestros días. Además, Brno alberga también la Universidad de Mendel y el museo Mendelianum (parte de la Red de Museos de Moravia). Un gran número de instituciones y sociedades científicas repartidas por todo el mundo llevan el nombre de Mendel, incluyendo una estación de investigaciones antárticas, la Johann Gregor Mendel, con bandera checa. Igualmente, el nombre del monje agustino se ha asociado a premios al mérito científico. Valgan como ejemplo las medallas al mérito de la Academia Checa de las Ciencias o la Universidad de Villanova (Pensilvania, EE. UU.).

Distintas ramas de la ciencia y la tecnología han hecho sus particulares homenajes a Mendel. En taxonomía botánica, por ejemplo, se utiliza la abreviatura ‘Mendel’ a continuación de los nombres científicos de plantas descritas o clasificadas por él. Asimismo, existen varias especies de plantas dedicadas a su figura, incluida una especie del género *Hieracium* (*Hieracium × mendelii* Peter) y una variedad cultivada de fucsia, aunque no de *Pisum*. Existen dos cráteres (uno marciano y otro lunar) y un asteroide llamados Mendel. El Proyecto

RepRap, que tiene como objetivo crear impresoras autorreplicantes, ha bautizado a tres de sus modelos con el nombre de Darwin, Mendel y Morgan por el paralelismo de la iniciativa con el comportamiento del material genético. Los ejemplos son innumerables.

Pero, la figura del Padre de la Genética ha trascendido el campo puramente científico: el callejero mundial está plagado de calles, plazas, edificios y emplazamientos varios con su nombre. Se han realizado estatuas en su honor, como la que preside el jardín de su abadía. Existe todo un mercado especializado de *memorabilia* mendeliana (camisetas, bolsos, postales, chapas, juegos didácticos...), se han emitido sellos postales y acuñado monedas en su honor, incluso la figura de Mendel ha proliferado en la red en forma de meme (modernas formas de *replicantes* digitales).

Las distintas efemérides de la vida del monje agustino se celebran anualmente por todo el mundo. El día 8 de febrero (día de la presentación en sociedad de sus trabajos) se ha instaurado como el Día de Mendel o, en países como Argentina, es la fecha en que se celebra el Día del Genetista. Cada 20 de julio y 6 de enero, se suceden los actos conmemorativos de su nacimiento y fallecimiento, respectivamente. En 2022, año del bicentenario del nacimiento, las actividades y celebraciones han proliferado de forma particular. Gran número de publicaciones han editado monográficos especiales, se han impreso libros, impartido charlas y conferencias, y organizado congresos, como el celebrado en Brno. Esta exposición que te encuentras visitando hoy es un ejemplo más.

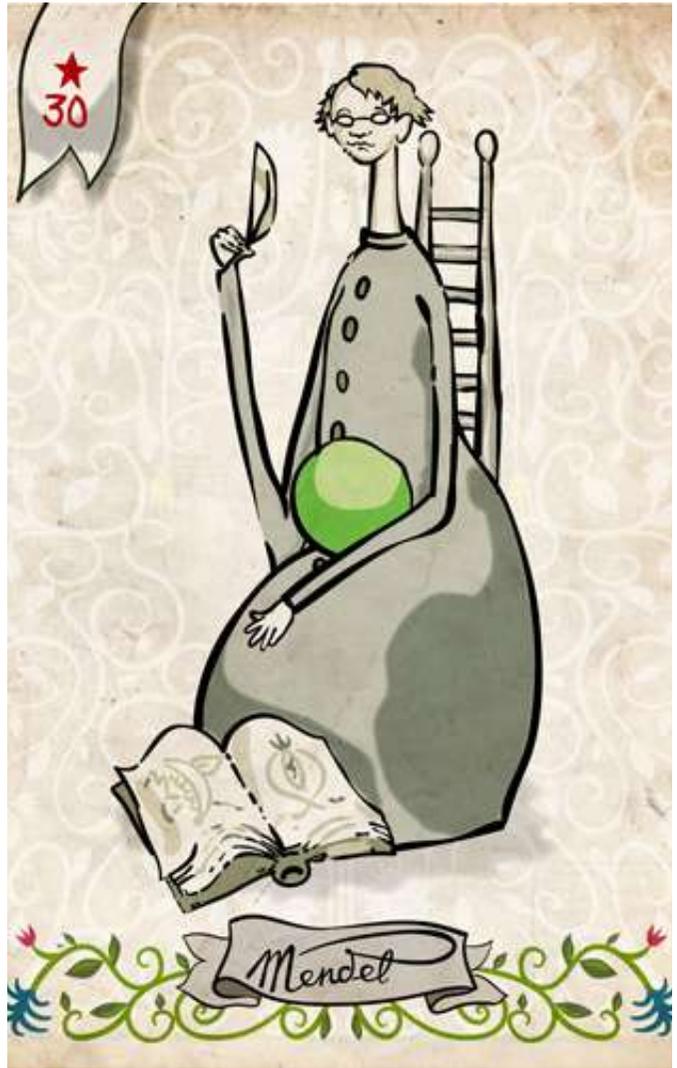
Retrato icónico de Gregor Mendel revisitado por María Aznarte Mellado ▶





Medalla al mérito científico que otorga la Universidad de Villanova (Pensilvania)

Fuente: <https://www1.villanova.edu/>



Caricatura de Gregor Mendel realizada para el juego educativo Mendelius

Fuente: <https://www.mendelius.com/>

Estatua de Gregor Mendel, realizada en 1910. En la actualidad se encuentra en los jardines de la abadía de Santo Tomás de Brno

Fuente: [Wikimedia Commons](#)



La herencia mendeliana en humanos

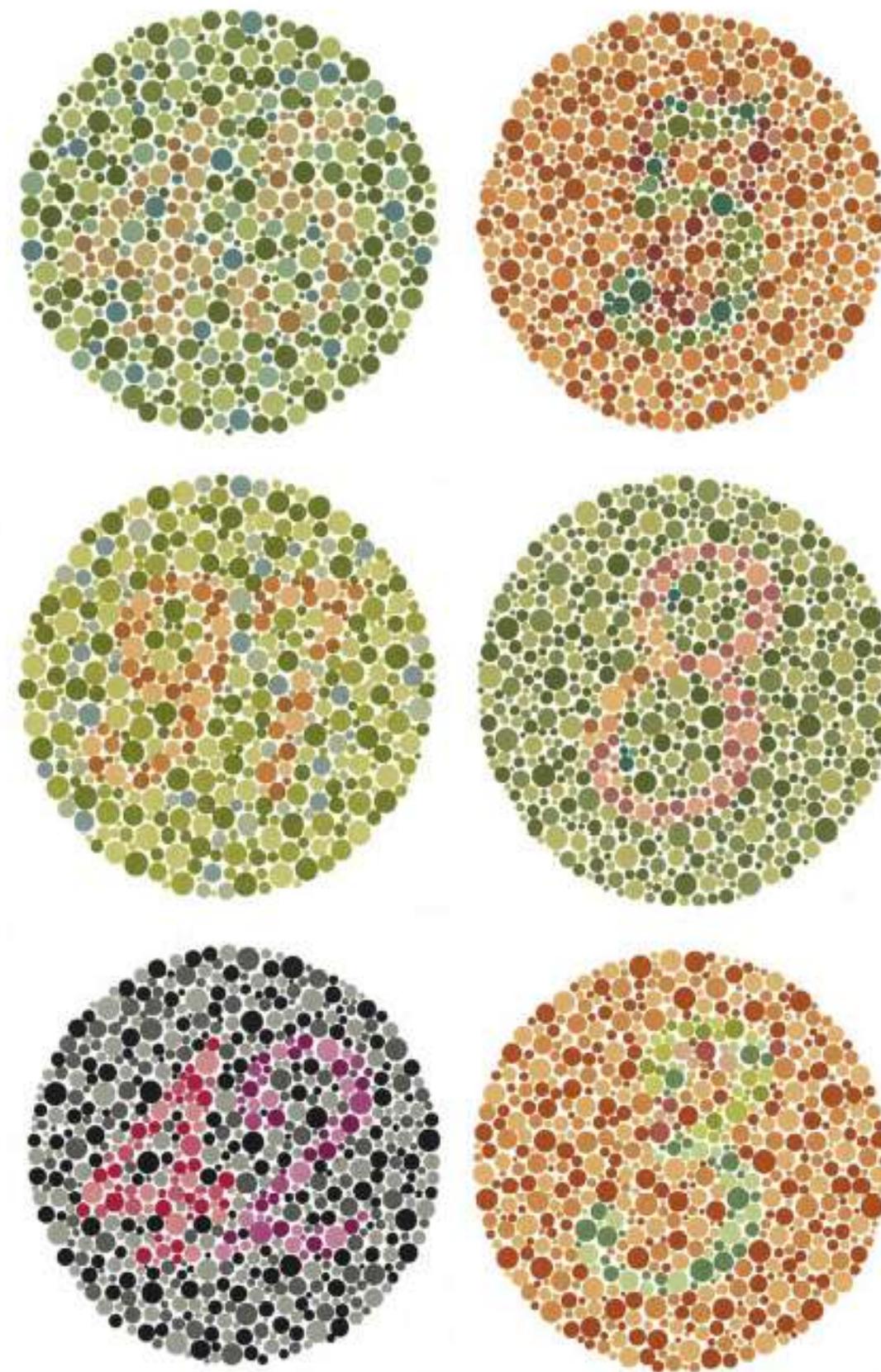
Apesar de lo que podría pensarse, en la especie humana existen numerosos ejemplos de rasgos mendelianos, esto es, controlados por un solo gen con dos alelos, siendo uno de ellos dominante sobre el otro. La base de datos OMIM (*Online Mendelian Inheritance in Man*), creada por Victor A. McKusick en la década de los 60, compendia toda la información existente en relación a trastornos mendelianos conocidos en humanos y recopila en la actualidad más de 16.000 genes. Se encuentra en continua actualización y es accesible gratuitamente vía Internet.

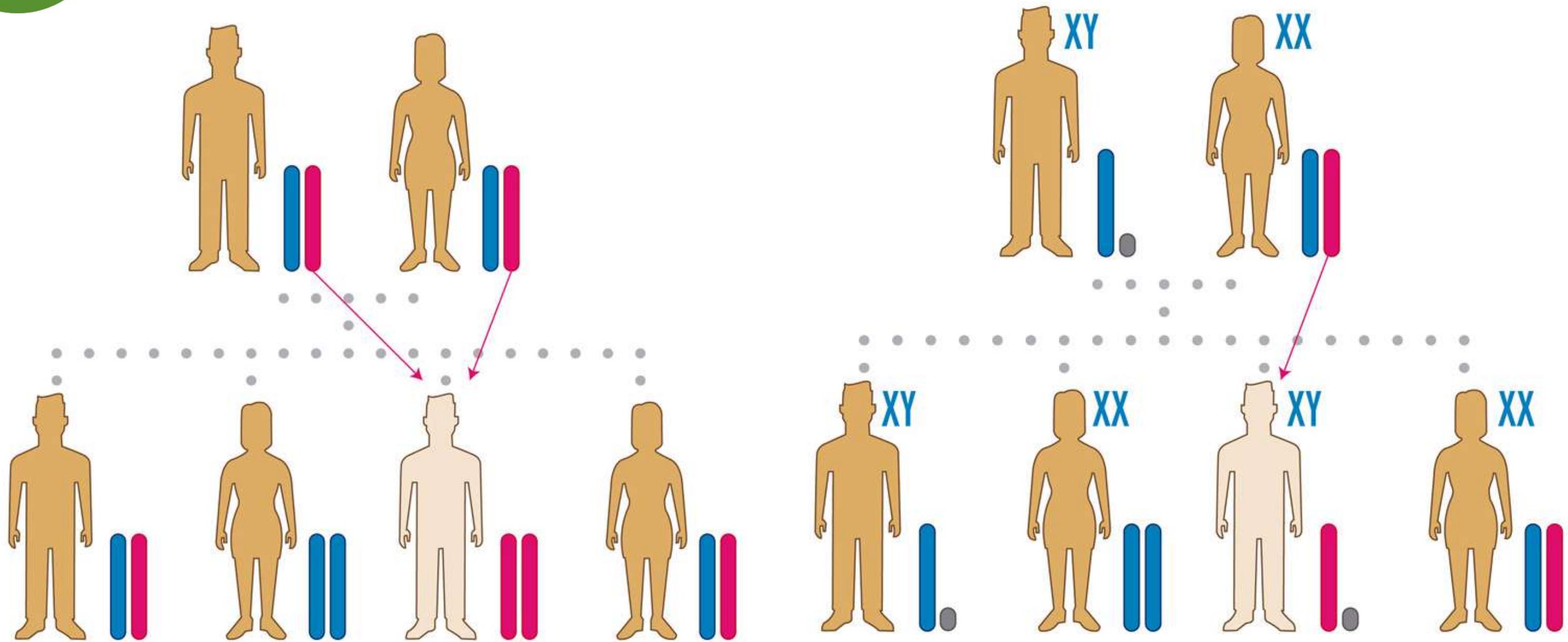
Un ejemplo típico de rasgo mendeliano en la especie humana lo constituye el albinismo, cuya forma más común (el albinismo oculocutáneo de tipo 1, OCA1) presenta una herencia autosómica recesiva. Hablamos de rasgos **autosómicos**, cuando los genes responsables de los mismos están presentes en alguno de los 22 autosomas humanos (OCA1 se debe a una alteración en el gen de la tirosinasa, situado

en el cromosoma 11). En contraposición, podemos encontrar rasgos **asociados a cromosomas sexuales**, esto es, controlados por genes que se encuentran en un cromosoma sexual. El daltonismo o, de forma más amplia, la ceguera para los colores, es un ejemplo de ello. Se trata de un síndrome causado por un defecto genético que afecta a los conos de los ojos y dificulta la visión para determinados colores; se encuentra ligado al cromosoma X. Como tal, se rige por un patrón de herencia diferente al de los genes autosómicos: a diferencia de las mujeres (XX), los hombres (XY) portan una única copia alélica, que siempre heredan de su madre y que transmiten a su descendencia femenina, pero no a la masculina.

Ejemplos como este último se consideran extensiones a la teoría mendeliana, ya que cubren aspectos que escapan a los trabajos de Mendel, en este caso, presencia de genes en cromosomas sexuales (la planta de guisante no tiene cromosomas sexuales).

Tablas de Ishihara
Fuente: <https://www.es.colorlitelens.com>





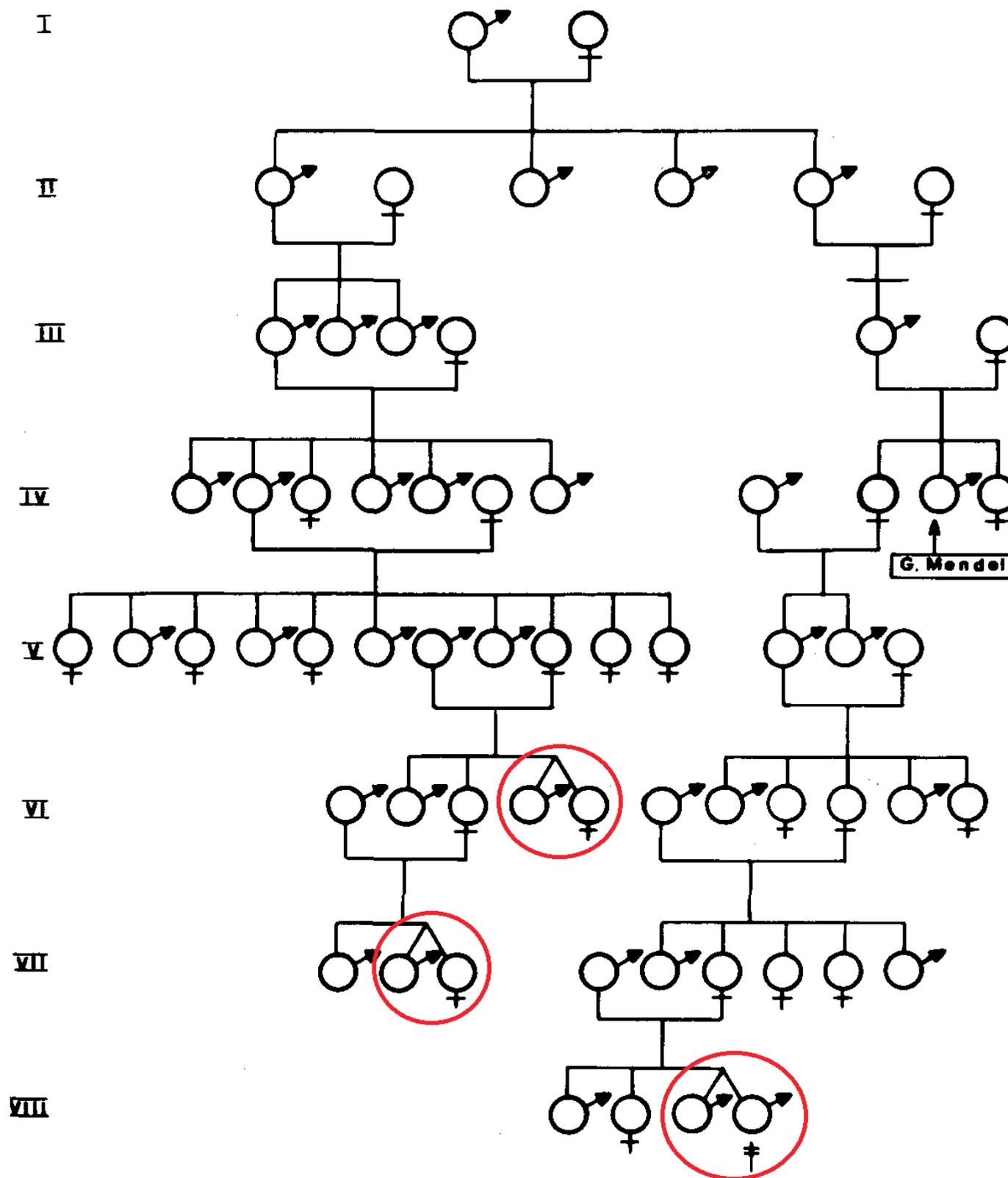
Patrón de herencia de una característica autosómica recesiva (cromosomas de color rosa) como OCA1
Fuente: <http://wwwuser.cnb.csic.es/~albino/>

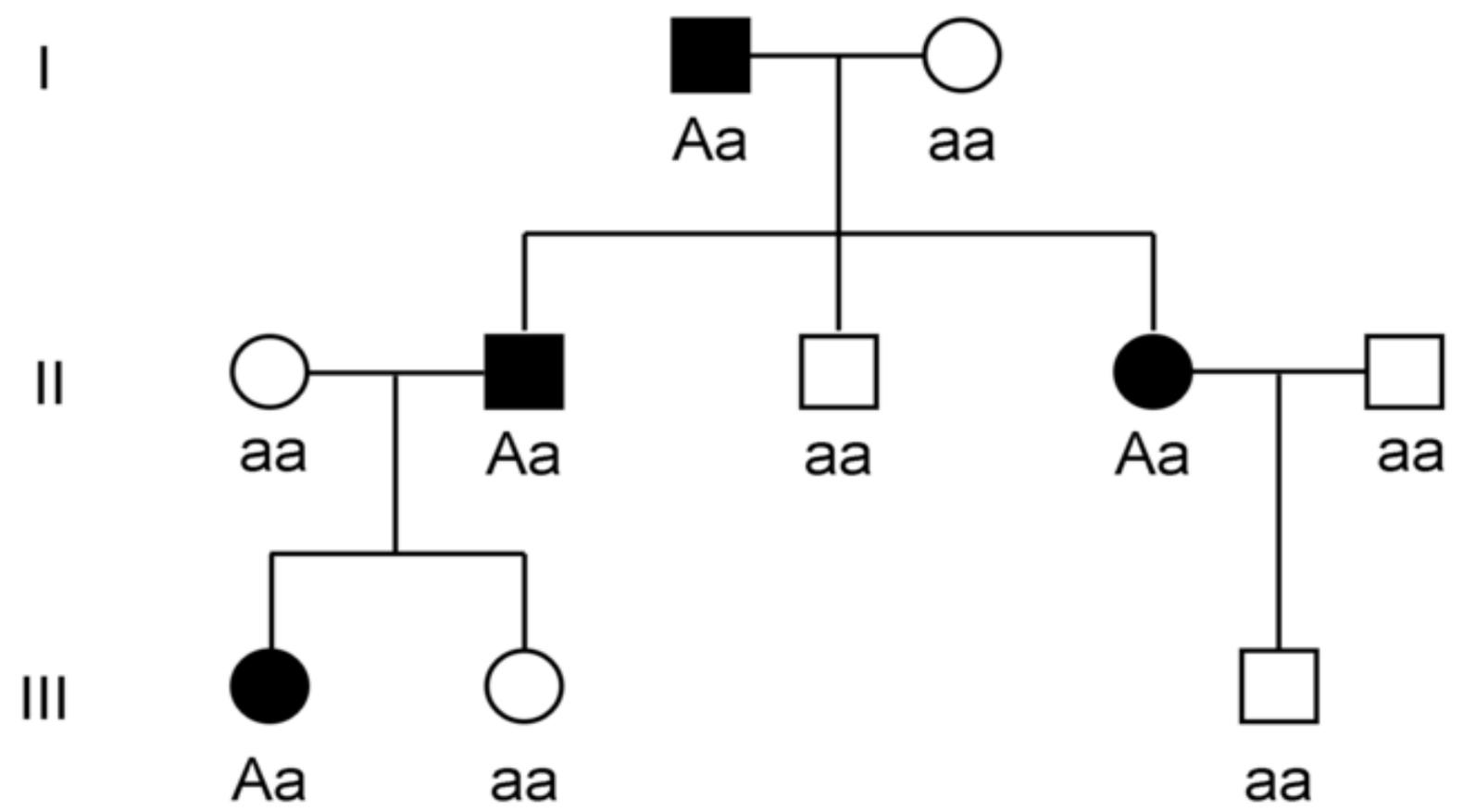
Patrón de herencia de una característica ligada al sexo (cromosomas X de color rosa) como el daltonismo
Fuente: <http://wwwuser.cnb.csic.es/~albino/>

Pedigríes: siguiendo la pista de los rasgos mendelianos

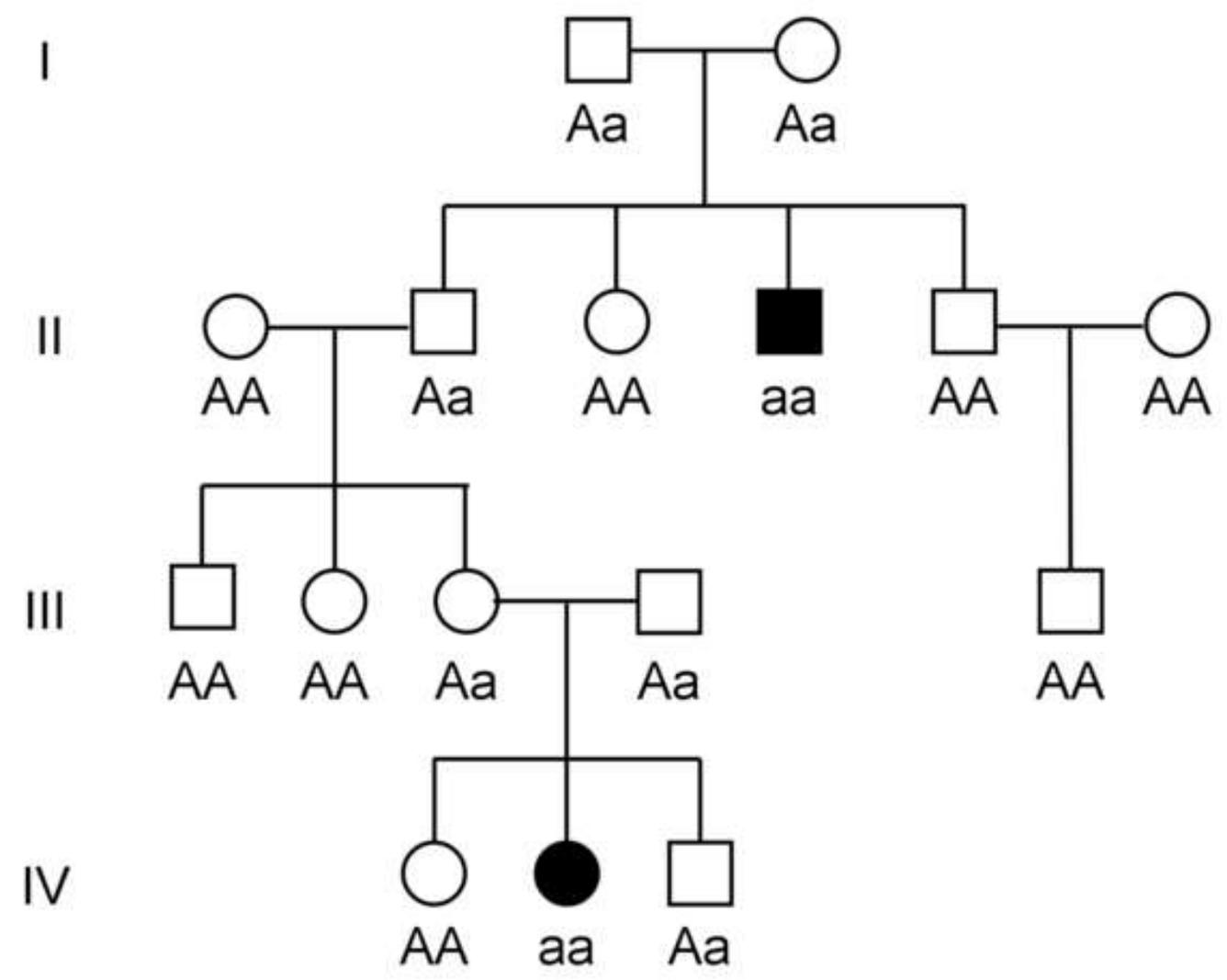
Los pedigríes se han utilizado tradicionalmente como herramientas para facilitar el estudio y el análisis de la historia familiar de rasgos mendelianos. En ellos, hombres y mujeres están representados por cuadrados y círculos, respectivamente. Cuando estas figuras geométricas aparecen de color sólido, el individuo está afectado por el rasgo en cuestión, mientras que si aparecen vacías, el individuo no presentará dicha característica. De arriba a abajo, cada franja horizontal de individuos representa una generación distinta. Una línea horizontal entre individuos indica un enlace. Las líneas verticales conectan padres e hijos. Estas representaciones gráficas permiten, de un solo vistazo, comprobar la extensión de un rasgo en un grupo de individuos emparentados, estudiar el patrón de herencia del carácter y hacer predicciones a futuro.

Pedigrí familiar de Gregor Mendel en el que se muestra la distribución de la predisposición a partos gemelares (expresados como dos líneas divergentes, círculos rojos). Nótese cómo el sexo de los individuos se marca aquí con símbolos y no con formas geométricas (Modificado de: Cambridge University Press).





Pedigrí mostrando la distribución familiar de un carácter autosómico dominante. Nótese cómo el carácter no salta generaciones y que una persona afectada siempre tiene un progenitor afectado.
Fuente: Wikipedia



Pedigrí mostrando la distribución familiar de un carácter autosómico recesivo. Nótese cómo el carácter tiende a saltar generaciones. Estas características aparecen con mayor frecuencia en la descendencia de cruzamientos consanguíneos
Fuente: Wikipedia

El enigma de Nimega

Esta obra, de Abraham van Wessel (1658), puede admirarse en el museo Valkhof de Nimega (Países Bajos). En su parte inferior izquierda observamos a una mujer con un anciano en su regazo. De pie a su derecha, se encuentran en la estancia otros seis varones: dos, de edad avanzada, vestidos de rojo, dos de edad intermedia, vestidos de verde, y dos jóvenes vestidos de blanco. Sobre cada uno de los grupos encontramos una inscripción. Su transcripción, que se muestra a continuación, nos plantea un interesante acertijo que bien podríamos resolver valiéndonos de una herramienta tan valiosa en genética como son los pedigrís ¿Te atreves a intentarlo?

Mujer: los dos que van de rojo son hermanos de mi padre. Los dos de verde son hermanos de mi madre. Los dos de blanco son mis hijos y yo, su madre, tengo aquí al padre de esos seis que es mi marido, sin que haya relaciones de consanguinidad que impidan esto.

Adultos vestidos de rojo: lamentaríamos que no se supiera que nuestra sobrina se la dieron a nuestro padre, porque ella no es la sobrina de nuestro padre, cosa que nadie adivinaría fácilmente.

Hombres de edad intermedia vestidos de verde: es extraño ver en este cuadro a quien es nuestro padre natural y que se casó con nuestra sobrina, pero esto no lo lamentamos.

Jóvenes vestidos de blanco: el anciano es el padre de todos nosotros. La señora es la madre de nosotros dos. Pero decimos ¿cómo puede ser que nuestros hermanos sean tíos de nuestra madre?



El enigma de Nimega de Abraham van Wessel (1658)
Fuente: <http://laesferahumana.blogspot.com/>

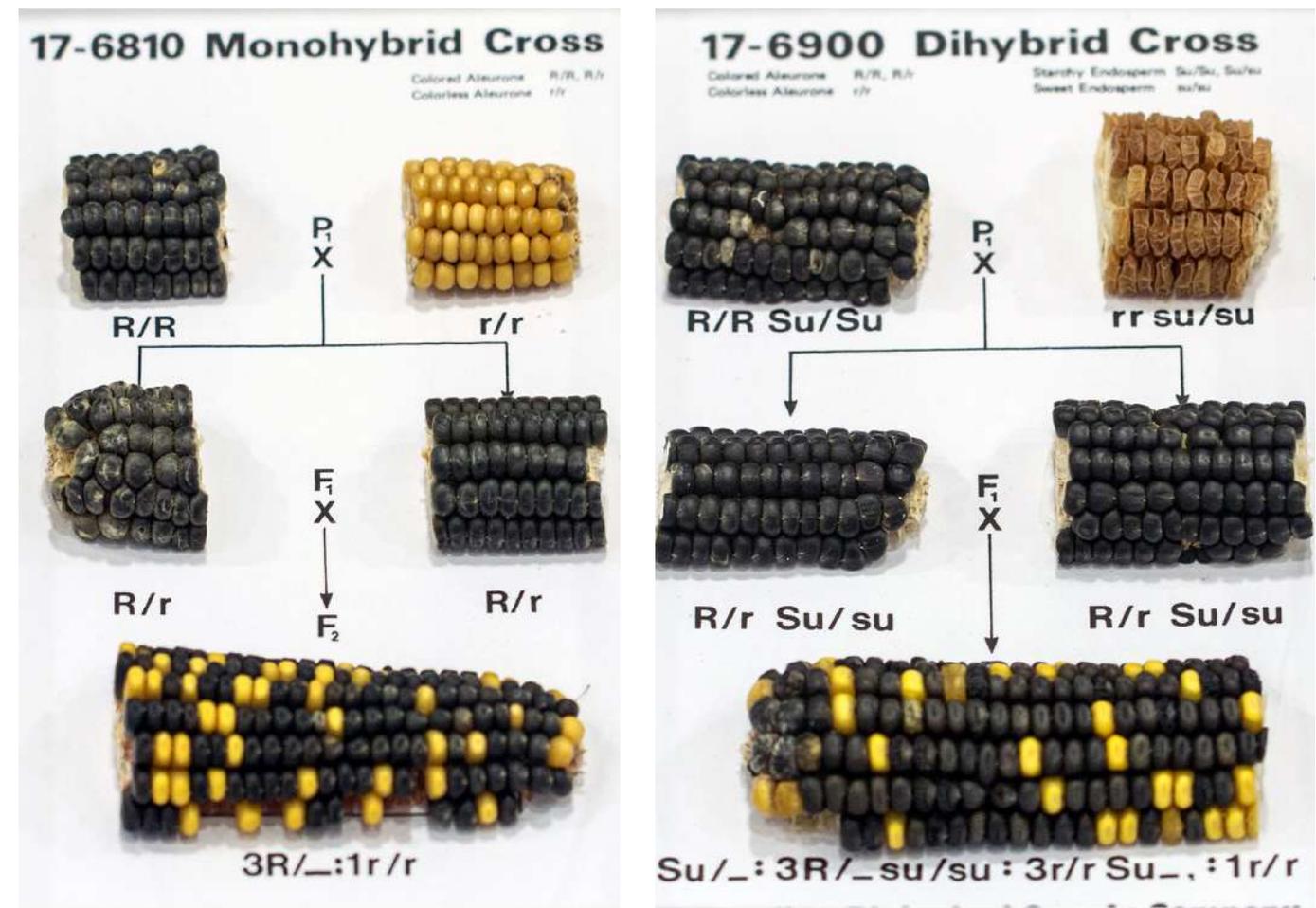
Piezas de la exposición



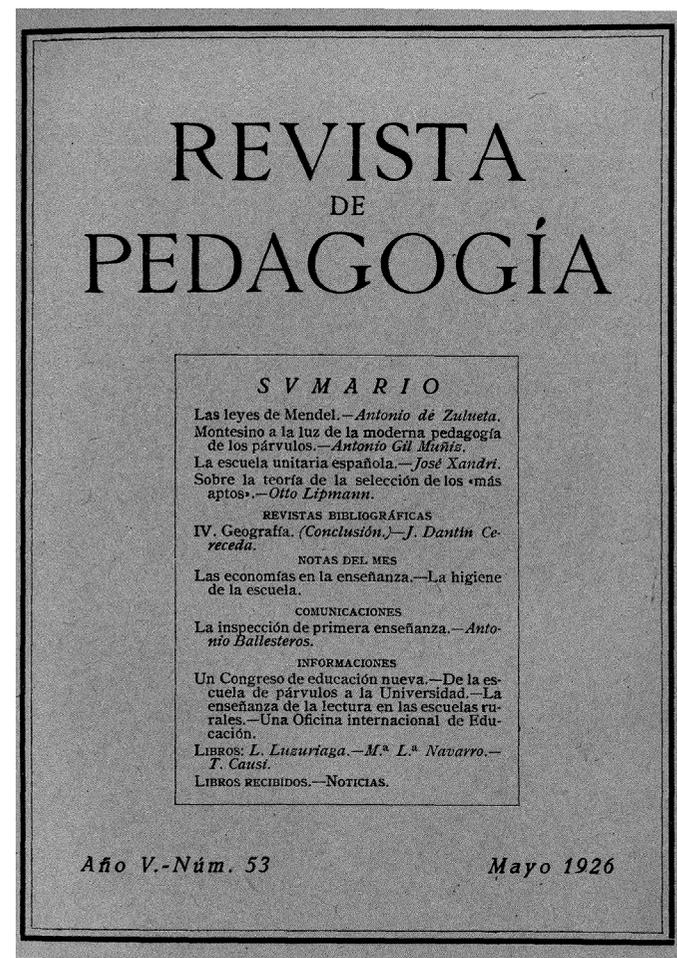
Pieza 1.- Semillas de guisante desecadas mostrando los fenotipos estudiados por Mendel: verde y amarillo para el color, liso y rugoso para la forma.



Pieza 2.- Pliegos de herbario de *Pisum sativum* de flor morada (GDA51977) y de flor blanca exhibiendo el carácter presencia de zarcillos (GDA63594). Inicialmente, Mendel consideró estudiar esta característica pero, finalmente, no la incluyó en sus trabajos, probablemente porque la presencia de zarcillos sea un rasgo con herencia más compleja.



Pieza 3.- Cruzamientos monohíbridos exhibiendo las proporciones 3:1 y dihíbridos con proporciones 9:3:3:1 en maíz.



Pieza 4.- Reproducción de la Revista de Pedagogía nº 53 (1926) donde Antonio de Zulueta hace una reseña sobre las Leyes de Mendel.

REVISTA DE PEDAGOGÍA
Año V * Madrid, mayo 1926 * Núm. 53

LAS LEYES DE MENDEL
POR ANTONIO DE ZULUETA
Profesor del Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Desde antiguo se sabía que, tanto en los animales como en las plantas, numerosos caracteres, interesantes por su utilidad o belleza, por ser muy raros o resultar perjudiciales, son hereditarios; pero tan diversos y aun opuestos se mostraban los hechos de transmisión de estos caracteres, que parecía imposible reducirlos a leyes, y más todavía descubrir el mecanismo mediante el cual la herencia se efectúa en los seres vivos con tan aparente irregularidad.

Ambas cosas consiguió Gregorio Mendel (1822-1884), religioso agustino del convento de Santo Tomás de Brtinn o Brno (Moravia, Checoslovaquia), merced a experimentos realizados cruzando guisantes de diferentes razas y estudiando luego rigurosamente su descendencia; pero el resultado de sus trabajos, resumido en una Memoria de pocas páginas, lo publicó, en 1866—acaso sin darse plena cuenta de la inmensa trascendencia de sus descubrimientos—, en la revista de una modesta sociedad científica de Brtinn y pasó totalmente inadvertido hasta que treinta y cuatro años después, en 1900, tres biólogos notables, De Vries, Correns y Tschermak, llegaron independientemente a los mismos resultados. A partir de este su segundo descubrimiento, las leyes mendelianas se han visto plenamente confirmadas para muy diversos caracteres en multitud de plantas y animales, incluso el hombre, y constituyen la base fundamental de una nueva rama de la biología, la genética, cultivada hoy por numerosos investigadores, y de cuyas aplicaciones a la agricultura y ganadería se están obteniendo utilísimos resultados en algunos países, particularmente en los Estados Unidos.

Podríamos exponer las leyes de la herencia descubiertas por Mendel, considerando sus propios experimentos; pero quizás resulte más claro para algunos lectores poco familiarizados con la reproducción y desarrollo de las plantas, el ver cómo dichas leyes se realizan en los conejos, lo que tiene también la ventaja de hablar de hechos que en este momento se están repitiendo en el laboratorio que tengo a mi cargo en el Museo.



GREGOR MENDEL
1822-2022

Fig. 13 und 14. *Staurógonia multistata* var. *punctata* n. v.
13-20. *Staurógonia heteracantha* Nordst.
21. *Staurógonia rectangularis* A. Br. mit einer Dauerspore.
22. *Staurógonia rectangularis*, eine Zelle.
23. *Staurógonia Lauterborni*, eine Zelle.
24 und 25. *Staurógonia alpina* n. sp. e fronte et latere.

19. C. Correns: G. Mendel's Regel über das Verhalten der Nachkommenschaft der Rassenbastarde.

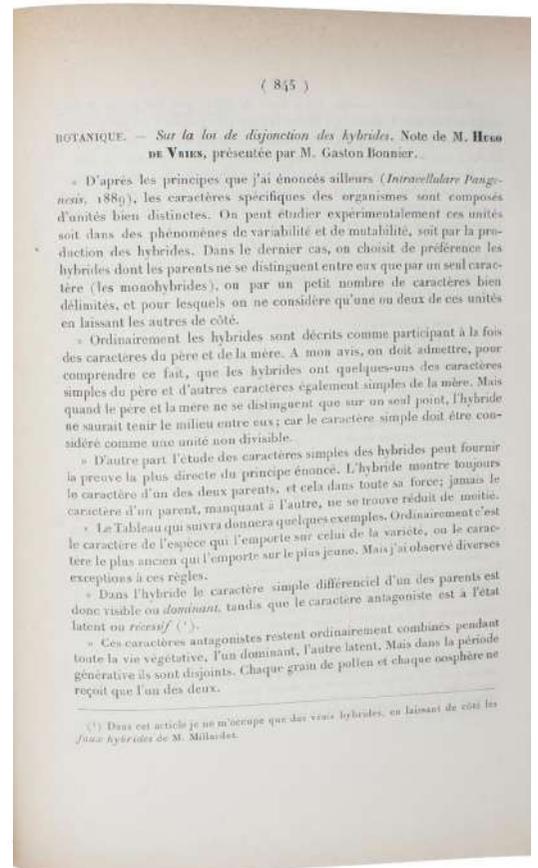
Eingegangen am 24. April 1900.

Die neueste Veröffentlichung HUGO DE VRIES: „Sur la loi de disjonction des hybrides“¹⁾, in deren Besitz ich gestern durch die Liebenswürdigkeit des Verfassers gelangt bin, veranlasst mich zu der folgenden Mittheilung.

Auch ich war bei meinen Bastardirungsversuchen mit Mais- und Erbsenrassen zu demselben Resultat gelangt, wie DE VRIES, der mit Rassen sehr verschiedener Pflanzen, darunter auch mit zwei Maisrassen, experimentirte. Als ich das gesetzmässige Verhalten und die Erklärung dafür — auf die ich gleich zurückkomme — gefunden hatte, ist es mir gegangen, wie es DE VRIES offenbar jetzt geht: ich habe das alles für etwas Neues gehalten²⁾. Dann habe ich mich aber überzeugen müssen, dass der Abt GREGOR MENDEL in Brünn in den sechziger Jahren durch langjährige und sehr ausgedehnte Versuche mit Erbsen nicht nur zu demselben Resultat gekommen ist, wie DE VRIES und ich, sondern dass er auch genau dieselbe Erklärung gegeben hat, soweit das 1866 nur irgend möglich war³⁾. Man braucht heutzutage nur „Keinzelle“, „Keimbläschen“ durch Eizelle oder Eizellkern, „Pollenzelle“ eventuell durch generativen Kern zu ersetzen. — Auch einige Versuche mit *Phaseolus* hatten MENDEL ein entsprechendes Resultat gegeben, und er vermuthete bereits, dass die gefundene Regel in vielen weiteren Fällen Gültigkeit habe.

Diese Arbeit MENDEL's, die in FOCKE's „Pflanzenmischlingen“ zwar erwähnt, aber nicht gebührend gewürdigt ist, und die sonst

1) Compt. rend. de l'Acad. des Sciences, Paris, 1900, 26. mars.
2) Vergl. die Nachschrift. (Nachtr. Anm.)
3) GREGOR MENDEL, Versuche über Pflanzen-Hybriden. Verh. des Naturf. Vereines in Brünn, Bd. IV. 1866.



BOTANIQUE. — Sur la loi de disjonction des hybrides. Note de M. HUGO DE VRIES, présentée par M. Gaston Bonnier.

« D'après les principes que j'ai énoncés ailleurs (*Intravellulare Pangenesis*, 1889), les caractères spécifiques des organismes sont composés d'unités bien distinctes. On peut étudier expérimentalement ces unités soit dans des phénomènes de variabilité et de mutabilité, soit par la production des hybrides. Dans le dernier cas, on choisit de préférence les hybrides dont les parents ne se distinguent entre eux que par un seul caractère (les monohybrides), ou par un petit nombre de caractères bien délimités, et pour lesquels on ne considère qu'une ou deux de ces unités en laissant les autres de côté.

« Ordinairement les hybrides sont décrits comme participant à la fois des caractères du père et de la mère. A mon avis, on doit admettre, pour comprendre ce fait, que les hybrides ont quelques-uns des caractères simples du père et d'autres caractères également simples de la mère. Mais quand le père et la mère ne se distinguent que sur un seul point, l'hybride se saurait tenir le milieu entre eux; car le caractère simple doit être considéré comme une unité non divisible.

« D'autre part l'étude des caractères simples des hybrides peut fournir la preuve la plus directe du principe énoncé. L'hybride montre toujours le caractère d'un des deux parents, et cela dans toute sa force; jamais le caractère d'un parent, manquant à l'autre, ne se trouve réduit de moitié. Le Tableau qui suivra donnera quelques exemples. Ordinairement c'est le caractère de l'espèce qui l'emporte sur celui de la variété, ou le caractère le plus ancien qui l'emporte sur le plus jeune. Mais j'ai observé diverses exceptions à ces règles.

« Dans l'hybride le caractère simple différenciel d'un des parents est donc visible ou dominant, tandis que le caractère antagoniste est à l'état latent ou récessif (*).

« Ces caractères antagonistes restent ordinairement combinés pendant toute la vie végétative. L'un dominant, l'autre latent. Mais dans la période générative ils sont disjoints. Chaque grain de pollen et chaque oosphère ne reçoit que l'un des deux.

(* Dans cet article je ne m'occupe que des vrais hybrides, en laissant de côté les faux hybrides de M. Millardet.

Mittheilungen.

26. E. Tschermak: Ueber künstliche Kreuzung bei *Pisum sativum*¹⁾.

Eingegangen am 2. Juni 1900.

Angeregt durch die Versuche DARWIN's über die Wirkungen der Kreuz- und Selbstbefruchtung im Pflanzenreiche, begann ich im Jahre 1898 an *Pisum sativum* Kreuzungsversuche anzustellen, weil mich besonders die Ausnahmefälle von dem allgemein ausgesprochenen Satze über den Nutzeffect der Kreuzung verschiedener Individuen und verschiedener Varietäten gegenüber der Selbstbefruchtung interessirten, eine Gruppe, in welche auch *Pisum sativum* gehört. Während bei den meisten Species, mit welchen DARWIN operirte (57 gegen 26 bzw. 12), die Sämlinge aus einer Kreuzung zwischen Individuen derselben Species beinahe immer die durch Selbstbefruchtung erzeugten Concurrenten an Höhe, Gewicht, Wuchs, häufig auch an Fruchtbarkeit übertrafen, verhielt sich bei der Erbse die Höhe der aus der Kreuzung stammenden Pflanzen zu jener der Erzeugnisse von Selbstbefruchtung wie 100:115. DARWIN erblickte den Grund dieses Verhaltens in der durch viele Generationen sich wiederholenden Selbstbefruchtung der Erbse in den nördlichen Ländern. In Anbetracht des geringen Beobachtungsmateriales bei DARWIN (es wurden nur vier Erbsenpaare gemessen und verglichen) erschien es mir, zumal DARWIN die Blüten nie castrirte, angezeigt, diese Versuche in grösserem Massstabe und mit grösserer Genauigkeit zu wiederholen. Auch führte ich künstliche Kreuzungen zwischen verschiedenen Varietäten von *Pisum sativum* aus, welche den Zweck hatten, den unmittelbaren Einfluss des fremden Pollens auf die Beschaffenheit (Form und Farbe) der durch ihn erzeugten Samen zu studiren, sowie die Vererbung constant differirender Merkmale der beiden zur Kreuzung benutzten Elternsorten in den nächsten Generationen der Mischung zu verfolgen. Im zweiten Versuchsjahre wurde auch das Verhalten der Mischlinge in Bezug auf ihr Wachstum (speciell auf ihre

1) Die ausführliche Abhandlung wird in der Zeitschrift für das landwirtschaftliche Versuchswesen in Oesterreich, 5. Heft, 1900, erscheinen.

Pieza 5.- Reproducción de los artículos de Carl Correns, Hugo de Vries y Erich Tschermak, redescubridores de las Leyes de Mendel.



Pieza 6.- Gafas redondas de la segunda mitad del siglo XIX similares a las utilizadas por Mendel.



Pieza 7.- Busto de Gregor Mendel realizado con una impresora 3D



Pieza 8.- Microscopio botánico (c. 1830).



Pieza 9.- Microscopio G. Oberhaeuser. Francia (1840).



Pieza 10.- Microscopio R. & J. Beck. "*Popular Model Microscope*". Inglaterra (ca.1868).



Pieza 11.- Microscopio M. Pillischer. "*The International*". Inglaterra (ca.1876).



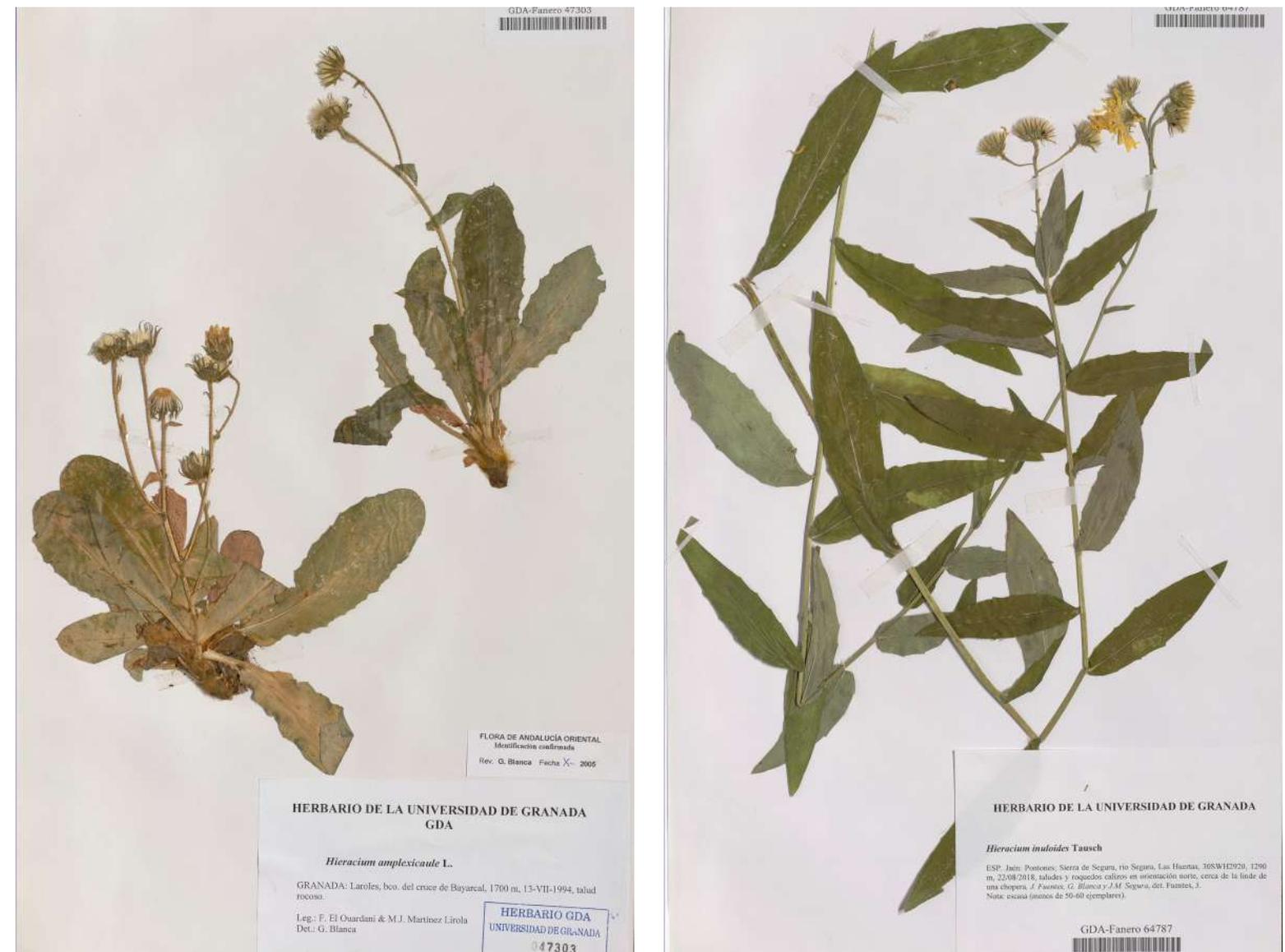
Pieza 12.- Microscopio E. Hartnack & A. Prazmowski. Francia (1882).



Pieza 13.- Caja de época con preparaciones microscópicas.



Pieza 14.- Tabla giratoria Aylward (ca. 1880).



Pieza 15.- Pliegos de herbario de las especies *Hieracium amplexicaule* (GDA47303) e *Hieracium inuloides* (GDA64787) con las que Mendel intentó confirmar los resultados obtenidos en guisante.

Handwritten seed order manuscript by Mendel, listing various plant species and quantities.

Hyacinthen gefüllte:

No 4	Bouquet Andre	5 Stück	1
" 133	Laurant Coste	5 "	2
" 160	Latur d'Auvergne	5 "	1-25

Hyacinthen einfache:

" 19	L'ami du coeur	10 Stück	2
" 192	Homerus	5 "	1-50
" 134	Emilius	5 "	0-95
" 194	Kaiser Ferdinand	5 "	1-05
" 195	L'ami du coeur	10 "	2
" 164	Steu superbissima	5 "	1-10
" 166	Bacon von Thunell	5 "	1-60
" 171	Grand Valenciens	5 "	1-50
" 205	König von Holland	3 "	2-70
" 207	Tulpen	2 "	1-00

Tafel:

" 305-325	Sortiment 4 St. Pflanzl		2-30
			<u>22-20</u>

Bestell-Nota.

Herrn Ernst Benary in Erfurt

ersuche um Ueberendung nachgezählter Samen etc. durch die
(Post, oder Eisenbahn-Eilgut)

Name: _____
Wohnort: _____
Nächste Post- oder Eisenbahn-Station: _____
Geldbetrag von _____ erfolgt, inliegend, durch Postanweisung, ist nachzunehmen.

Catalog-Nr.	Quantum	Benennung der Samen etc. (wenn erforderlich)	Thlr.	Sgr.	Pf.
15	3000 Samen	Blumenkohl Erfurt Zwerg	18		
73	20 Grm	Glaskehlrabi engl früh rot	2		
1366	1 Pflanzl	Rosea striata parviflora	1		
1269	1 Pflanzl	Sesola sicula gigantea pyram	3		
1692	20 Grm	Cannabis gigantea	3		
1900	1 Pflanzl	Echinum creticum	2		
2288	1 Pflanzl	Myrtocarpus capensis	3		
3293	1 Pflanzl	Conocarpus biduo	2		
2504	2 Pflanzl	Setum coccolobum	6		
3453	1 Pflanzl	Malva moschata	2		
3610	1 Pflanzl	Setum Aizoon	1		
3611	1 Pflanzl	" anglicum	2		
3612	1 Pflanzl	" Eversii	2		
3613	1 Pflanzl	" hybridum	3		
			Latus Thlr.	1	20

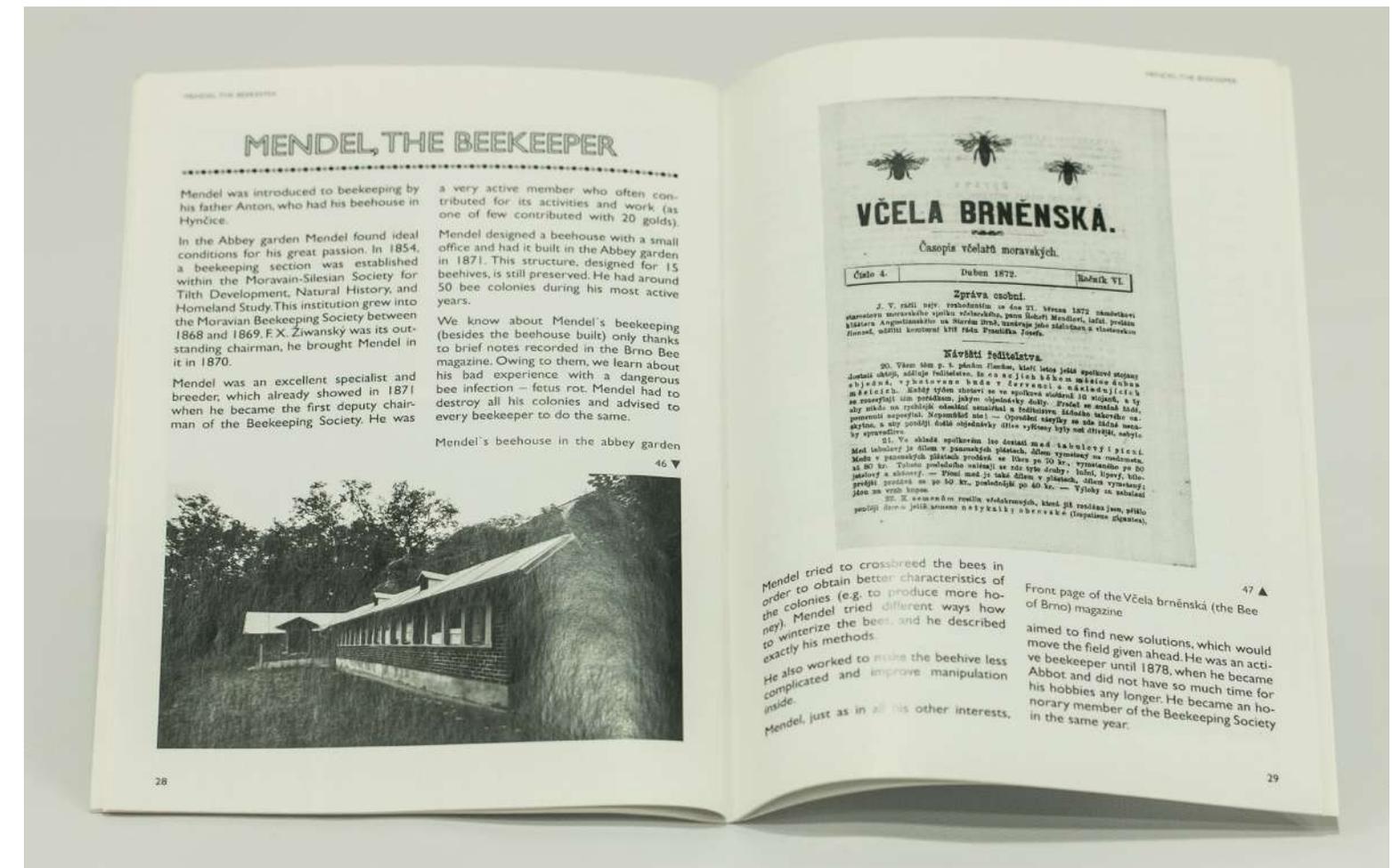


Pieza 16.- Reproducción de pedido de semillas, manuscrito por Mendel, de alguno de los géneros de plantas con los que investigó (Fuente: Schwarzbach, E. et al. (2014), *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 50(2):43-51).

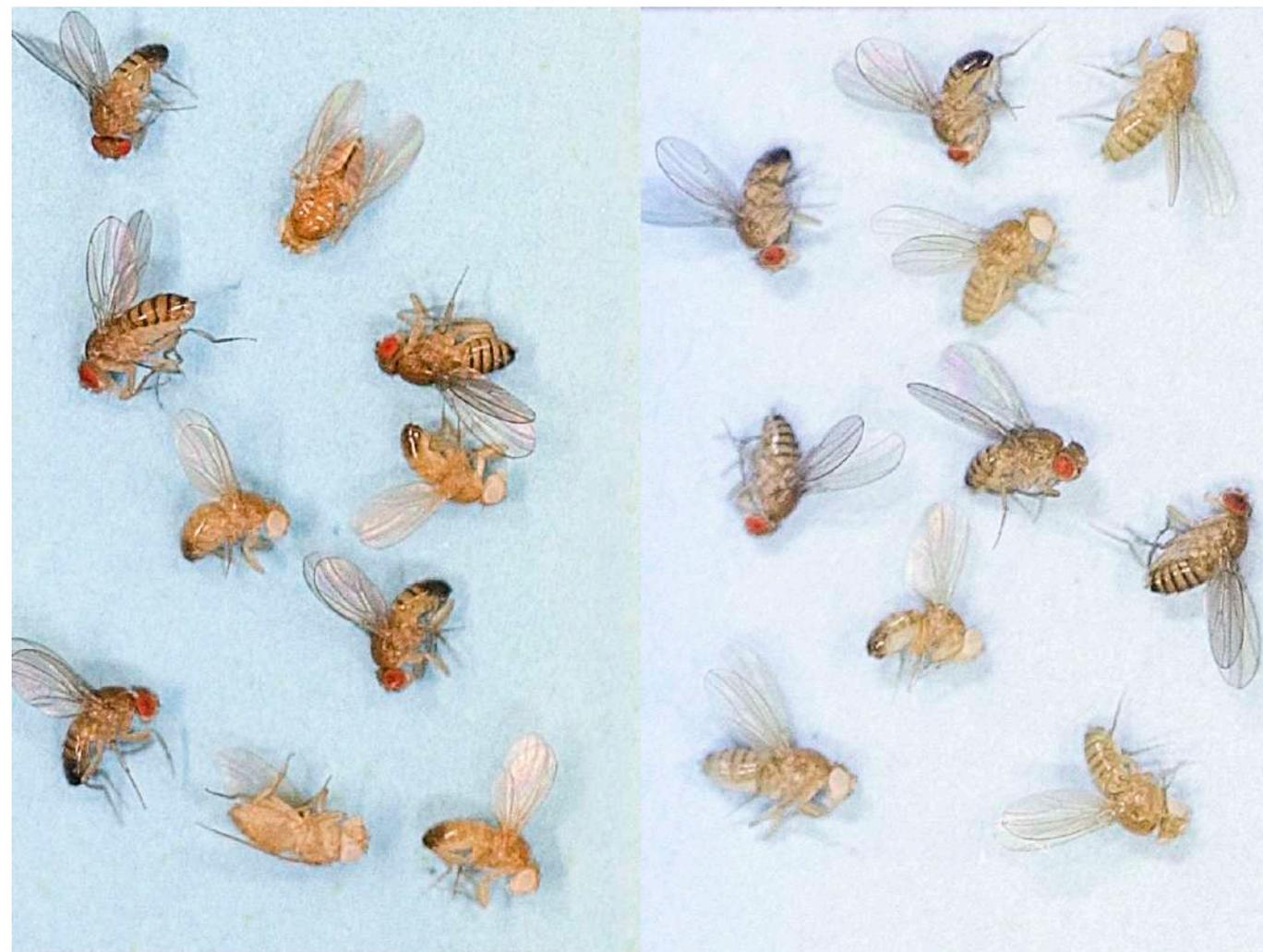
Pieza 17.- Mutantes de maíz para el fenotipo color de grano.



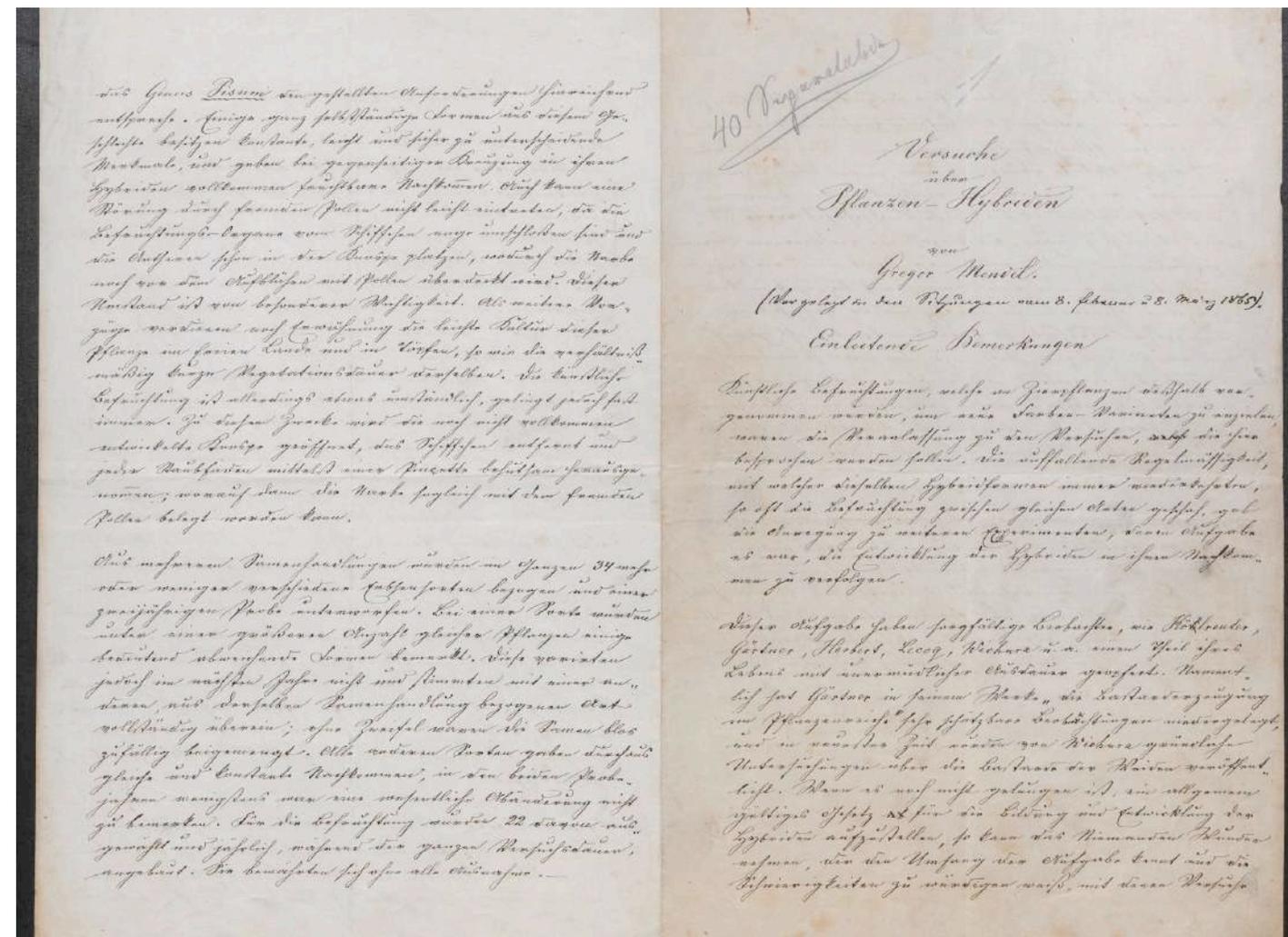
Pieza 18.- Ejemplares de *Apis spp.*, (cód. 20436-CG, 20437-CG, 20438-CG), uno de los modelos animales con los que trabajó Mendel.



Pieza 19.- Catálogo del Museo Mendel de Brno en el que se muestra una de sus publicaciones en abejas.



Pieza 20.- Ejemplares de *Drosophila melanogaster* con fenotipos salvaje y white.



Pieza 21.- Reproducción del documento escrito por Gregor Mendel en cuidada letra *Kurrent*, una antigua forma de caligrafía alemana, que resume los trabajos llevados a cabo durante años en guisantes y otras plantas. Desde el año 2017, esta pieza, considerada como una *Mona Lisa* de la genética, se encuentra en exposición en su lugar original, la abadía de Santo Tomás de Brno.

ACN0355/003
M. Bolivar Grenade
28 Mars, 1895
L. JOHN COLLEGE, CAMBRIDGE

Mon cher professeur!

Je vous remercie avec empressement pour votre bonté en m'envoyant cette lettre pour M. Camara - mais, à la fin, il m'a paru que puis que mon séjour en Espagne cette année est si court, je ferai mieux de ne pas aller à Lanjaron, et de le remettre au futur.

Il faut choisir entre

2

Lanjaron et L'Escorial, et à cause de plusieurs considérations je ^{me} décide pour L'Escorial, où je ne rendrai la semaine prochaine. Je suis fâché que je vous ai donné la peine de me donner d'écrire à M. Camara, puis que je ne peux pas m'en profiter - Aussi je suis attristé que ~~je ne~~ qu'il me n'est pas possible de chercher des

Orthoptères à votre égard. 3

Quant au Gonioctena j'ai très bien réussi, et j'ai déjà ramassé assez pour faire la statistique dont j'ai besoin mais à Jaen j'ai manqué de trouver l'Iris que mon collègue à Cambridge m'a commandé de lui chercher.

Après Monsieur Bolivar me, remerciements bien dévoués.

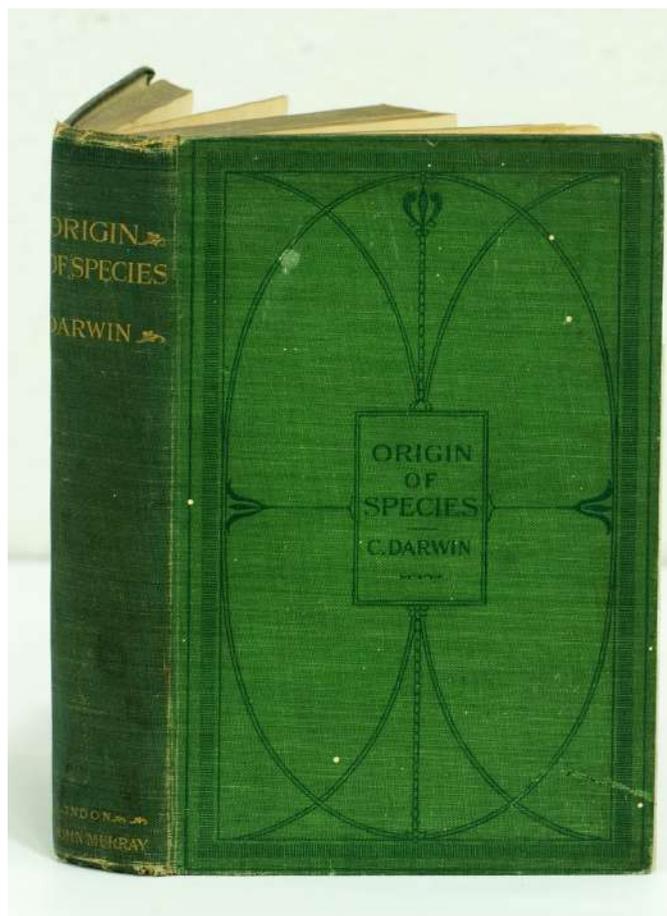
W. Bateson

Pieza 22.- Reproducción de la carta de William Bateson, fechada en 1895 y remitida desde Granada, al entonces director del Museo de Ciencias Naturales de Madrid, Ignacio Bolívar. En ella, Bateson agradece a Bolívar sus esfuerzos por ponerle en contacto con un investigador granadino, al tiempo que le informa de sus propósitos y de las colectas realizadas (Fuente: Archivo MNCN-CSIC ACN0355/003).

(Transcripción y traducción realizadas por Rafael Navajas Pérez)

Mon cher professeur,
Je vous remercie avec empressement pour votre bonté en m'envoyant cette lettre pour M. Camara. Mais, à la fin, il m'a paru que puis que mon séjour en Espagne cette année est si court, je ferai mieux de ne pas aller à Lanjaron, et de le remettre au futur.
Il faut choisir entre Lanjaron et L'Escorial, et à cause de plusieurs considérations je me décide pour L'Escorial où je me rendrai la semaine prochaine. Je suis fâché que je vous ai donné la peine d'écrire à M. Camara puis que je ne peux pas m'en profiter. Aussi je suis attristé qu'il me n'est pas possible de chercher des Orthoptères à votre égard.
Quant au Gonioctena j'ai très bien réussi, et j'en ai déjà ramassé assez pour faire la statistique donc j'ai besoin mais à Jaen j'ai manqué de trouver l'iris que mon collègue à Cambridge m'a commandé de lui chercher.
Agréez Monsieur Bolivar mes remerciements bien dévoués.
W. Bateson

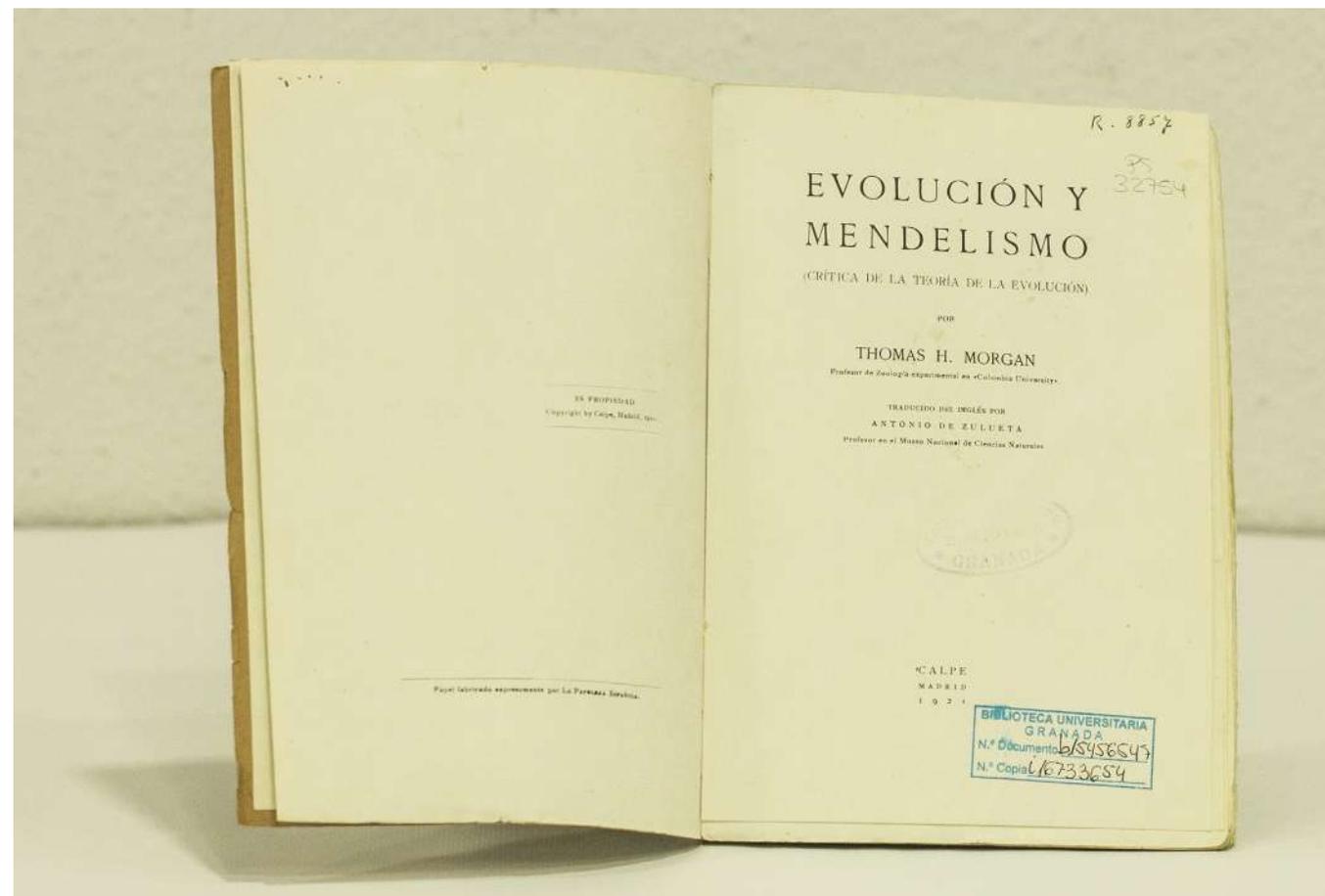
Mi querido profesor,
Le agradezco con cariño que amablemente me haya puesto en contacto con M. Cámara. No obstante, finalmente, creo que como mi estancia en España va a ser muy corta este año, sería mejor dejar la visita a Lanjarón para otro momento.
Hay que elegir entre Lanjarón y El Escorial y, teniendo en cuenta múltiples consideraciones, me decanto por El Escorial, hacia donde me dirigirá la semana que viene. Siento haberlo hecho escribir a M. Cámara para nada. También, lamento no poder ir a buscar los ortópteros que usted me había pedido.
En lo que respecta a Gonioctena, todo ha sido un éxito y he podido recolectar el material suficiente que necesitaba para terminar mis cálculos estadísticos. Sin embargo, en Jaén, no he podido encontrar el iris que mi colega de Cambridge me había encargado recolectar.
Muchas gracias, señor Bolívar, con mis mejores deseos
W. Bateson



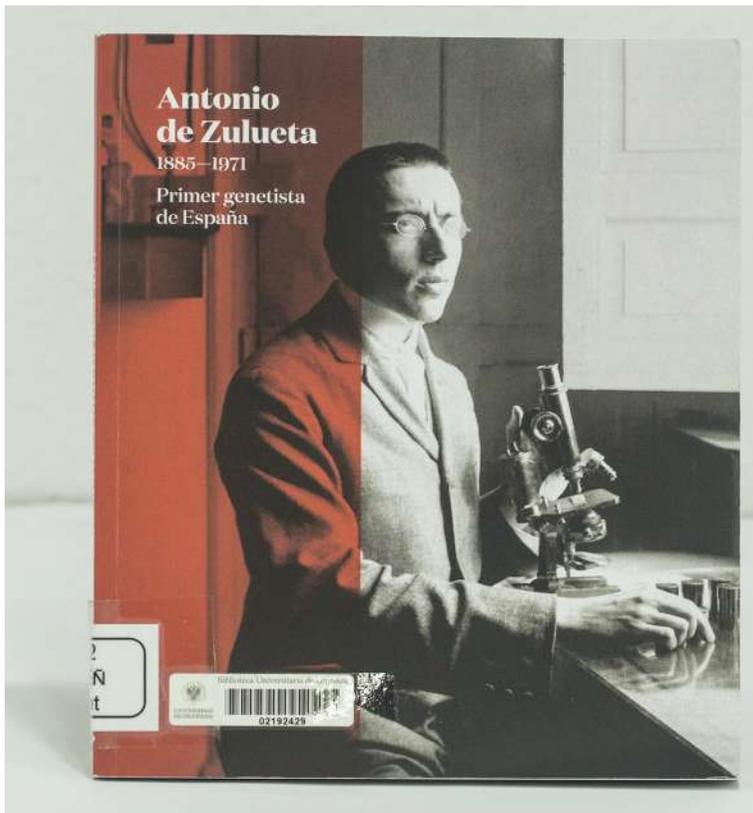
Pieza 23.- Libro *The origin of species*. Charles Darwin. Londres: J. Murray (ed.), 1900 (6ª edición).



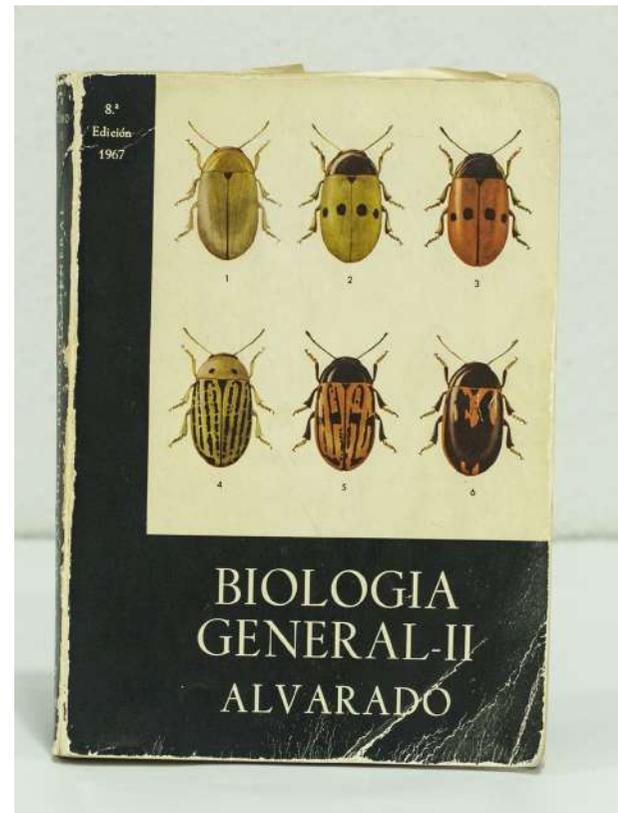
Pieza 24.- Libro *El origen de las especies por medio de la selección natural*. C. Darwin. Traducido del inglés por Antonio de Zulueta. Madrid: Calpe, 1921.



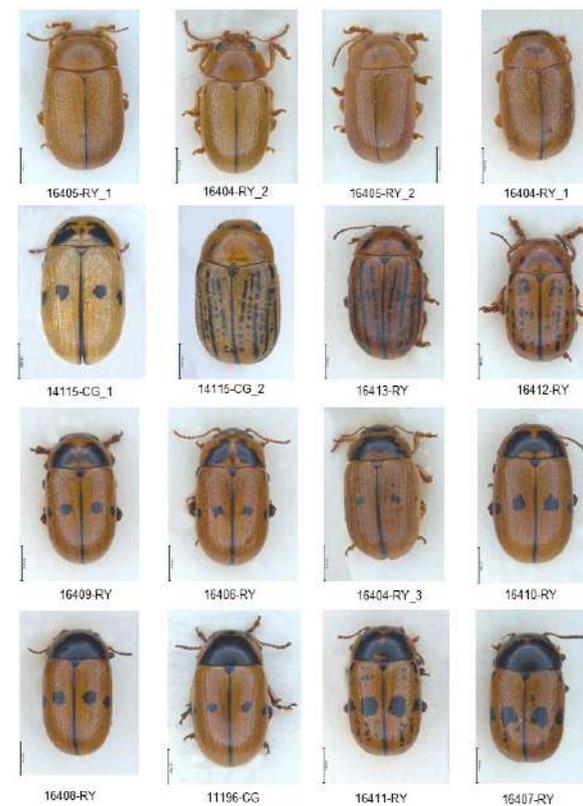
Pieza 25.- Libro *Evolución y mendelismo: (crítica de la teoría de la evolución)*. Thomas H. Morgan. Traducido del inglés por Antonio de Zulueta. Madrid: Calpe, 1921.



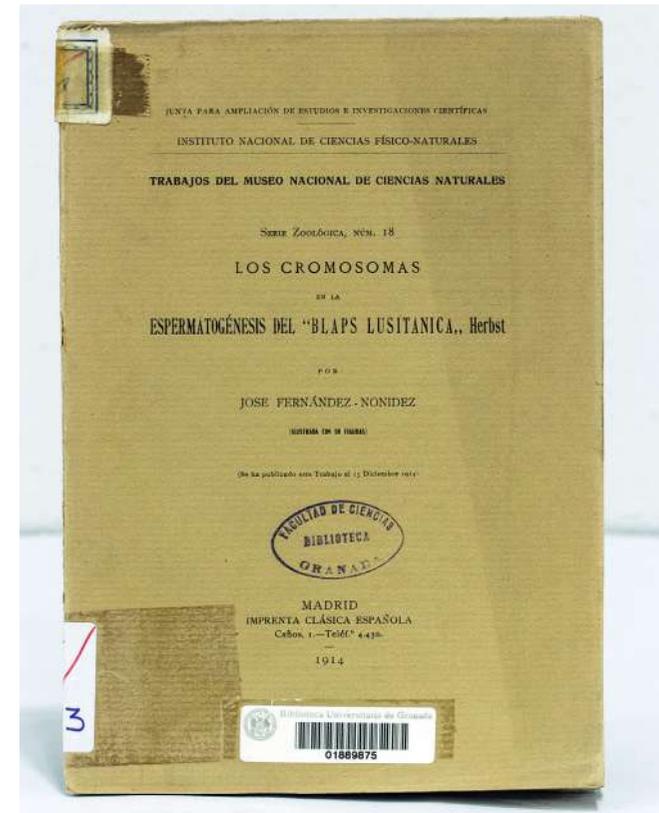
Pieza 26.- Libro *Antonio de Zulueta, 1885-1971. Primer genetista de España*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2022.



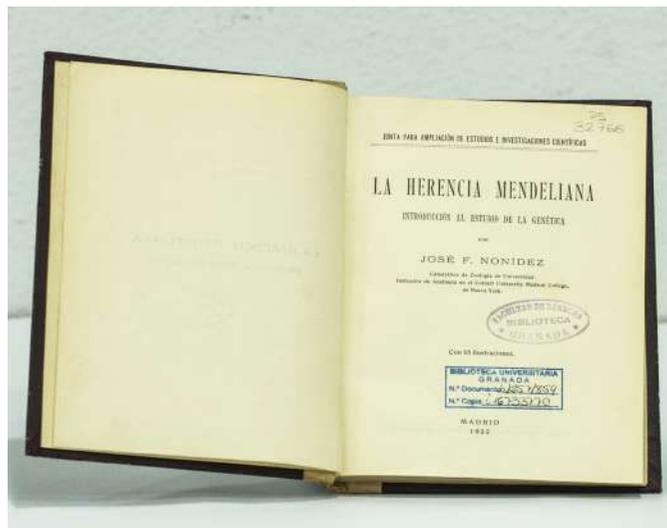
Pieza 27.- Libro *Biología General* (tomo II). S. Alvarado. Madrid: AGESA (8ª edición), 1967. Portada con ejemplares de *Phytodecta* de diferentes fenotipos.



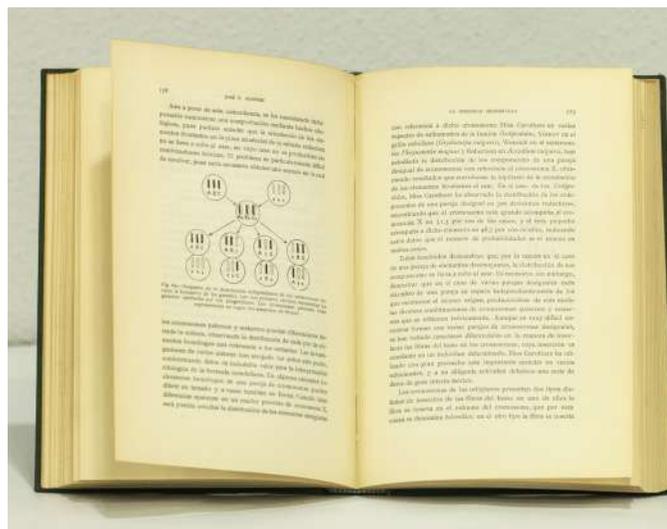
Pieza 28.- Ejemplares de *Gonioctena variabilis* (syn. *Phytodecta variabilis*) (cód. 16405-RY_1, 16404-RY_2, 16405-RY_2, 16404-RY_1, 14115-CG_1, 14115-CG_2, 16413-RY, 16412-RY, 16409-RY, 16406-RY, 16404-RY_3, 16410-RY, 16408-RY, 11196-CG, 16411-RY, 16407-RY) organismo modelo con el que trabajó Zulueta, entre otros.



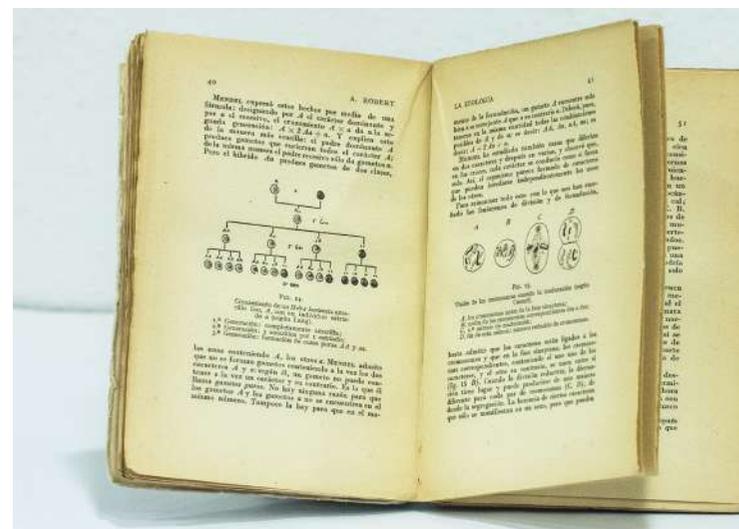
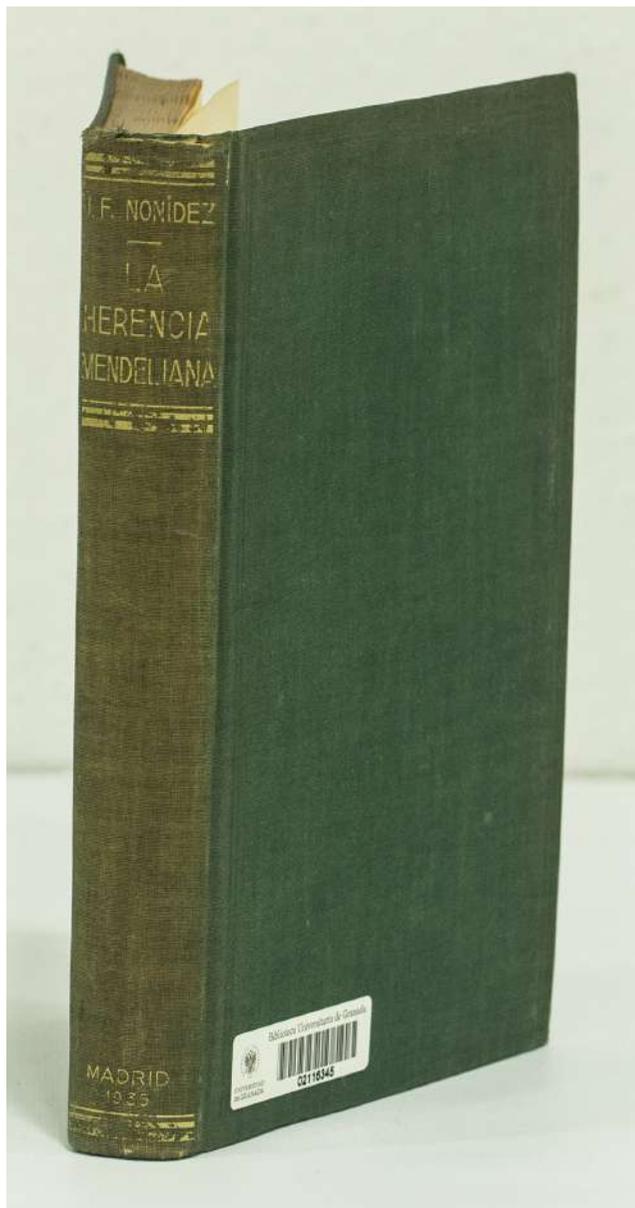
Pieza 29.- Libro *Los cromosomas en la espermatogénesis del Blaps Lusitanica Herbst*. José Fernández-Nonidez. Madrid: Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, 1914.



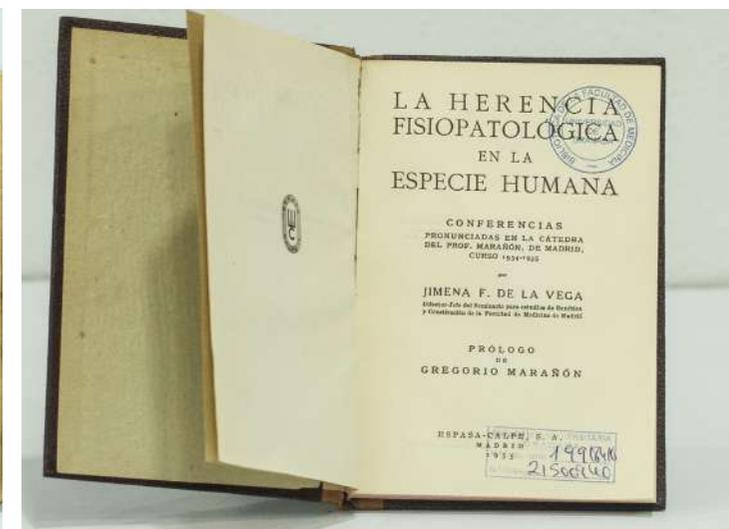
Pieza 30.- Libro *La herencia mendeliana: introducción al estudio de la Genética*. José F. Nonidez. Madrid: Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, 1922. Esta publicación puede considerarse como la primera mención del mendelismo en España.



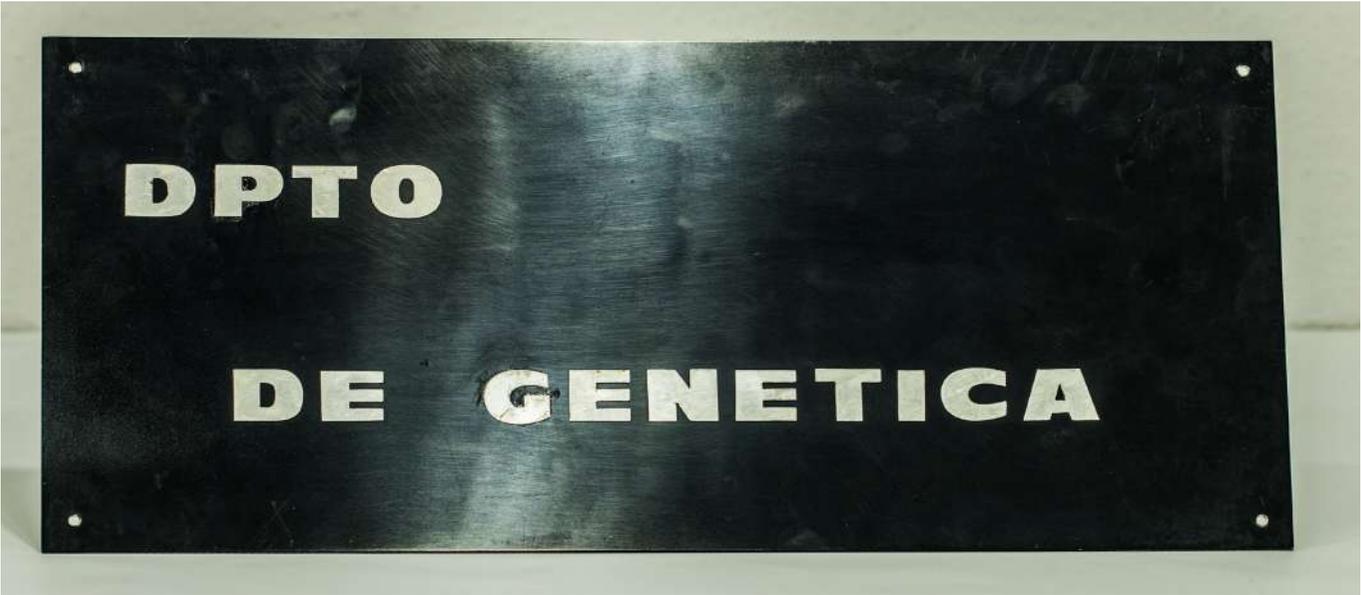
Pieza 31.- Libro *La herencia mendeliana: introducción al estudio de la Genética*. José F. Nonidez. Madrid: Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, 1935. Versión ampliada.



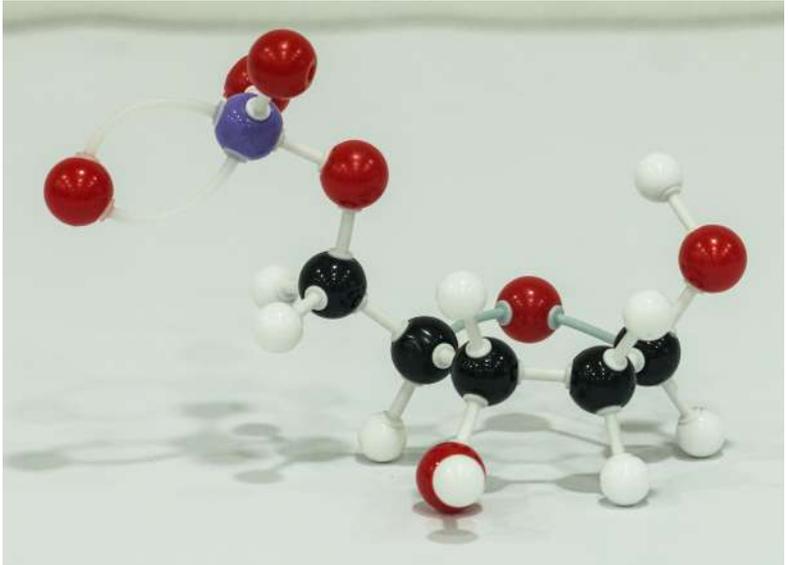
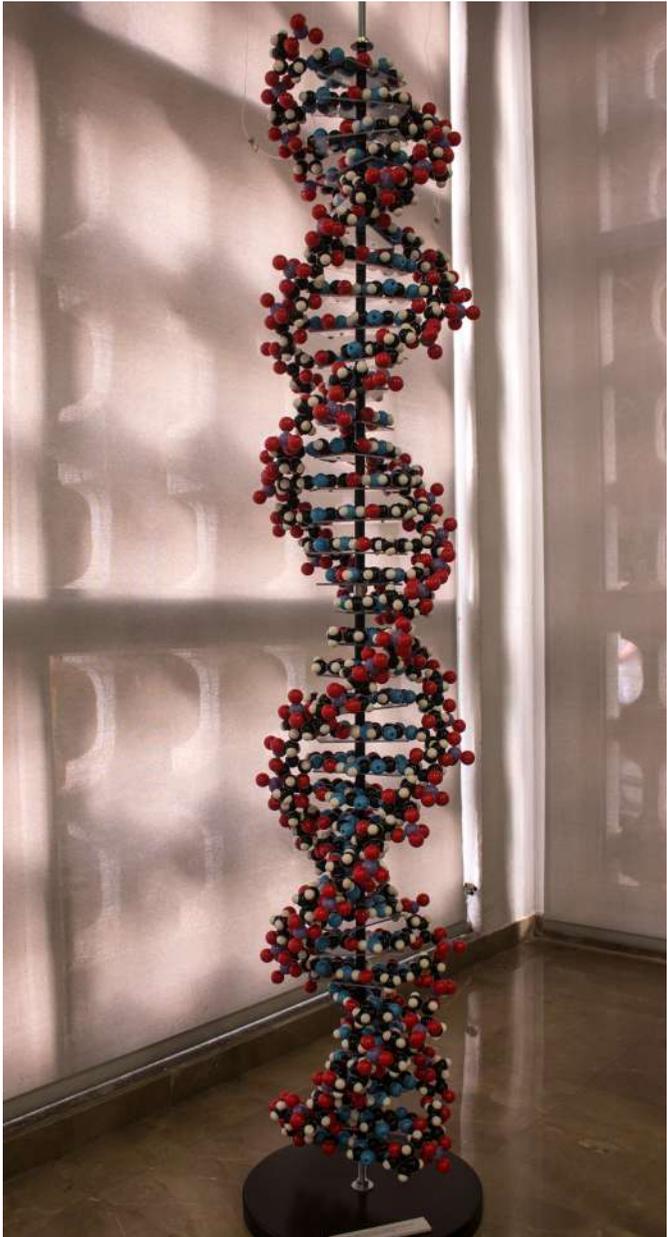
Pieza 32.- Libro *La Zoología*. A. Robert. Madrid: Ediciones Mercurio, 1926. Otra de las primeras menciones al mendelismo en España.



Pieza 33.- Libro *La herencia fisiopatológica en la especie humana: conferencias pronunciadas en la cátedra del profesor Marañón*, de Madrid, curso 1934-1935. Jimena F. de la Vega; prólogo de Gregorio Marañón. Madrid: Espasa Calpe, 1935. Jimena puede considerarse una de las primeras genetistas españolas. Fue médica del balneario de Lanjarón hasta su jubilación.



Pieza 34.- Antiguo cartel de ingreso al Departamento de Genética de la Universidad de Granada, constituido en los años 60.



Pieza 36.- Modelo molecular de una desoxirribosa con un grupo fosfato.

Pieza 35.- Modelo molecular de la estructura en doble hélice del ADN. La serie *Big Bang Theory* popularizó este mismo modelo.



We wish to thank Prof. J. T. Randall for encouragement; Prof. E. Chargaff, R. Signer, J. A. V. Butler and Drs. J. D. Watson, J. D. Smith, L. Hamilton, J. C. White and G. R. Wyatt for supplying material without which this work would have been impossible; also Drs. J. D. Watson and Mr. F. H. C. Crick for stimulation, and our colleagues H. E. Franklin, R. G. Gosling, G. L. Brown and W. E. Scales for discussion. One of us (H. B. W.) wishes to acknowledge the award of a University of Wales Fellowship.

M. H. F. WILKINS
Medical Research Council Biophysics Research Unit,
A. R. STOKES
H. B. WILSON
Wheatstone Physics Laboratory,
King's College, London,
April 2.

- Anthony, W. T., *Proc. Roy. Soc. Lond. Ser. A*, **181**, 1 (1942).
Bilby, D. P., and Oster, G., *Biophys. J.*, **7**, 525 (1961).
Wilkins, M. H. F., Gosling, R. G., and Stokes, A. R., *Nature*, **167**, 772 (1951).
Anthony, W. T., and Bell, F. G., *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.*, **10**, 103 (1945).
Cochran, W., Crick, F. H. C., and Vand, V., *Adv. Cryst. & Mol. Phys.*, **5**, 181 (1952).
Wilkins, M. H. F., and Bernal, J. T., *Discuss. Faraday Soc.*, **18**, 192 (1953).

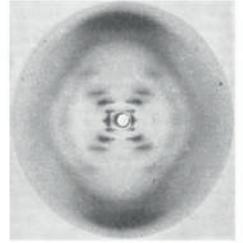
Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate

SOME sodium thymonucleate fibres give two distinct types of X-ray diagram. The first corresponds to a crystalline form, structure A, obtained at about 75 per cent relative humidity; a study of this is described in detail elsewhere*. At higher humidities a different structure, structure B, showing a lower degree of order, appears and persists over a wide range of ambient humidity. The change from A to B is reversible. The water content of structure B fibres which undergo this reversible change may vary from 40-50 per cent to several hundred per cent of the dry weight. Moreover, some fibres never show structure A, and in these structure B can be obtained with an even lower water content.

The X-ray diagram of structure B (see photograph) shows in striking manner the features characteristic of helical structures, first worked out in this laboratory by Stokes (unpublished) and by Crick, Cochran and Vand†. Stokes and Wilkins were the first to propose such structures for nucleic acid as a result of direct studies of nucleic acid fibres, although a helical structure had been previously suggested by Furlberg (thesis, London, 1949) on the basis of X-ray studies of nucleosides and nucleotides.

While the X-ray evidence cannot, at present, be taken as direct proof that the structure is helical, other considerations discussed below make the existence of a helical structure highly probable.

Structure B is derived from the crystalline structure A when the sodium thymonucleate fibres take up quantities of water in excess of about 40 per cent of their weight. The change is accompanied by an increase of about 30 per cent in the length of the fibre, and by a substantial re-arrangement of the molecule. It therefore seems reasonable to suppose that in structure B the structural units of sodium thymonucleate (molecules or groups of molecules) are relatively free from the influence of neighbouring



Sodium deoxyribose nucleate from calf thymus. Structure B

molecules, each unit being shielded by a sheath of water. Each unit is then free to take up its least-energy configuration independently of its neighbours and, in view of the nature of the long-chain molecules involved, it is highly likely that the general form will be helical*. If we adopt the hypothesis of a helical structure, it is immediately possible, from the X-ray diagram of structure B, to make certain deductions as to the nature and dimensions of the helix.

The innermost maxima on the first, second, third and fifth layer lines lie approximately on straight lines radiating from the origin. For a smooth single-strand helix the structure factor on the nth layer line is given by:

F_n = J_n(2πrB) exp i n(ψ + 1/2π)

where J_n(x) is the nth-order Bessel function of x, r is the radius of the helix, and B and ψ are the radial and azimuthal co-ordinates in reciprocal space; this expression leads to an approximately linear array of intensity maxima of the type observed, corresponding to the first maxima in the functions J_1, J_2, J_3, etc.

If, instead of a smooth helix, we consider a series of residues equally spaced along the helix, the transform in the general case treated by Crick, Cochran and Vand is more complicated. But if there is a whole number, m, of residues per turn, the form of the transform is as for a smooth helix with the addition, only, of the same pattern repeated with its origin at heights mτ, 2mτ, ... etc. (τ is the fibre-axis period).

In the present case the fibre-axis period is 34 Å, and the very strong reflexion at 3.4 Å lies on the tenth layer line. Moreover, lines of maxima radiating from the 3.4-Å reflexion as from the origin are visible on the fifth and lower layer lines, having a J_5 maximum coincident with that of the origin series on the fifth layer line. (The strong outer streaks which apparently radiate from the 3.4-Å maximum are not, however, so easily explained.) This suggests strongly that there are exactly 10 residues per turn of the helix. If this is so, then from a measurement of B, the position of the first maximum on the nth layer line (for n < 5), the radius of the helix, can be obtained. In the present instance, measurements of B_1, B_2, B_3 and B_4 all lead to values of r of about 10 Å.

MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey*. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons: (1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.

Another three-chain structure has also been suggested by Fresser (in the press). In his model the phosphates are on the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather ill-defined, and for this reason we shall not comment on it.

We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). We have made the usual chemical assumptions, namely, that each chain consists of phosphate di-ester groups joining β-D-deoxy-ribofuranose residues with 2',3' linkages. The two chains (but not their bases) are related by a dyad perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the dyad the sequences of the atoms in the two chains run in opposite directions. Each chain loosely resembles Furlberg's model No. 1; that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furlberg's 'standard configuration', the sugar being roughly perpendicular to the attached base. There



The figure is a perspective diagrammatic representation of the two chains and the helical axis. The phosphate-sugar linkages and the helical axis are shown in the foreground. The vertical line marks the fibre axis.

is a residue on each chain every 3.4 Å, in the z-direction. We have assumed an angle of 36° between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and its water content is rather high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1; purine position 6 to pyrimidine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms (that is, with the keto rather than the enol configuration) it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

It has been found experimentally** that the ratio of the amounts of adenine to thymine, and the ratio of guanine to cytosine, are always very close to unity for deoxyribose nucleic acid.

It is probably impossible to build this structure with a ribose sugar in place of the deoxyribose, as the extra oxygen atom would make too close a van der Waals contact.

The previously published X-ray data** on deoxyribose nucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it must be regarded as unproved until it has been checked against more exact results. Some of these are given in the following communications. We were not aware of the details of the results presented there when we devised our structure, which rests mainly though not entirely on published experimental data and stereochemical arguments.

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material. Full details of the structure, including the conditions assumed in building it, together with a set of co-ordinates for the atoms, will be published elsewhere.

We are much indebted to Dr. Jerry Donohue for constant advice and criticism, especially on interatomic distances. We have also been stimulated by a knowledge of the general nature of the unpublished experimental results and ideas of Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. R. E. Franklin and their co-workers at



Nuclear fission
Five-dimensional energy landscapes
Seafloor spreading
The view from under the Arctic ice
Career prospects
Sequence creates new opportunities

naturejobs
genomics special



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

Pieza 37.- Artículos de abril de 1953, publicados en la revista Nature. En ellos, Watson, Crick, Wilkins y Franklin, junto con sus colaboradores Stokes, Wilson y Gosling, describen la estructura de la doble hélice de ADN.

Pieza 38.- Portadas de las revistas Nature y Science en 2001 con las publicaciones de la secuenciación del genoma humano.



Pieza 39.- La evolución de los métodos de secuenciación: primeras técnicas basadas en electroforesis en geles de acrilamida y marcaje con fósforo radioactivo (P32). Resultado de autorradiografía usando el método de Sanger y posterior interpretación manual (años 80) (izquierda), y secuenciación MinION: secuenciador de bolsillo de última generación que secuencia directamente las moléculas de ADN haciéndolas pasar a través de nanoporos (actualidad) (derecha).



Pieza 40.- Instrumental usado en un laboratorio de genética para estudios del ADN a nivel molecular: termociclador (para la realización de reacciones de PCR), cubetas y fuente de alimentación (para electroforesis), micropipetas, entre otros.

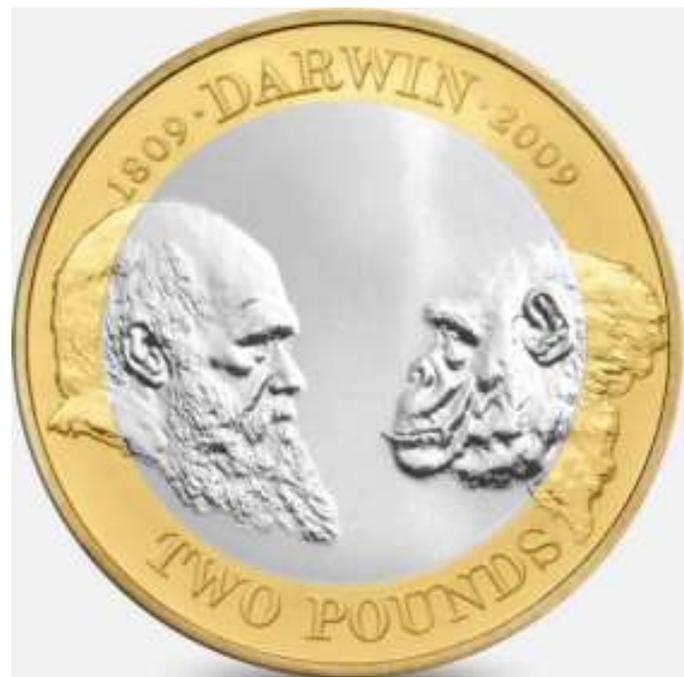


Pieza 41.- Todos los sellos emitidos hasta la actualidad en honor a Gregor Mendel por: (de izquierda a derecha y de arriba a abajo) Danzig, Las Maldivas, Uganda, Islas Marshall, Checoslovaquia, Portugal, República Checa, Transkei, El Vaticano, Alemania y Austria.



Pieza 41.- (continuación, de arriba a abajo y de izquierda a derecha) Yibuti y República del Chad (estas dos últimas series pertenecen a sellos cinderella), y Alemania y Corea del Sur (estas dos últimas piezas emitidas en conmemoración del bicentenario del nacimiento de Mendel).





Pieza 42.- Monedas de 2 libras esterlinas emitidas por el Reino Unido para conmemorar el 50 aniversario del descubrimiento de la doble hélice de ADN y el bicentenario del nacimiento de Darwin.



Pieza 43.- Monedas de 10 y 200 coronas emitidas por la República Checa en honor a la ciudad de Brno y al bicentenario del nacimiento de Mendel, respectivamente.

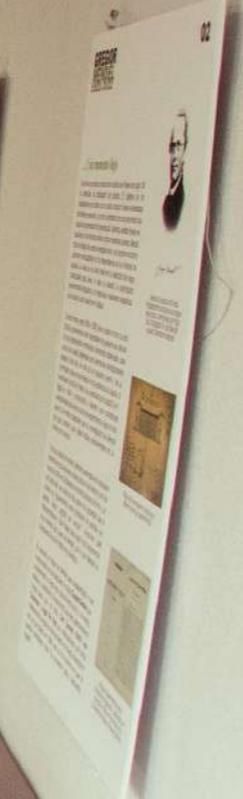
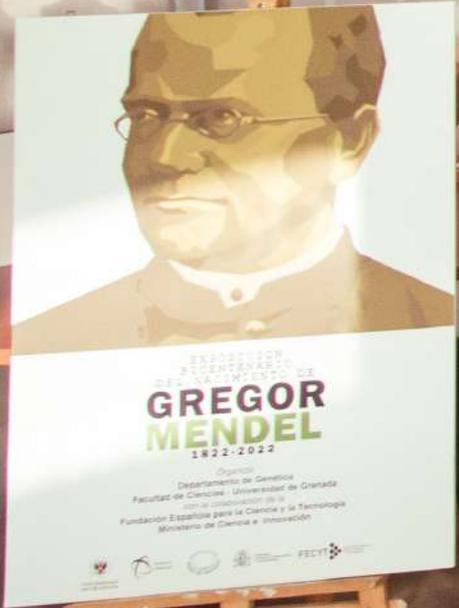




Pieza 44.- Memorabilia y juegos didácticos mendelianos.



Pieza 45.- Bocetos originales realizados por el dibujante José Luis Prats (Ozelu) para ilustrar el libro conmemorativo del bicentenario del nacimiento de Mendel: *La herencia del mendelismo: la genética 200 años después del nacimiento de Gregor Mendel* (Editorial de Universidad de Granada).





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



UNIVERSIDAD
DE GRANADA