

## Gregor Johann Mendel: un científico que se adelantó a su tiempo

Francisca Vaquero Rodrigo y F. Javier Vences Benito.  
Profesores jubilados, Área de Genética, Dpto. Biología Molecular, Univ. de León.  
E-24071, León.

### El ambiente social y cultural que rodeaba a Mendel

Johann Mendel (**Fig. 1**) nació en el seno de una familia de campesinos en Hynčice, un pequeño pueblo de la región de Moravia-Silesia perteneciente a la actual República Checa, que en aquel entonces era una provincia del Imperio de los Habsburgo. Tomó posteriormente el nombre de Gregor cuando ingresó en el monasterio de Brno.

Él siempre indicó que había nacido el 22 de julio de 1822, fecha que ha sido aceptada por algunos de sus biógrafos, aunque en los registros bautismales de la iglesia del pueblo aparece el día 20 de julio como su fecha de nacimiento, fecha que también es la que consta actualmente en el Museo de Mendel. Tenía dos hermanas, Verónica un par de años mayor y Theresa siete años menor que él. La familia también tuvo un par de gemelos que murieron poco después de nacer. Así que, siendo el único hijo varón, se esperaba que ayudara en la granja desde joven y siguiera la tradición ocupándose de las labores de su padre cuando éste se retirase. Pero en realidad las cosas fueron por otra vía bastante distinta, tanto por las capacidades de Mendel, como, probablemente, por las circunstancias socioculturales de la zona en la que creció.

El padre de Mendel se llamaba Anton, había sido marino de la armada austriaca, por lo que pudo conocer otras tierras y otros modos de vida, lo que probablemente le proporcionó útiles experiencias para sus labores agrícolas en su pequeña granja. Se casó con la hija de un jardinero, y esto posiblemente ayudó también a despertar el interés de Mendel por las plantas. Alrededor de su casa tenían un jardín donde cultivaban árboles frutales y colmenas, a las que conservó afición durante toda su vida.

El pueblo de Mendel formaba parte de las propiedades de una condesa que se esforzaba por mejorar la educación de los que vivían y trabajaban en sus tierras. Consideraba la educación como una parte esencial del desarrollo económico, cultural y social, y fundó una institución de enseñanza privada en la que ordenaba que fueran admitidos todos los jóvenes, de ambos sexos, que destacaran por su talento.



**Figura 1.** Gregor Mendel (1822-1884).

Aunque la escuela al inicio fue muy bien acogida por las autoridades provinciales, en momentos posteriores fue tachada de excesivamente liberal y llegó a cerrarse, pero la idea de que la educación era valiosa ya estaba sembrada en los pueblos de la zona y los habitantes del pueblo de Mendel estaban interesados en que sus hijos recibieran educación. Antes de 1800 ya habían construido una escuela y los niños recibían formación de acuerdo a sus edades.

La condesa también propició que los campesinos dispusieran de árboles frutales de nuevas variedades que crecían en un vivero, fundado por un maestro de la escuela, quien también dirigía la recogida de miles de semillas que luego eran sembradas para producir plántulas y seleccionar y cultivar las mejores. En Brno, otra población cercana, también se había constituido la Asociación Pomológica en la que este profesor era miembro fundador. En sus reuniones se discutían los procedimientos que resultaban eficaces en la mejora de árboles frutales. Anton Mendel fue uno de los campesinos que recibió estos injertos de las mejores variedades de frutales de la condesa, y su hijo Johann fue instruido en técnicas básicas de mejora de frutales.

Los profesores de la escuela contactaban con los padres de los alumnos que destacaban, para propiciar que siguieran estudiando. Esto es lo que sucedió con Mendel, y lo enviaron a un centro de Escolapios a más de 20 kilómetros, para comprobar si estaba capacitado para llevar a cabo estudios superiores. Allí cursó un año y comprobaron que las expectativas de los profesores podían cumplirse. De este modo al año siguiente fue trasladado a estudiar al Instituto de Opava, un centro para los alumnos más capacitados, y que estaba algo más lejos. Tenía entonces 12 años. Esta decisión no fue fácil para sus padres, que no contaban con lo suficiente para poder mantenerlo lejos de casa. Mendel ayudaba económicamente a su manutención dando clases particulares a sus compañeros menos dotados, pero él mismo describe que pasó unos años difíciles.

Permaneció durante seis años en ese instituto en Opava, y posteriormente otros dos en Olomouc para estudiar filosofía, requisito para ingresar en la Universidad. Entonces los estudios no se organizaban como los actuales, sino que abarcaban campos mucho más extensos y diversos. Por ejemplo, la filosofía y la ciencia se estudiaban en paralelo. En la Universidad de Olomouc Mendel asistió a clases de ética, filosofía, matemáticas y física entre otras disciplinas.

### **El monje científico ¿o viceversa?**

En 1843 Johann Mendel, con veintiún años, ingresó como novicio en el monasterio agustino de Santo Tomás de Brno, adoptando el nombre de Gregor. En alguno de sus escritos manifiesta que su vocación religiosa no fue muy determinante, pero que las circunstancias de su vida y el poder tener una manutención más fácil fueron importantes desencadenantes de su decisión.

El monasterio de Brno se había fundado a mediados del siglo XIV. Tuvo durante mucho tiempo poder e influencia pública, así como privilegios sociales. Se abastecía casi a modo feudal, gracias a una serie de poblados que se le habían asignado. Tenía una gran biblioteca y con el tiempo se prestó allí gran atención a los estudios de teología y filosofía.

Entre finales del siglo XVIII y principios del XIX diversos cambios políticos obligaron a los monjes a servir tanto a la Iglesia como al estado, trabajando en las parroquias, los hospitales y las escuelas, y muchos monasterios fueron clausurados. El monasterio de Brno tuvo también serios problemas económicos, hubo de trasladarse a un edificio cisterciense, pobre y en malas condiciones. Los monjes estaban obligados a enseñar matemáticas y estudios bíblicos en los institutos de filosofía y de teología de Brno, labor para la que no estaban preparados, por lo que se comenzó la búsqueda de jóvenes interesados en llegar a ser profesores y, para evitar tener que pagar a expertos externos, se tendió a nombrar como nuevo abad a alguien con suficiente preparación académica, lo que a su vez repercutía en el desarrollo científico de los monjes, que participaban e incluso organizaban reuniones y congresos científicos.

En la época del nacimiento de Mendel el abad procedía de la Universidad de Olomouc. Se había propuesto modernizar la producción de las granjas del monasterio y, aconsejado por expertos profesores de ciencias agrícolas, introdujo la rotación de cultivos, la producción de forrajes y la mejora de ganado ovino para producir lana. También estableció viveros de árboles frutales y publicó resultados de sus trabajos. Llegó a ser elegido presidente de la Sociedad Pomológica y también se relacionó con la Asociación de Mejoradores de ovino.

Cuando Mendel ingresó en el monasterio los novicios estaban a cargo de uno de los miembros de la Sociedad Pomológica y enseguida pudo entrar en contacto con personas interesadas en aspectos científicos diversos. Otros monjes del monasterio también se interesaban por el progreso científico y publicaban artículos. Ya había en el monasterio también un pequeño huerto experimental y un herbario que Mendel pudo más adelante utilizar en sus trabajos.

Estas actividades no siempre fueron fáciles. En los años en los que Mendel debía de estar iniciando sus estudios el obispo solicitó a Roma la disolución del monasterio, porque en su opinión se prestaba más atención a la ciencia que a las obligaciones espirituales. Afortunadamente el abad pudo defender el monasterio y mantener la investigación de los monjes. Debían cumplir con sus obligaciones, en la parroquia o como profesores, pero podían utilizar el tiempo restante en sus estudios particulares. Para ello disponían de una buena biblioteca, en la que Mendel estudiaba, tanto las materias obligatorias de teología y filosofía, como las de su interés personal, las ciencias naturales y las colecciones botánicas y de minerales. Así mismo continuaba su formación en el Instituto de Filosofía de Brno donde, entre otras cosas, aprendió técnicas de polinización artificial.

El abad Napp comprendía que Mendel no estaba demasiado dotado para el trabajo parroquial y lo recomendó para ocupar un puesto de profesor de historia natural. Mendel accedió gustoso, lo ocupó con gran interés, y fue muy bien valorado en el desempeño de su trabajo. Poco tiempo después se hizo obligatorio poseer acreditación para ejercer la enseñanza y Mendel no pudo obtenerla, entre otras cosas porque preparaba el examen sin ninguna ayuda y debía compatibilizarlo con el ejercicio docente. Lo que parecía ser un desastre terminó llevándolo a estudiar ciencias naturales a la Universidad de Viena, enviado por su abad. Allí retomó estudios de física, matemáticas, química, zoología, botánica, fisiología ve-



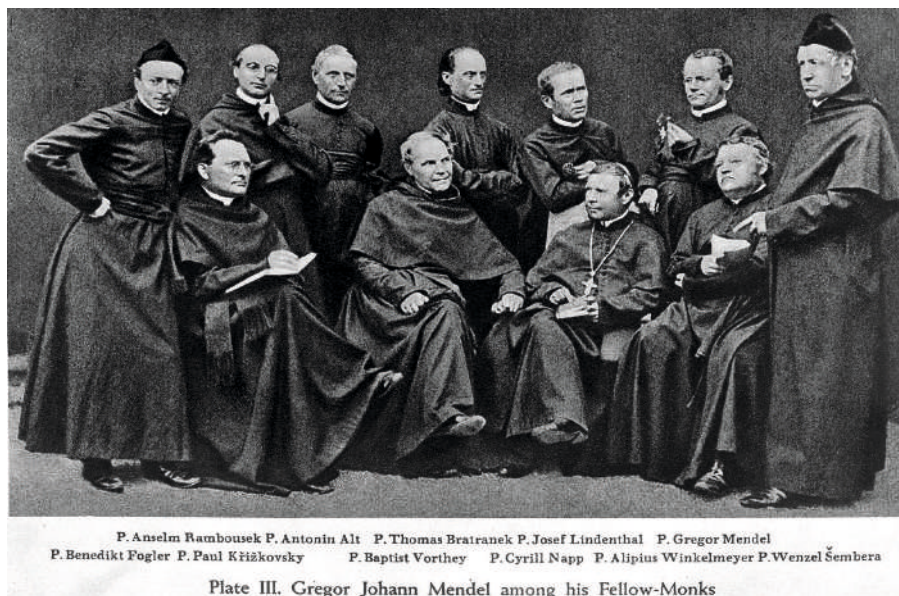
getal y paleontología, lo que indudablemente favoreció que se convirtiera en el descubridor de las leyes de la herencia.

Después de sus estudios en Viena (1853), de vuelta en Brno, debió de centrarse en sus investigaciones sobre plagas del guisante, y aunque no se examinó para titularse como profesor en la escuela de secundaria, ocupó una vacante de profesor de física e historia natural. También entonces fue admitido como miembro de la Sociedad de Agricultura en la Sección de Ciencias Naturales, que se había fundado en 1849, participando en las reuniones de la sociedad en diferentes ámbitos.

Poco después se centraría en los cruzamientos con guisantes, y otras plantas, que le convertirían en el padre de la Genética. Esos experimentos los realizó en aproximadamente diez años, entre 1854 y 1863.

En 1861 Mendel fue socio fundador de la nueva Sociedad de Ciencias Naturales que ya no estaba supeditada a los terratenientes, y tenía como objetivo dedicarse a la “ciencia pura”. El abad del monasterio, miembro honorario de la citada sociedad y siempre preocupado por la ciencia, además de ser un valedor de Mendel, sin duda tuvo influencia en que sus trabajos estuvieran dirigidos hacia el estudio de los híbridos, ya que había expresado en repetidas ocasiones que, tanto en la mejora vegetal como en la mejora ovina, el uso de la hibridación constituía un problema teórico a resolver.

Con los años Mendel llegó a ser elegido abad de su monasterio, cargo que ocupó desde 1868 (**Fig. 2**). Sus obligaciones a partir de entonces le quitaron mucho tiempo para continuar sus experimentos con las plantas. A pesar de todo su interés científico siempre se mantuvo y continuó con algunas de sus aficiones. Fue el caso de la apicultura y la meteorología. Él mismo había diseñado un colmenar para la cría de abejas en el jardín del monasterio, del que se conservan los esquemas de su proyecto. También realizaba mediciones meteorológicas en distintas zonas del monasterio tres veces al día, de las que guardaba un meticuloso registro.



**Figura 2.** Gregor Mendel junto a sus compañeros del monasterio.

Murió el 6 de enero de 1884 y está enterrado en la tumba de los agustinos, en el Cementerio Central de Brno.

### **La genialidad en la sencillez**

La obra de Mendel incluye publicaciones sobre asuntos diversos, tales como meteorología, zoología, particularmente sobre insectos que causaban daños en las plantas, y, por supuesto los experimentos con híbridos de plantas que cambiaron la forma de ver y de pensar en relación a la herencia biológica. Estos experimentos fueron expuestos en dos conferencias en la Sociedad de Ciencias Naturales, en febrero y marzo de 1865, después de las cuales le propusieron publicar el texto. Además, escribió otros 20 artículos menores.

El trabajo de Mendel no fue apreciado durante su vida, y sus notas fueron destruidas a su muerte, por lo que cuando sus descubrimientos vieron la luz en 1900, quedaban pocas fuentes históricas originales y por lo tanto se sabía relativamente poco de él, de su obra y de su manera de pensar. Las principales biografías de Mendel apenas proporcionan algo de información sobre su trabajo en el período crucial de aproximadamente 10 años (1854-1863) durante los que realizó sus experimentos. Realmente los cruzamientos de guisantes, con cuyos datos estableció las leyes de la herencia biológica mediante reproducción sexual, los realizó entre 1856 y 1863, ya que en los años 1854 y 1855 comprobó el material para los diferentes caracteres, tal y como indica en su segunda carta a Nägeli (abril de 1867).

Mendel logró derrocar el paradigma de la herencia que había sido firmemente establecido desde la antigüedad, fundamentalmente basado en criterios de mezcla entre fluidos procedentes de los parentales masculino y femenino. Cualquier naturalista, desde Aristóteles, habría podido realizar el sencillo experimento de Mendel. Pero nadie lo hizo, solo Mendel. Por supuesto, muchos otros naturalistas habían estudiado la hibridación antes que él, y habían obtenido nuevas variedades. Sin embargo, los experimentos de Mendel fueron revolucionarios porque eligió trabajar con líneas puras, porque estudió individualmente cada uno de los caracteres que examinó, y especialmente porque analizó algebraicamente la descendencia de cada generación para cada uno de esos caracteres.



Seguramente todo ello estuvo relacionado con los estudios y las personas con las que mantuvo contacto, la influencia del abad Napp y del resto de monjes interesados en la ciencia, de los otros profesores de la escuela en la que él impartía clases, los contactos a través de la Sociedad de Ciencias Naturales, así como los compañeros y profesores de la Universidad. Uno de sus profesores de la Universidad de Viena había escrito un libro de texto sobre teoría combinatoria que probablemente influyó en que Mendel realizara el análisis numérico de los datos en la forma en que lo hizo.

Antes de Mendel los híbridos se caracterizaban por su aspecto general, mientras que él se centró en caracteres concretos, y esto tuvo una importancia crucial para el desarrollo de sus conclusiones. Mendel fue capaz de reorientar todo lo que era subyacente a su alrededor y organizarlo meticulosamente para llevar a cabo unos experimentos totalmente novedosos en sus planteamientos.

Sus experimentos eran minuciosos, aunque realmente simples, pero sus contemporáneos no fueron capaces de comprender su trascendencia.

Detalla en su publicación cómo elige las plantas y cómo organizó los experimentos. Desde el principio pensó en las leguminosas por su curiosa estructura floral. Tras los experimentos preliminares se decantó por el guisante porque era fácil de cultivar y cumplía los tres requisitos que se fijó para lograr sus objetivos: los guisantes tenían una serie de caracteres que se mostraban constantes y eran fácilmente distinguibles (analizó siete caracteres, cada uno con un par de variantes alternativas), los híbridos eran fértiles y las flores una vez polinizadas podían ser fácilmente protegidas de las polinizaciones cruzadas. Su objetivo era observar cada par de variantes de un carácter y encontrar leyes concordantes con la aparición de esas variantes a lo largo de sucesivas generaciones.

Cada uno de los siete caracteres afectaba a un carácter concreto: al color de las semillas, la forma de las semillas, el color de las flores (que va asociado al color de la cubierta de la semilla), la forma de la vaina, el color de la vaina, la disposición de las flores en la planta y la altura de la planta (**Fig. 3**). Mendel describe meticulosamente estos siete caracteres en su trabajo de 1866.

	Color de la semilla
	Forma de la semilla
	Color de la flor
	Forma de la vaina
	Color de la vaina
	Disposición de las flores
	Altura de la planta

**Figura 3.** Los siete caracteres de Mendel.

Durante los dos años de experimentos preliminares se dedicó a comprobar la constancia de los caracteres en las plantas con las que se proponía trabajar, cosa que no habían hecho otros investigadores que anteriormente estudiaban híbridos. También sabía que solo podría establecer una teoría si usaba un elevado número de plantas, a fin de eliminar los efectos del azar.

Otra de las reglas que se impuso fue ver si la dirección del cruzamiento generaba resultados diferentes en el híbrido, y comprobó que el resultado no variaba, independientemente de que el portador de una variante fuera el polen o el óvulo.

Cuando observó los híbridos, a los que llamó generación  $F_1$ , describió que en algunas ocasiones aparecen formas intermedias de los caracteres, y en otros casos uno de los caracteres parentales era preponderante y el otro no aparecía en los híbridos, y de ahí surgieron los conceptos de dominante y recesivo. Tras

los híbridos obtuvo por autofecundación la siguiente generación,  $F_2$ , y seguidamente del mismo modo la generación  $F_3$ . Y todos estos datos se usaron por primera vez en un análisis numérico, no simplemente descriptivo, lo que le permitió encontrar las proporciones fijas que le llevaron a enunciar su teoría.

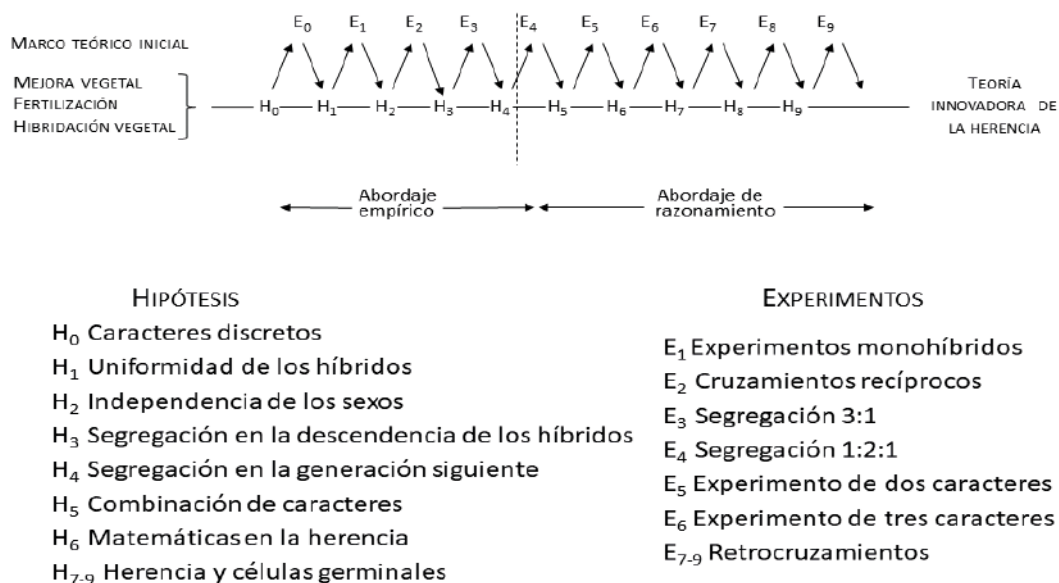
Asimismo, realizó análisis para comprobar si las reglas descritas para los híbridos que diferían en un carácter también eran válidas para los que diferían en

dos o más caracteres. Y de nuevo expuso sus planteamientos y conclusiones desde un análisis numérico.

Es importante darse cuenta de la precisión con la que Mendel predijo varias características fundamentales de los elementos hereditarios. Formuló supuestos clave de la teoría de partículas de la herencia, y luego testó sistemáticamente estos supuestos con los datos obtenidos experimentalmente. Lo más probable es que los supuestos le surgieran por intuición de un científico que ha trabajado en un área durante muchos años. La observación de las variedades de plantas en los jardines y huertos, le había proporcionado un amplio conocimiento de la disponibilidad de variedades de guisantes y la facilidad de su cultivo. La intuición de Mendel se habría desarrollado por la prolija lectura sobre la cuestión de la herencia, y que incluía publicaciones anteriores sobre la mejora y la hibridación de variedades vegetales, y probablemente al final, cuando ya estaba escribiendo su artículo, también la obra de Darwin.

Mendel parte de los conocimientos previos de la época basados en las técnicas de mejora vegetal, fertilización e hibridación, y es capaz de unificar todo ello en sus experimentos, basados también en la hibridación (**Fig. 4**). A medida que fue avanzando, iba planteando nuevas hipótesis y cada una la probaba en sucesivos experimentos, combinando sus antecedentes de mejora vegetal y de hibridación de plantas y sus conocimientos matemáticos de combinatoria y de probabilidad, de modo que pudo explicar las proporciones de los caracteres heredables a lo largo de las generaciones.

La primera y más fundamental suposición de Mendel fue que los elementos de la herencia eran partículas corpusculares sólidas, en lugar de cualquier



**Figura 4.** Los experimentos de Mendel y sus sucesivas hipótesis que fue planteando a lo largo de sus trabajos (adaptada de Orel, 1996).



tipo de gas amorfo o material líquido. Con esto rechazaba el concepto de herencia mezclada que imperaba hasta entonces. La naturaleza discreta de estos elementos hereditarios particulados implicaba la existencia de variación discreta, en lugar de continua. Si el material hereditario fuera realmente líquido las contribuciones de los padres debían mezclarse.

La segunda suposición de Mendel fue la del emparejamiento de dos elementos hereditarios de los padres en la progenie (genotipo). Un elemento derivado de un organismo paterno se conjugaría con un elemento compatible de un organismo materno. Hoy nos parece lógica tal suposición para los organismos que se reproducen sexualmente, con dos sexos, pero en tiempos de Mendel se postulaba que no era igual la aportación de ambos parentales a la descendencia.

El tercer supuesto de Mendel era que las diferentes variantes eran capaces de promover diferenciación con distinta fuerza. Un individuo puede poseer dos variantes iguales (genotipo homocigoto) o dos variantes distintas (genotipo heterocigoto). El aspecto que se manifiesta es el fenotipo, y cada tipo de homocigoto manifiesta un fenotipo distinto. Si hay dos variantes distintas una podría dominar. Si hubiera dominancia completa, habría solo dos fenotipos en la descendencia de los híbridos, porque el fenotipo del heterocigoto sería idéntico al de uno de los homocigotos. Por el contrario, habría tres fenotipos si la fuerza de las dos variantes era más o menos igual y entonces el fenotipo del heterocigoto sería diferente de los fenotipos de ambos homocigotos.

El cuarto de los supuestos de Mendel estaba en la localización de los elementos hereditarios dentro de las células. Al principio de su artículo se centró en las células generativas, óvulos y células de polen, estando dotada cada una de estas células generativas de un único elemento hereditario. Sin embargo, hacia el final del artículo, también escribió sobre células compuestas del embrión híbrido, es decir, las células somáticas. Según Mendel, cada célula somática del embrión tendría un par de elementos hereditarios independientes para cada carácter.

Había ciertas implicaciones lógicas una vez que estas suposiciones fueron probadas empíricamente: 1) el principio de persistencia con rara mutabilidad, 2) el principio de variabilidad, y 3) el principio de dominancia.

Era lógico esperar que los genes persistirían distintos e inalterados entre generaciones si fueran partículas sólidas y que no se mezclan a pesar de estar combinados en cada célula. Mendel asumió que cualquier combinación de este tipo sería transitoria y los elementos se separarían en la siguiente generación de células germinales. Hoy sabemos que los genes también pueden mutar, pero esto ocurre “rara vez”, no es una regla.

La variabilidad fenotípica observada requería que existieran diferentes variantes, correspondientes a diferentes manifestaciones del carácter.

En cuanto a la dominancia, al combinarse el elemento paterno y el materno en una célula podrían diferenciarse en favor de uno u otro según su fuerza. Mendel infirió correctamente que habría modos de herencia, dominante y recesivo. Además, demostró cómo estos dos modos de herencia podrían distinguirse en la práctica, basándose en los patrones de transmisión y en las proporciones resultantes de las variantes de estos caracteres en las generaciones consecutivas



de híbridos. Hoy sabemos que los mecanismos moleculares de dominancia están asociados con la dinámica de las vías metabólicas o de señalización en las que intervienen los productos del gen a nivel molecular.

Claramente, Mendel no solo realizó un experimento clave. También proporcionó interpretaciones sumamente perspicaces de los resultados. Mendel mostró una extraordinaria capacidad de abstracción e imaginación y fue capaz de extraer los elementos cruciales del problema y entender las relaciones numéricas subyacentes. Es impresionante que, con una sencilla formulación algebraica, pudiera describir con tanta precisión un conjunto de sucesos, incluyendo la formación de gametos, la polinización, la fecundación del óvulo y la transmisión de caracteres a la descendencia. Y todo eso lo hizo antes del descubrimiento de los cromosomas, antes de que el concepto de gen se hubiese formulado; y antes de que se conociese el proceso de división meiótica que conlleva la producción de gametos. Algunos autores resaltan la enorme capacidad de Mendel al prever estas relaciones invariables en medio de un torbellino de hechos aparentemente no relacionados y expresarlos matemáticamente, equiparando estas destrezas a la capacidad creativa de cualquiera de nuestros más grandes artistas (Galton, 2018).

### **¿Eran demasiado perfectos los resultados de los experimentos?**

En distintos momentos se ha analizado si en alguna medida Mendel engañó con los datos de sus experimentos. Algunos autores consideraban demasiado perfectos los resultados de los experimentos y creían que Mendel ajustó los resultados a las proporciones esperadas. Pero nadie sabía cuáles eran esas proporciones.

¿Y por qué Mendel iba a querer engañar?

Mendel descartó inicialmente algunas especies porque los híbridos tenían baja fertilidad, y además de trabajar con *Pisum* lo hizo con especies de diversos géneros y relata diversas dificultades que le fueron surgiendo durante los ensayos.

Describe en su publicación que en alguno de sus experimentos las proporciones encontradas en los descendientes no se parecían a las proporciones generales de otros cruzamientos anteriores, y hubo de repetirlos para confirmar con nuevos datos si sus proporciones se cumplían o no, y, por tanto, si podía mantener su hipótesis o no. En los tiempos de Mendel la estadística no estaba suficientemente desarrollada. No se disponía de herramientas de contrastes de hipótesis que hoy día ayudan a decidir si unos datos son suficientemente ajustados, como para suponer que las desviaciones encontradas se deben a cuestiones aleatorias que no invalidan la hipótesis. Todos los estudiantes actuales están acostumbrados a utilizar herramientas como el test de chi cuadrado, pero Mendel debía guiarse por su instinto para tomar ese tipo de decisiones.

En su segunda conferencia, y en la parte final de su artículo, describe sus experimentos con *Phaseolus* y algunos resultados, según sus palabras, “no completamente satisfactorios”. Explica que los resultados en *Phaseolus* se comportan en general como en *Pisum*, y que los caracteres relacionados con la forma de las plantas siguen las mismas leyes, pero no sucede lo mismo con los del color de las flores, en los que se desarrollan colores en una gama completa desde diferentes

gradaciones de rojo púrpura a violeta pálido, hasta el blanco. Planeó también repetir el experimento con *Hieracium*, pero comprobó que no se podía evitar obtener semilla no híbrida, aunque se protegiese cuidadosamente el material cruzado. Pensó, equivocadamente, que era semilla obtenida por autofecundación, que no podía impedir. No podía saber lo que hoy sí conocemos, que se trata del fenómeno de la apomixis, por el cual algunas plantas producen semilla idéntica a la planta madre, sin mediar meiosis ni fecundación de gametos.

Describe ocasionales atrofas de partes florales que dejan las partes reproductivas expuestas a polen extraño y podrían alterar los resultados experimentales de no ser advertidas.

Menciona que descartó algunos caracteres en los que las variantes no eran claramente distinguibles y no permitían una separación segura y nítida, porque la diferencia se basaba en un “más o menos”, difícil de determinar. Tales caracteres no pudieron utilizarse para los experimentos individuales, que se limitaron a los que aparecen claramente diferentes en las plantas.

Mendel, por tanto, informó de algunos caracteres y algunos resultados que no coincidían con sus reglas y de las decisiones que tomó para solventar las dificultades que iba afrontando. No parece pues que tuviera intención de modificar ni de ocultar información relevante.

Pero a lo largo del tiempo ha habido quienes han planteado un posible falseamiento o amañamiento de datos. Quizá el más famoso de entre los críticos fue el trabajo de uno de los más grandes genéticos que hayan existido: Fisher (1936) en un extenso artículo de 21 páginas indica, entre otras cosas, “que el artículo solo es inteligible si los experimentos presentados en él son ficticios; que los datos de los experimentos posteriores estaban fuertemente sesgados de acuerdo con las expectativas; y que los datos de la mayoría, si no de todos los experimentos, han sido falsificados para estar de acuerdo con las expectativas de Mendel”. Fisher, utilizando la prueba de chi-cuadrado, llegó a la conclusión de que los resultados de Mendel eran demasiado buenos para ser ciertos, afirmó que la desviación de la proporción esperada de 3:1 es menor que el error estándar de muestreo aleatorio; y de ello dedujo que pudo haber habido manipulación de los datos por parte de alguien. Supuso que el objetivo de los experimentos de Mendel era verificar una teoría que él ya tenía en mente, y que probablemente algún colaborador que conocía lo que Mendel esperaba retocó los resultados para ajustarse a ellos. Sin embargo, la primera vez que Mendel pudo haber formulado una hipótesis para explicar sus datos fue al final del segundo año de los experimentos 1 y 2, estudiando caracteres de las semillas. Quienes han profundizado en este asunto consideran que, si hubiera sabido qué esperar de sus dos primeros experimentos con semillas, se podría suponer que las proporciones de los experimentos posteriores, relacionados con caracteres de plantas maduras, mostrarían una tendencia hacia mejores ajustes, pero no se ve ninguna evidencia en ese sentido (Corcos y Monaghan, 1993).

Conviene aclarar que Fisher no pudo acceder a los cuadernos de laboratorio de Mendel, ya que habían sido destruidos. Fisher opina a partir de los datos presentados en el trabajo publicado en Brno en 1866. Estaba convencido de que

Mendel no había publicado sus datos completos, sino que, siendo un experimentado profesor, había adoptado un estilo acorde con una presentación de clase, evitando profundizar en detalles innecesarios. De hecho, según apuntan algunos de sus biógrafos, Mendel había mencionado en alguna carta a su amigo Nägeli que le preocupaba que el trabajo, en la forma en que se iba a publicar, podía no ser suficientemente claro, por estar escrito tal como se preparó para la conferencia en la que se expuso.

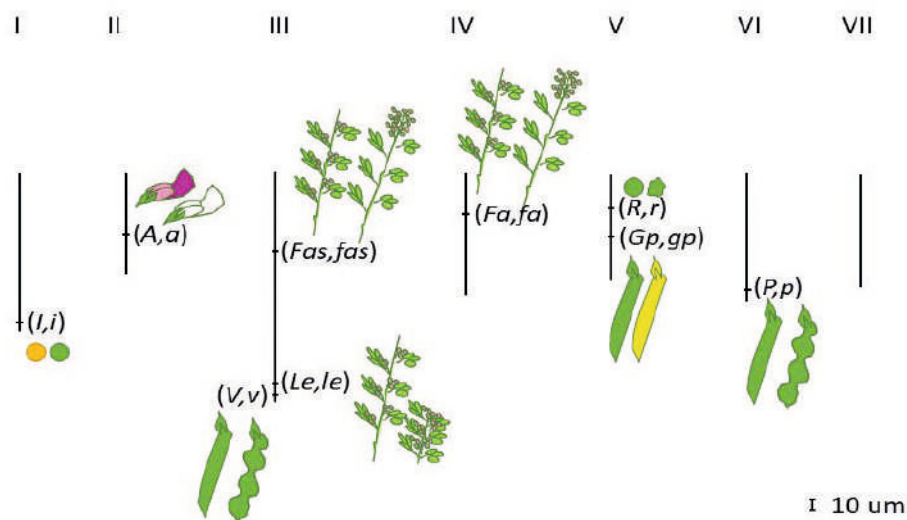
Fisher también dudaba de que Mendel pudiera haber cultivado un número tan elevado de plantas en el huerto experimental que era bastante reducido (35 m x 7 m), aunque además contaba con un invernadero (de 22,7 m x 4,5 m) donde, como describe en el artículo, colocaba plantas en macetas durante la floración para así además protegerlas de los insectos. Lo cierto es que no se sabe cuántas plantas usó realmente en sus experimentos. Mendel debió de sembrar muchas plantas en otros lugares distintos del huerto. No obstante, algunos autores (Corcos y Monaghan, 1984; Di Trocchio, 1991) creen que los experimentos tal y como los describe Mendel no pueden tomarse literalmente, sino que los datos de los monohíbridos son resultado de desagregar los datos de muchos experimentos con polihíbridos.

El furibundo ataque a la integridad de Mendel resulta aún más sorprendente porque Fisher no atacó a ninguno de los científicos posteriores, como Tschermak o Garrod, que encontraron proporciones aún más cercanas al teórico 3:1 que las de los datos de Mendel. Algunos autores, como Galton (2018), atribuyen estas feroces críticas a la envidia y el egocentrismo, pecados que acosan a menudo a los científicos. Este mismo autor relata que uno de los estudiantes de Fisher, junto con cuatro colegas constituyó una especie de “Tribunal Popular” para juzgar el trabajo de Mendel. Publicaron un libro cribando todas las evidencias y concluyeron que “Mendel no fue culpable de fraude”. Del mismo modo, en un interesante trabajo, Franz Weiling (1986) demostró que las conclusiones de Fisher eran erróneas porque, dado que no se cumple la homogeneidad de varianzas, no es apropiado el uso de pruebas de chi cuadrado que hizo Fisher para el análisis combinado de los datos de diferentes experimentos.

### ¿Pudo Mendel encontrarse con el problema del ligamiento?

Mendel utilizó siete genes, y el guisante tiene siete pares de cromosomas, así que a menudo se ha dicho que Mendel podría haberse topado con el fenómeno del ligamiento, lo que habría dado al traste con sus conclusiones. ¿Evitó este problema eligiendo un gen de cada cromosoma? Obviamente habría sido casual, ya que no se conocían los cromosomas ni nada relacionado con este asunto.

Diversos trabajos indican que probablemente Mendel no se encontró con el problema del ligamiento. Ellis y colaboradores (2011) señalan además que hay dudas acerca de la identidad de algunos de los genes que Mendel utilizó, concretamente en cuanto al gen de la posición axial o terminal de las flores (¿*Fa* o *Fas*?) o el de la vaina hinchada o hendida (¿*P* o *V*?), cuyas localizaciones de mapa aparecen en la **Figura 5**. Según estas localizaciones podría haber aparecido ligamiento en dos casos: *R-Gp* (grupo V) y *Le-V* (grupo III).



**Figura 5.** Localización genética de los siete caracteres mendelianos en los grupos de ligamiento del guisante (adaptada de Ellis et al., 2011).

Mendel no presentó datos sobre cruzamientos de  $RR GpGp$  por  $rr gpp$ . Puesto que la fracción de recombinación estimada en trabajos recientes es del 36%, tendríamos una segregación esperada de 9,6:2,4:2,4:1,6 en lugar de 9:3:3:1 por lo que Mendel habría necesitado un número muy grande de plantas para tener una desviación estadísticamente significativa de la de una distribución independiente.

En cuanto a la otra pareja de genes, los loci ( $V, v$ ) y ( $Le, le$ ) están situados a unos 15 cM de distancia en el grupo III, y analizando estos dos caracteres en un cruce se habría encontrado desviaciones respecto a la segregación independiente. Pero el locus ( $P, p$ ), que tiene un efecto análogo en el fenotipo de la vaina al del locus ( $V, v$ ), está situado en el grupo de ligamiento VI, por tanto, habría segregado independientemente de ( $Le, le$ ).

### **Darwin, Mendel y el origen de la Genética**

Gregor Mendel completó sus experimentos en 1863 y poco después comenzó a recopilar los resultados y a redactar su artículo, que presentó en las reuniones de la Sociedad de Ciencias Naturales en Brno en febrero y marzo de 1865 titulado *Versuche über Pflanzen-Hybriden* (Experimentos en hibridación de plantas). Mendel, tuvo acceso a la segunda edición del trabajo de Darwin en alemán (*Über die Entstehung der Arten*) aparecida en 1863.

Esta coincidencia de fechas hace pensar que el libro de Darwin podría no haber tenido influencia en la planificación de los experimentos de Mendel, pero como la fecha de publicación coincide con el período de tiempo en que



estaba preparando su artículo, sí que se antoja posible que el libro de Darwin influyera en las interpretaciones de la teoría de Mendel. En su copia personal del libro de Darwin, hizo muchas anotaciones al margen con su pequeña y cuidadosa escritura a mano, con doble subrayado de algunos de los textos, e incluso entremezclado con algún que otro signo de exclamación.

Distintos autores discuten sobre quién de los dos debe ser considerado “el padre de la Genética” y sobre su respectiva influencia. Hay quien opina que Mendel merece ser llamado el padre de la Genética, aunque pudiera no tener ideas claras sobre la segregación y los determinantes de las partículas tal y como los conocemos ahora. Consideran que ni Mendel comprendió la importancia evolutiva de sus descubrimientos para el problema de la variación genética, ni Darwin habría comprendido su importancia si hubiera leído el artículo de Mendel. Sostienen que en ambos casos los límites de la imaginación se debieron a que su marco mental estaba conformado por paradigmas existentes: la herencia mixta en el caso de Darwin, el desarrollo híbrido en el caso de Mendel. La selección natural de Darwin era determinista, las leyes de Mendel eran probabilísticas, basadas en la segregación aleatoria de los “factores” que determinan los caracteres. Interpretan que Darwin se habría encontrado perdido con el documento de Mendel, sin ninguna guía a la que recurrir. Dicen: “los genios, en su imaginación, son como misiles buscadores de calor encerrados en sus objetivos de intereses profundos y generalmente ven las cosas en una sola dimensión. La imaginación tiene límites; la imaginación sin ayuda es como un pájaro sin alas: no va a ninguna parte” (Singh, 2015). Otros se oponen a estos argumentos y sostienen que Darwin debería ser considerado el padre de la Genética no sólo porque fue el primero en formular una teoría unificadora de la herencia, la variación y el desarrollo -la pangénesis-, sino también porque describe casi todos los fenómenos de importancia fundamental, incluyendo lo que él llamó “prepotencia” y lo que hoy llamamos “dominancia”. Indican también que la palabra “gen” evolucionó a partir de la denominación darwiniana de las “gémulas”, en lugar de los llamados “factores” de Mendel (Liu y Li, 2016).

Otros artículos halagan la trayectoria de Mendel sin reparos, revisan sus comentarios en el libro de Darwin y analizan las cartas a Nägeli, buscando pruebas que relacionen a los dos científicos. Hay indicios de que los escritos de Darwin influyeron directamente en el clásico trabajo de Mendel de 1866 y en su correspondencia con Nägeli (Fairbanks, 2020). Mendel elogió y criticó a Darwin en cuestiones específicas relacionadas con su investigación, como la hipótesis de la pangénesis, el papel del polen en la fecundación y la influencia de las condiciones de vida en la variación hereditaria. En su última carta a Nägeli, Mendel propuso una hipótesis darwiniana de la selección natural utilizando el mismo término alemán de “lucha por la existencia” que encontramos en su ejemplar del libro de Darwin. Sus escritos científicos, tanto los publicados como los privados, son totalmente objetivos, carecen de polémicas y de alusiones religiosas, y abordan las cuestiones evolutivas de forma coherente con la de sus científicos contemporáneos. La imagen que se desprende

de Mendel es la de un científico meticuloso que aceptaba los principios de la evolución darwiniana, aunque en privado señalaba aspectos de la visión de Darwin sobre la herencia que no estaban respaldados por los propios experimentos de Mendel.

En todo caso, nadie duda de que ambos aportaron a la biología interpretaciones nuevas que abrieron el camino de la Genética.

### **Redescubrimiento de los trabajos de Mendel**

En 1900, tres científicos que trabajaban de forma independiente, Carl Correns en Alemania, Hugo de Vries en los Países Bajos y Erich Tshermak en Austria, descubrieron cómo se transmiten los caracteres de una generación a la siguiente. Cuando pretendían informar a la comunidad científica de sus hallazgos sobre la herencia de los caracteres, desarrollaron una búsqueda rutinaria de la literatura científica y se encontraron con la sorpresa de que Mendel había publicado los mismos descubrimientos más de tres décadas antes.

Mendel no había mantenido sus resultados en secreto, habían sido publicados en una revista científica y se enviaron 40 copias de su artículo a científicos e instituciones. Sin embargo, fueron ignorados porque el mundo científico simplemente no estaba listo para apreciarlo.

El enfoque de la herencia de Mendel estaba basado en el análisis matemático de los caracteres que se transmiten de generación a generación. Otros científicos que trabajan en el campo general de la herencia no utilizaron las matemáticas para describir sus resultados, por lo que no apreciaron la importancia de sus hallazgos. Puede que la mentalidad general no estuviera preparada para un enfoque conceptualmente tan diferente. Quizá Mendel debió insistir en la divulgación de sus resultados y conclusiones, pero puede ser también que sus obligaciones como abad en el monasterio le retrajeran de hacerlo. La apreciación de la importancia de sus trabajos llegó décadas después, sólo cuando otros científicos analizaron también matemáticamente los resultados obtenidos en diferentes cruzamientos, y llegaron a las mismas conclusiones.

El ostracismo de la obra de Mendel también aconteció con posterioridad a su redescubrimiento. Así fue en la Unión Soviética estalinista, debido al ideario de Lysenko, quien proponía que se podía engendrar un nuevo tipo de hombres y mujeres, libres de las limitaciones de la genética mendeliana convencional. Igualmente, en la Alemania nazi, se rechazaron los descubrimientos de Mendel a raíz de un artículo publicado durante la ocupación alemana de lo que era Checoslovaquia en la Segunda Guerra Mundial, que describió falsamente a Mendel como alguien que rechazó por completo la teoría de la evolución de Darwin (Edelson, 1999).

Pese a los años de olvido y los ataques a su trabajo y a su trayectoria el legado de Mendel ha sobrevivido y la investigación basada en él ha resurgido en todos los países libres.

Muy probablemente nunca conoceremos la historia completa de Gregor Mendel porque gran parte de sus documentos se destruyeron tras su muer-

te, al considerar el abad que le sustituyó que no tenían ningún valor. Pero los escasos documentos que han sobrevivido y las personas que lo recordaban y pudieron dar algún testimonio, han dado una imagen de Mendel, el científico y el hombre, que se ha ido transmitiendo a las generaciones futuras.

En todo caso, él estaba convencido del valor e importancia de su trabajo y así, antes de fallecer, quedó registrado por uno de los miembros de la congregación: “Aunque he tenido que vivir muchos momentos amargos en mi vida, debo admitir que lo bello y lo bueno han prevalecido. Mi trabajo científico me ha dado muchas satisfacciones, y estoy seguro de que pronto será reconocido por el mundo entero”. No le faltaba razón. La historia ha acabado poniendo en un lugar preeminente a Gregor Mendel, que seguirá siendo una inspiración para muchos jóvenes científicos.

### Referencias

- Abbott, S. y Fairbanks, D. J. 2016. Experiments on plant hybrids by Gregor Mendel. *Genetics*, 204:407–422.
- Corcos, A. y Monaghan, F. 1984. Mendel had no “true” monohybrids. *Journal of Heredity*, 75:499–500.
- Corcos, A. F. y Monaghan, F. V. 1993. Gregor Mendel’s Experiments on Plant Hybrids: A Guided Study. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey. EEUU.
- Di Trocchio, F. 1991. Mendel experiments. A reinterpretation. *Journal of the History of Biology*, 24:485–519.
- Edelson, E. 1999. Gregor Mendel And the Roots of Genetics. Oxford University Press. New York. EEUU.
- Ellis, T.H.N., Hofer, J.M.I., Timmerman-Vaughan, G.M., Coyne, C.J. y Hellens, R.P. 2011. Mendel, 150 years on. *Trends in Plant Science*, 16:590–596.
- Fairbanks, D.J. 2020. Mendel and Darwin: untangling a persistent enigma. *Heredity*, 124:263–273.
- Fisher, R.A. 1936. Has Mendel’s work been rediscovered? *Annals of Science*, 1:115–137.
- Galton, D.J. 2018. Standing on the Shoulders of Darwin and Mendel. Early Views of Inheritance. CRC Press. Boca Raton. FL, EEUU.
- Liu, Y. y Li, X. 2016. Darwin and Mendel today: a comment on “Limits of imagination: the 150th Anniversary of Mendel’s Laws, and why Mendel failed to see the importance of his discovery for Darwin’s theory of evolution. *Genome*, 59:75–77.
- Mendel, G. 1866. Versuche über Pflanzen-Hybriden. Verhandlungen des Naturforschenden Vereines. *Abhandlungen, Brünn* 4:3-47, versión traducida al inglés por Abbott y Fairbanks (2016).
- Orel, V. 1996. Gregor Mendel the First Geneticist. Oxford University Press, Oxford UK.
- Singh, R.S. 2015. Limits of imagination: the 150th anniversary of Mendel’s laws, and why Mendel failed to see the importance of his discovery for Darwin’s theory of evolution. *Genome*, 58(9):415–421.
- Weiling, F. 1986. What about R. A. Fisher’s statement of the “too good” data of J. G. Mendel’s *Pisum* paper? *Journal of Heredity*, 77:281–283.

**Páginas web accedidas:**

**Museo de Mendel** <https://mendelmuseum.muni.cz/en/about-the-museum/gregor-johann-mendel>. Acceso el 6-6-2022.

**Figs. 1 y 2** obtenidas de *Life of Mendel* de Hugo Iltis, versión inglesa de Eden y Cedar Paul. **Wellcome Collection. Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)** <https://wellcomecollection.org/works/fnvdhpva/images?id=utjdjm9x>. Acceso el 6-6-2022.