

La Herencia del Mendelismo

La genética 200 años después
del nacimiento de Gregor Mendel

La Herencia del Mendelismo

La genética 200 años después del nacimiento de Gregor Mendel

Carmelo Ruiz Rejón
Rafael Navajas Pérez
Roberto de la Herrán
Francisca Robles
(eds.)

GRANADA
2022

B I B L I O T E C A D E C I E N C I A S

COMITÉ DE DIRECCIÓN:

Luis J. Cruz Pizarro
Ángel V. Delgado Mora
Francisco González Lodeiro
Emilia M. Guadix Escobar
Pascual Jara Martínez (Coordinador)



Facultad de
Ciencias



© LOS AUTORES

© UNIVERSIDAD DE GRANADA

LA HERENCIA DEL MENDELISMO. LA GENÉTICA 200 AÑOS
DESPUÉS DEL NACIMIENTO DE GREGOR MENDEL

ISBN: 978-84-338-7045-2

Depósito legal: GR./1474-2022

Edita: Editorial Universidad de Granada
Campus Universitario de Cartuja. Granada
Tsl.: 958 24 39 30 - 958 24 62 20
Web: editorial.ugr.es

Preimpresión: Taller de Diseño Gráfico y Publicaciones, S.L. Granada
Diseño de Cubierta: José María Medina Alvea
Imprime: Gráficas la Madraza, Albolote, Granada

Printed in Spain

Impreso en España

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

Agradecimientos

LA GENÉTICA HA CONOCIDO en los últimos lustros un avance sin parangón en la historia de la humanidad. Esto se debe, seguramente, a los beneficios que reporta a la especie humana, pero, también, a su capacidad de responder preguntas fundamentales sobre el origen y la evolución de la vida. Gregor Mendel es universalmente reconocido como el padre de esta disciplina. Es, por tanto, de justicia conmemorar de forma especial la efeméride del 200 aniversario de su nacimiento, celebrada en julio de 2022. El origen de este libro parte, precisamente, de la idea de un grupo de profesores del Departamento de Genética de la Universidad de Granada de conmemorar dicha efeméride. La intención es no solo rendir homenaje y poner en valor, si es que a estas alturas de la historia fuera necesario, la figura de Mendel, sino, sobre todo, aportar una visión actualizada de aquella antigua (o no tanto) genética mendeliana. Así nace el libro que tienes entre las manos. Para materializarlo, hemos contado con un nutrido grupo de figuras relevantes de la genética de nuestro país, sin cuya inestimable, animosa y desinteresada colaboración este proyecto no habría visto la luz. Además, en el transcurso de este proceso hemos tenido la oportunidad de conocer al dibujante (y biólogo) José Luis Prats (Ozeliú) que con su ingenio y buen hacer ha contribuido a enriquecer el resultado final.

Esta obra no habría sido posible sin la colaboración de la Universidad de Granada, la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología Ministerio de Ciencia e Innovación.

A todos ellos, muchas gracias.

Índice

Prólogo	
<i>Andrés Moya</i>	13
Prefacio	
La genética de ayer, hoy y siempre	
<i>Rafael Navajas Pérez y Carmelo Ruiz Rejón</i>	17
I EL ORIGEN DE LA REVOLUCIÓN	31
1 Mendel, un científico paradigmático. Sus experimentos, polémicas y curiosidades	
<i>Óscar Huertas Rosales</i>	33
2 Luces y sombras de la vida de Mendel	
<i>Manuel Ruiz Rejón</i>	53
3 Silencio histórico y redescubrimiento de las Leyes de Mendel	
<i>Alberto Gomis Blanco</i>	67
4 Mendel y la evolución, Darwin y la herencia: ¿sendas paralelas?	
<i>Antonio Quesada Ramos</i>	83
II AMPLIACIONES Y EXCEPCIONES A LA TEORÍA GENERAL.....	105
5 Excepciones a las Leyes de Mendel: más allá de la dominancia y la recesividad	
<i>Almudena Fernández López y Lluís Montoliu</i>	107

6	Genes en cromosomas sexuales: la excepción que confirma la regla <i>Francisco David Carmona</i>	125
7	Transferencia de genes entre especies. Herencia horizontal y transmisión vertical de genes adquiridos <i>Luis Boto López</i>	145
8	Los genes de Mendel <i>Francisca Robles y Roberto de la Herrán</i>	161
9	De Mendel a la epigenética <i>Laureana Rebordinos González</i>	181
III	EL “TRIUNFO” DE LA REVOLUCIÓN MENDELIANA. LA INFLUENCIA DE MENDEL EN LA CIENCIA ACTUAL.....	199
10	Mendel y la biotecnología vegetal <i>José Miguel Mulet Salort</i>	201
11	La mejora genética animal desde Mendel a la actualidad <i>Miguel Ángel Toro Ibáñez</i>	219
12	El mendelismo y la evolución <i>Mohammed Bakkali</i>	241
13	Evo-devo: la evolución de la teoría <i>Ramón Muñoz Chápuli</i>	263
IV	GENÉTICA HUMANA	281
14	Mendelismo en genética humana. Pasado, presente y futuro <i>Gemma Marfany Nadal</i>	283
15	Las enfermedades humanas complejas y el mendelismo <i>Susanna Balcells y Raquel Rabionet Janssen</i>	305
16	Bases genéticas del cáncer hereditario <i>Laura Valle Velasco</i>	319

17	Identificación genética humana <i>Christian Haarkötter, María Sáiz, José Antonio Lorente y Juan Carlos Álvarez</i>	333
V	DISEMINACIÓN Y PERCEPCIÓN DEL MENDELISMO	353
18	La entrada del mendelismo en España <i>Isabel Rey Fraile y Alberto Gomis Blanco</i>	355
19	Mendelismo social: manipulaciones del mendelismo con fines político-sociales <i>Manuel Ruiz Rejón</i>	371
20	Mendel y el arte, detalles de una iconografía mendeliana <i>Salvador Belizón</i>	391
21	Historia del manuscrito de Mendel y su traducción del alemán al español <i>Juan Rojas-García y Rafael Navajas Pérez</i>	407
	Apéndice Traducción del alemán al español del manuscrito <i>Versuche über Pflanzen-Hybriden</i> <i>Juan Rojas-García y Rafael Navajas Pérez</i>	417
	Los autores.....	463

Prólogo

Andrés Moya

HE LEÍDO CON DETALLE y disfrutado “La Herencia del Mendelismo. La genética 200 años después del nacimiento de Gregor Mendel”, libro editado por Carmelo Ruiz Rejón, Rafael Navajas Pérez, Roberto de la Herrán y Francisca Robles que cuenta con valiosas contribuciones de diferentes expertos en torno al origen y expansión de la genética como disciplina científica, que nos ayuda a entender la realidad actual de esta ciencia. Las ramificaciones de la genética son muy extensas en prácticamente todas las ciencias de la vida; muchos de los conceptos que se establecieron originariamente, incluso antes del surgimiento de la genética molecular a partir del descubrimiento del ADN como molécula responsable de la herencia, siguen totalmente vigentes, a pesar de las excepciones a las leyes de la herencia que se han ido descubriendo con posterioridad. No es frecuente encontrarse con leyes en biología, porque al poco de haber descubierto alguna surgen las excepciones. En realidad, esas leyes existen, pero su descubrimiento o generalización integrando las excepciones siempre es tarea que requiere muchas y más ardua investigación. No debemos olvidar que la vida es compleja en sus “infinitas” manifestaciones. Y, por ello, casi estamos tentados o nos predisponemos a considerar que las leyes o teorías generales de la vida son más bien la excepción que la norma. Pues bien, aquí podemos situar a Mendel: con toda la enorme diversidad asociada a la vida fue capaz de derivar unos primeros principios sobre la herencia de determinadas características, aventurando la existencia de unos hipotéticos factores de herencia, a los que luego se les denominaría “genes”.

Alberto Gomis señala muy acertadamente, en su capítulo “Silencio histórico y redescubrimiento de las Leyes de Mendel”, que la obra del monje agustino “llegó” en vida del autor a manos de diferentes investigadores y

sociedades científicas, en lo que era el procedimiento habitual: el envío a terceros por parte del autor de su publicación en alguna revista, por local o restringida que esta pudiese ser. En efecto, Mendel, como autor marginal que fue, alejado de los grandes foros de ciencia —universidades y academias de ciencias centro-europeas, anglosajonas y norteamericanas— hizo llegar oportunamente su trabajo a expertos. Probablemente fuera consciente de que su publicación no sería leída oportunamente por parte de quien él consideraba que podría estar capacitado para entender sus resultados o, incluso, poder recibir críticas más o menos constructivas. A pesar de esta circunstancia, yo he sostenido que Mendel fue un creador marginal. ¿A quién podemos tildar de creador o creadora marginal? Pues a alguien que está alejado de los círculos relevantes, geográfica y, es muy probable que también, temporalmente. Un caso paradigmático es el caso de la artista sueca Hilma Af Klint, precursora en más de veinte años, del que luego sería conocido como “arte abstracto”, cuyos padres son Vasily Kandinsky, Kazimir Malevich y Piet Mondrian. Ella desarrolló su obra en su Suecia natal, alejada de los círculos artísticos europeos relevantes. Af Klint consideraba, por otra parte, que la sociedad de su época no estaba preparada para entender su obra.

Consideremos el caso de Charles Darwin. Vivía a las afueras de Londres y a lo largo de muchos años estuvo pertrechando su Teoría de la Evolución por Selección Natural. Sin embargo, en modo alguno se puede considerar a Darwin un creador marginal, ni geográfica ni temporalmente. Mantenía una amplia correspondencia epistolar con cientos de investigadores de todo el mundo, amén de que estaba muy próximo a los científicos anglosajones e instituciones científicas inglesas, las más relevantes del mundo en su época.

Pero volvamos a Mendel. Sus trabajos tendríamos que considerarlos anticipatorios y, aunque sometido al efecto del creador marginal no muy seguido o conocido, lo cierto es que la ciencia de su época no estaba preparada para entender sus resultados. No pensemos que esto es un pecado del pasado: ¿cuántos trabajos o publicaciones llegan a nuestras manos que no valoramos adecuadamente porque se salen de nuestros propios esquemas interpretativos o porque no concedemos crédito a los autores más o menos marginales que las producen? Mendel fue, en realidad, un creador marginal adelantado a su tiempo.

Esto me lleva a una doble reflexión final que quiere ser una contribución adicional a todo lo que el lector se va a encontrar en esta obra y

que tiene que ver con el avance de la ciencia en general. Si las Leyes de Mendel hubieran sido asimiladas por la ciencia de su época, cuando él las formuló, y no treinta años después, que es cuando surge la genética propiamente: ¿tendríamos ahora una genética treinta años más avanzada? No puedo aventurar que fueran treinta años más, pero si me gusta pensar que tendríamos una genética más desarrollada, con mayor número de leyes y teorías.

La segunda reflexión también abunda sobre cuánto retraso se ha podido producir en la ciencia por el hecho de no haber incorporado en su momento, si es que se hicieron, las contribuciones reales y objetivas de muchos creadores marginales. La ciencia probablemente no está donde podría estar de haber incorporado los resultados de todos aquellos que han hecho contribuciones avanzadas con respecto a sus propias épocas y que o se han perdido o han sido redescubiertas más tarde.

LITERATURA CITADA

Moya, Andrés. 2020. Ciencia en pequeñas dosis. Reflexiones sobre ciencia y evolución. Ediciones Cálamo, Palencia.

Prefacio

La genética de ayer, hoy y siempre

Rafael Navajas Pérez y Carmelo Ruiz Rejón

DE FACTO, LA PALABRA *genética* fue utilizada por primera vez en 1905 por William Bateson para referirse a la ciencia que trata de la herencia. De esta deriva el vocablo *gen*, unidad física y funcional de la herencia biológica, que ha cosechado un gran éxito en la sociedad actual; tanto que se ha filtrado su uso al lenguaje cotidiano: se habla del gen como una entidad que determina el comportamiento de los individuos, ya sea con connotaciones *negativas* (el gen de la corrupción, de la competitividad o el gen egoísta), como de forma *positiva* (el gen del altruismo o de la felicidad, por citar algunos ejemplos).

Sin embargo, tal y como trataremos de demostrar a lo largo de este prefacio, a pesar de su rabiosa actualidad, la genética ha estado constantemente presente en la historia de la humanidad (véase la figura 1, en la que se detallan los hitos más importantes de esta disciplina). De hecho, es parte inherente de la esencia de cualquier ser vivo, y así lo demuestran diferentes manifestaciones humanas. Por ejemplo, el tabú del incesto se habría originado ya en muchas sociedades ancestrales por el reconocimiento de los efectos negativos de la endogamia. Estos grupos humanos mostraron interés por comprender la herencia de los rasgos en los individuos de su propia especie, se preguntaron cuáles eran los mecanismos que la regían y trataron, con las herramientas disponibles en cada momento, de controlarla o manejarla en su beneficio. En relación a este aspecto, cabe destacar que los textos sagrados de diferentes religiones contienen una serie de leyes relacionadas con la herencia. En algunos casos, como en el hinduismo, se incluyen preceptos para la elección de la esposa y en contra de las uniones consanguíneas. En otros casos, se describe con exactitud la herencia de ciertos caracteres genéticos hereditarios, como ocurre con la hemofilia por parte del Talmud de los judíos.

Asimismo, en los mitos y leyendas es frecuente encontrar referencias a la herencia de deformidades y rasgos particulares. En la *Odisea*, Ulises encuentra al cíclope, un gigante con un solo ojo situado en medio de la frente y con la nariz colocada encima. Esta descripción coincide con la patología conocida como *ciclopedia*, rara forma de holoprosencefalia alobar, una malformación congénita caracterizada por la presencia de una única órbita facial o pseudoórbita, producto de la fallida división de la cavidad orbitaria durante la fase de desarrollo del embrión.

La primera aplicación de los patrones de herencia mendeliana a caracteres humanos la realizó Archibald E. Garrod, en 1908, en unas conferencias que impartió en el Royal College of Physicians y publicó en 1909 en el libro *Inborn Errors of Metabolism*. Garrod hacía referencia a una serie de enfermedades infantiles que parecían ser debidas a una incapacidad innata para llevar a cabo algún proceso metabólico por ausencia o inactividad de una enzima y que se presentaban según un patrón de herencia mendeliano recesivo. Así describió algunos desórdenes metabólicos congénitos como alcaptonuria, albinismo, cistinuria o pentosuria. Los capítulos 14 a 16 de este libro están dedicados a la relación del mendelismo con las enfermedades humanas.

Aparte de estas consideraciones esenciales inherentes a la condición humana, mucho antes de su nacimiento como ciencia, el hombre ya aplicaba de forma práctica los conceptos de la herencia biológica. Esto nos permitió domesticar plantas y animales y, además, mejorar su rendimiento seleccionando como progenitores a aquellos individuos con características más deseables para cruzarlos entre sí y obtener una descendencia con rasgos más favorables. Este proceso de domesticación de especies silvestres supuso un hito crucial para nuestra especie, ya que marcó la transición del nomadismo a un modo de vida sedentario y agropecuario. Tres grupos de cereales ejemplifican perfectamente este hecho. Nos referimos a la domesticación del arroz, del trigo y del maíz, que tuvo lugar de manera independiente en varias regiones del mundo (Asia, Oriente Medio y Mesoamérica, respectivamente) y durante periodos prolongados de tiempo (entre hace aproximadamente 10.000 y 5.000 años). El desafío no era baladí, ya que los ancestros de estas tres especies tenían su origen en zonas con una gran biodiversidad botánica, con una accidentada orografía y con diferentes tipos de suelos y clima. El caso es que dichos cultivos llegaron a constituirse (y lo siguen siendo todavía) en la base de la alimentación humana en sus distintas regiones

de origen. Por supuesto, estos no fueron los únicos cultivos que el hombre ha moldeado para su beneficio, basta darse una vuelta por cualquier supermercado para engordar la lista. Nikolái Vavilov, botánico y genetista ruso, identificó seis centros de origen de especies productivas en el Viejo Mundo: China, India, Oriente Próximo/Asia Central, Sureste de Asia, Etiopía y Mediterráneo Oriental. Hablando de Vavilov, el capítulo 19 trata la influencia del llamado mendelismo social en las doctrinas de la antigua URSS, entre otros aspectos.

Tanto o más podría afirmarse con respecto a especies animales domesticadas por el hombre (véase, por ejemplo, el capítulo 11 de este libro, dedicado a la mejora genética animal). Aquí, hemos hecho referencia principalmente a las plantas porque fueron el material de estudio más importante de los usados por Gregor Mendel. Además, probablemente, las transiciones agrícolas hayan sido las revoluciones culturales más significativas en la historia de la humanidad. Aparte del consecuente y ya mencionado cambio de estilo de vida que propiciaron, estas dieron lugar a una serie de cambios en cascada, como la generación de excedentes, la consiguiente necesidad de defenderlos mediante estructuras militares y la proliferación de estructuras burocráticas y religiosas para su control y administración. A partir de este momento, las prácticas relacionadas con la herencia es función de agricultores, ganaderos y sacerdotes.

También los pensadores de las distintas épocas tuvieron gran influencia en este desarrollo agronómico. Ya en torno al año 2000 a. C., el código del rey babilonio Hammurabi menciona el cruzamiento entre plantas utilizando el polen de una de ellas. Así, en esta época, el polen de la palmera datilera era considerado un producto comercialmente muy valioso. La denominada escuela agronómica andalusí fue pionera en este tipo de investigaciones. Dichos estudios se orientaban fundamentalmente al aumento de la productividad, esto es, al mercado. Aunque a lo largo del siglo X se comenzaron ya a producir las primeras publicaciones, fue durante el siglo XI cuando los tratados sobre agricultura alcanzaron su máximo esplendor, con un enfoque tanto práctico como teórico. Igualmente, se comenzaron a difundir e introducir distintos cultivos no existentes previamente en Europa. Mucho más tarde, en el siglo XV, se produce una serie de cambios que hoy conocemos como Renacimiento, término que en la mayor parte de las ocasiones solo se asocia a los ámbitos humanísticos, pero que, sin embargo, también fue crucial para el avance científico y tecnológico de las sociedades y su propio bienestar. En este sentido,

son destacables los cambios sustanciales acaecidos en la agricultura y en su fundamento científico. Por ejemplo, no exentos de supersticiones, comienzan a surgir y consolidarse los primeros calendarios agrícolas que asocian determinados cultivos a épocas concretas del año, así como las primeras sistematizaciones del uso de los distintos suelos en función de sus características. Estos cambios culminarían a finales del siglo XVIII con la consolidación definitiva de la agronomía como ciencia. Para saber más sobre la historia de la biotecnología vegetal y la agronomía, véase el capítulo 10 de este libro.

A partir de este momento comienzan a aparecer los primeros jardines botánicos, así como bancos de semillas y de germoplasma. Estos centros fueron vitales no solo en la conservación de material vegetal, sino, además, en el intercambio y adquisición de especímenes procedentes de todas las partes del mundo en momentos en los que el transporte y el desplazamiento de personas y mercancías era mucho más dificultoso que en la actualidad. En este sentido, una de las puntas de lanza de la investigación de esta época la constituía la hibridación de plantas. La genética se inicia, en gran parte, en los congresos sobre hibridación vegetal, en los que los expertos exponían los avances alcanzados. El objetivo era doble; por un lado, producir nuevas variedades de interés, esto es, la mejora, y, por otro, entender cómo pasaban los rasgos de una generación a las siguientes.

La historia de la hibridación en plantas fue iniciada en 1694 por el alemán Rudolf Jakob Camerarius, quien especuló con la posibilidad de fertilizar plantas femeninas de una especie con polen de plantas masculinas de otra. La primera referencia de hibridación natural de plantas, no obstante, la encontramos poco más tarde, en una carta escrita por Cotton Mather en 1716. En ella describe la ocurrencia de cruzamientos naturales entre el maíz indio y el amarillo, variedades que coexistían en algunos campos de cultivo. Se cree que el primer híbrido artificial fue generado por Thomas Fairchild en 1717. A lo largo de este periodo, un gran número de científicos utilizarán la hibridación para estudios científicos y la mejora de cultivos. Como curiosidad, son destacables los experimentos llevados a cabo por Thomas Henschman, prebendario de Salisbury, quien, en 1729, cruzando variedades de guisante, señaló la aparición de semillas de distinto color en la misma vaina.

A mediados del siglo XVIII, Joseph Gottlieb Kölreuter y Carl Friedrich von Gärtner llevaron a cabo un primer esfuerzo por sistematizar las investigaciones relacionadas con la hibridación vegetal. A ellos se le

atribuyen las primeras y más extensas investigaciones rigurosas de las consecuencias de la hibridación, en las que mostraban, por ejemplo, que los híbridos de primera generación tienden a ser fenotípicamente intermedios entre los padres (aunque podían ser más exuberantes), mientras que los híbridos de última generación se asemejaban más a las formas parentales. Hay que señalar significativamente que estos hibridadores son ya citados por Mendel en sus escritos. Vemos, por tanto, que el monje agustino no fue un científico aislado y único en cuanto al tipo de investigaciones que realizaba, sino que, más bien, hizo uso de técnicas experimentales ya puestas a punto por los cultivadores o mejoradores de su época. La novedad aportada por Mendel reside en el tratamiento estadístico escrupuloso que dio a sus datos, lo que le valió para hacer una correcta interpretación de los mismos. Esta sistematización en el control experimental y el análisis de los resultados fue crucial para entender los mecanismos que subyacen a la herencia de los rasgos que observaba. De cualquier manera, y a pesar del conocimiento que se estaba generando en relación a este tema en la época de Mendel, hay que remarcar que sus ideas fueron revolucionarias y, en algunos casos, han suscitado controversia incluso muchos años después de su fallecimiento. Tanto es así que, en su día, hubo intentos de clausurar la abadía de Santo Tomas de Brno (antes Imperio austrohúngaro, hoy República Checa), donde residía Mendel, por las actividades de investigación en él desarrolladas. Afortunadamente, esto no fue así y en el periodo que va desde los años 1856 a 1863, Gregor pudo planificar y llevar a cabo casi 30.000 cruzamientos de distintas variedades de guisante, pudiendo extraer conclusiones acerca de la transmisión de las características impensables en aquel periodo histórico. Para saber más sobre los experimentos de Mendel (sus luces y sus sombras) y de los hibridadores de su época, véase los capítulos 1 y 2. Además, se puede consultar una nueva traducción del alemán al español del trabajo de Mendel en el apéndice de este libro, así como una historia del manuscrito en el capítulo 21.

La realidad es que la tradición judeocristiana impuso durante muchos siglos la visión de inmutabilidad de las especies que aportaba el creacionismo. No obstante este velo de oscurantismo, se producían esporádicamente avances considerables en el campo de la herencia, separados por largos periodos carentes de cambios reseñables. En este sentido, el sueco Carlos Linneo, aunque sin considerar cambio en las especies, estableció en 1753 una clasificación natural y jerárquica que ordenaba y sistematizaba plantas y animales. En ella se basa la actual nomenclatura binomial de

las especies. También a finales del siglo XVIII, Georges Cuvier, estudiando comparativamente fósiles aparecidos en distintos estratos terrestres, comienza a hablar de la aparición y la desaparición de especies y funda la corriente de pensamiento denominada catastrofismo. Curiosamente, esta teoría no desentonaba con las ideas religiosas de la época; qué mayor catástrofe podría servir para ejemplificar esta teoría que la acaecida durante el periplo del Arca de Noé.

Otras de las grandes teorías premendelianas de la transmisión enunciadas entre los siglos XVII y XIX son el preformacionismo y la pangénesis. Según el preformacionismo, el desarrollo de un embrión consistía en el desarrollo y el crecimiento de un organismo, denominado homúnculo, que estaba ya preformado en el esperma. Esta teoría fue propuesta en 1694 por Nicolas Hartsoeker y, muy probablemente, es consecuencia de la escasa resolución de los primeros microscopios de aquella época y de la licencia que Nicolas se tomó para ver en la cabeza del espermatozoide los rasgos de un hombre completo en miniatura. Fue desechada por inconsistente, ya que, si el esperma era un homúnculo, idéntico a un adulto en todo salvo en el tamaño, entonces el homúnculo debía tener su propio esperma con una cadena de homúnculos hacia abajo en la que, ya desde Adán, estaría contenida toda la humanidad. La pangénesis surgió con fuerza durante el siglo XIX, aunque ya había sido propuesta con anterioridad en la Grecia clásica por Anaxágoras, Demócrito y los tratados hipocráticos. Según 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. Charles Darwin fue un firme defensor de la misma. Una disciplina relativamente reciente, la denominada evo-devo, ha conciliado el mendelismo con la biología del desarrollo. Todo esto se detalla en el capítulo 13.

A pesar de lo dicho, ninguna de estas teorías de la época consiguió calar y perdurar en el tiempo, fundamentalmente por la ausencia de un soporte experimental sólido. Restaba, por tanto, proponer un mecanismo capaz de explicar cómo los rasgos se transmitían a la herencia y su relación con la reciente Teoría de la Evolución por Selección Natural enunciada por Darwin (1859). En el capítulo 4 se detalla la relación de Darwin con la herencia y la de Mendel con la evolución. Mendel, y posteriormente sus redescubridores, aportan la idea de la herencia *particulada*, esto es, la existencia de unidades discretas o factores hereditarios que determinan los distintos rasgos y que se unen durante la fecundación para posterior-

mente separarse durante la formación de los gametos. En el capítulo 3 se detallan los pormenores del redescubrimiento de las Leyes de Mendel. Además, los estudios que se llevarían a cabo desde este momento comenzarían a trazar la historia de complejas relaciones existentes entre los distintos factores hereditarios que hoy poseemos. En los capítulos 5, 6 y 7 se hace un compendio de las principales excepciones (o extensiones) del mendelismo.

A consolidar esta hipótesis de la herencia particulada contribuyó de forma muy significativa el campo de la citogenética. En paralelo al redescubrimiento y enunciado de las Leyes de Mendel, se estaban dando pasos agigantados en las técnicas de observación y la mejor comprensión del comportamiento de los cromosomas en distintos tipos celulares. Carl Nagëli (en 1842) y Walther Flemming (en 1879) observaron por primera vez estas estructuras en células vegetales y animales, respectivamente. Desde entonces, y hasta principios del siglo XX, la disciplina no paró de mejorar tanto en cuestiones técnicas como teóricas, quedando los mecanismos que rigen el comportamiento de los cromosomas mitóticos y meióticos completamente desentrañados. Así, la mitosis fue descrita en estudios llevados a cabo por Wilhem Hofmeister y Walther Flemming entre los años 1848 y 1882. La meiosis, por su parte, sería descrita por Oscar Hertwig y Édouard van Beneden entre 1876 y 1883. Finalmente, los trabajos de Thomas H. Morgan, que situaban inequívocamente genes causantes de ciertas mutaciones en cromosomas dieron lugar a la denominada Teoría Cromosómica de la Herencia. Nos referimos a la archiconocida mutación *white* de *Drosophila melanogaster*, mutación presente en el cromosoma X de esta especie que produce individuos de ojos blancos, que sería, a la postre, decisiva para confirmar los postulados mendelianos; esto es, los cromosomas son las unidades físicas portadoras de los factores hereditarios, que estos suelen heredarse en parejas (una copia por progenitor), uniéndose durante la fecundación y volviéndose a separar en la formación de los gametos (que portarían la mitad de la carga genética de un individuo). En España, José Fernández Nonidez y Antonio de Zulueta fueron pioneros en el estudio de la genética y, particularmente la herencia ligada al sexo. Sobre la entrada del mendelismo en España se habla en el capítulo 18. Ambos tuvieron contacto directo con Morgan, y esto les valió para conocer de primera mano los avances que se estaban produciendo en este campo. El primero es considerado el introductor del mendelismo y la Teoría Cromosómica de la Herencia en nuestro país, a través de un curso celebrado en el Museo de Ciencias Naturales de Madrid y que

posteriormente, en 1922, sería publicado bajo el título de *La herencia mendeliana*. Por su parte, Zulueta demostró la presencia de genes en el cromosoma Y en la especie de escarabajo *Phytodecta variabilis*. Además, contribuyó significativamente a la difusión de las principales teorías genéticas imperantes, publicando en 1926 una reseña sobre las Leyes de Mendel en la *Revista de Pedagogía*, y siendo traductor de *El origen de las especies* de Charles Darwin y de *Evolución y Mendelismo (Crítica de la teoría de la evolución)*, de Morgan. Otros datos procedentes de la genética de poblaciones y los modelos estadísticos y matemáticos se irían sumando para configurar lo que hoy conocemos como neodarwinismo o Teoría Sintética de la Evolución, que, como su propio nombre indica, trata de compendiar el conocimiento sobre herencia y evolución que se ha ido generando durante los últimos siglos.

Sin duda, la clave de este puzzle la constituye el sustrato principal de la disciplina genética, el ADN. La primera pieza para construir la idea actual que de esta disciplina poseemos la puso, en 1869, el biólogo suizo Friedrich Miescher, quien aisló núcleos de distintos tipos celulares e identificó en ellos una sustancia rica en fosfatos que denominó nucleína. Posteriormente, entre 1889 y 1920, se comenzaría a desentrañar la naturaleza molecular de dicha sustancia. Son relevantes los descubrimientos en cuanto a la composición del ADN de Richard Altmann (naturaleza ácida del mismo), Albrecht Kossel (presencia de bases nitrogenadas) y Phoebus Levene (grupos fosfato y ribosa). En 1940, estudiando la composición del ADN, Erwin Chargaff detecta una proporción fija de los distintos tipos de bases nitrogenadas. Sin embargo, no estaba claro todavía si el ADN era una molécula muy variable o una repetición monótona de unas pocas unidades.

Cruciales para el devenir de esta historia serían los estudios llevados a cabo para desentrañar la función del ADN. En 1928, Frederick Griffith, tratando de encontrar una vacuna contra la neumonía, se dio cuenta de que bacterias inoñas podían adquirir capacidades patogénicas al quedar en contacto con bacterias infectivas muertas. A esto lo denominó *principio transformante*, aunque su naturaleza era aún incierta. Serían Oswald Avery, Maclyn McCarty y Colin MacLeod quienes determinarían, en 1944, que el ADN era este principio transformante y que esta molécula es la portadora de la información genética. Posteriormente, en 1952, Alfred Hershey y Martha Chase, trabajando con bacteriófagos (virus que atacan a bacterias), confirmarían finalmente esta teoría. Los bacteriófagos se

componen exclusivamente de ADN y proteínas. Marcando radiactivamente uno y otras, verificaron la implicación del ADN en la transformación. En el capítulo 8 se puede leer más acerca del concepto de gen y de la caracterización molecular de los genes responsables de los rasgos estudiados por Mendel.

Se inicia, entonces, una carrera para descifrar la estructura tridimensional del ADN. Linnus 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 dos 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. Finalmente, Franklin (por su muerte prematura y por desavenencias de tipo personal) quedaría relegada a un segundo plano y apartada de la concesión del Premio Nobel de Medicina que les fue otorgado en 1962 al resto de investigadores del equipo por este descubrimiento.

El descubrimiento de que el ADN es la 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. Este es el denominado Dogma Central de la Biología. Probablemente, uno de los descubrimientos más relevantes lo hizo el bioquímico americano Kary Mullis, que 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, de la que volveremos a hablar al final de este prefacio), 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 al nacimiento y el desarrollo del Proyecto Genoma Humano, la epigenética (véase el capítulo 9), la transgénesis, la clonación de seres vivos, la edición genética y la medicina personalizada.

Existe una última implicación inherente de los ensayos de Mendel y su posterior redescubrimiento en el concepto de evolución. ¿Cómo afectaron las ideas mendelianas a la construcción de este concepto? Hoy día, sabemos que todas las especies hunden sus raíces en un lejano ancestro

común y que los cambios producidos en sus genomas, posteriormente seleccionados, han dado lugar a la historia natural que hoy conocemos. Sin embargo, este conocimiento es muy actual y desentrañarlo supuso un largo e intrincado camino. Para comprender íntegramente qué mecanismos intrínsecos operaban detrás de la evolución fue imprescindible vencer el concepto de invariabilidad de las especies. Darwin, en su Teoría de la Evolución por Selección Natural, propone la idea de que esta variación sería el sustrato sobre el que la selección natural actuaría en beneficio de los mejor adaptados. Otros, antes que él, habían ya preparado el terreno percibiendo cambios en los individuos de una misma especie y/o proponiendo mecanismos evolutivos que explicaban la herencia de los caracteres y su posterior mantenimiento generación tras generación. Valga el ejemplo de Erasmus Darwin (abuelo de Charles) y, sobre todo, de Alfred Russel Wallace o Jean-Baptiste Lamarck, quienes comenzaron a esbozar teorías evolutivas basadas en la variación.

Es aquí donde entra en juego otro término fundamental en genética, la mutación. *Mutación* proviene del latín *mutatio*, *mutatiōnis*, que a su vez se deriva del verbo *mutāre*, que se traduce como 'mudar', 'cambiar'. Por cierto, esta palabra, *mutación*, ha sido incorporada también al acervo lingüístico de la calle en referencia a cambios producidos en cualquier contexto, no necesariamente biológico, sino también físico, social, histórico... Curiosamente, y al contrario de lo que ocurre en genética, para la mayor parte de los hablantes este término presenta un significado negativo o peyorativo. En sentido biológico, la mutación es fuente principal de variabilidad genética y, por lo tanto, materia prima de la evolución. Es decir, todos los organismos que existen y han existido lo han sido en parte gracias a la mutación. Pero la mutación es, parafraseando a Forrest Gump, como una caja de bombones; nunca sabes lo te va a tocar. Esto es, en qué lugar del genoma tendrá lugar la mutación, cuándo se producirá y de qué tipo de mutación se tratará son elementos que pertenecen únicamente al azar. Para saber más de este tema, véase, por ejemplo, el capítulo 12.

Además de lo dicho, la mutación es una herramienta importantísima en estudios genéticos. De hecho, constituye la base de un procedimiento denominado *disección genética*, que consiste en determinar la función de un determinado gen (o parte del genoma) mediante la inactivación del mismo. Esto es, en lugar de analizar el organismo como un todo para tratar de comprender sus distintas partes, se trataría de analizar detenidamente y por separado pieza por pieza de la maquinaria genética

y entender qué papel juega esta en el engranaje total del organismo. Es decir, el estudio de la alteración de un proceso identifica el elemento causante del funcionamiento normal (gen). La inactivación de un gen puede producirse por una mutación natural, como las que frecuentemente pueden observarse en la naturaleza. Por ejemplo, las variedades de uva blanca habrían surgido de las de uva morada a partir de una mutación que neutraliza la acción del gen productor del pigmento de estos frutos. La inactivación puede llevarse a cabo, también, de manera aleatoria por mutagénesis no dirigida; utilizando agentes mutagénicos se modifica la secuencia de genes al azar (lo que normalmente resulta en la producción de un producto o productos proteicos no funcionales, esto es, la inactivación del gen), para después rastrear qué zonas se han mutado y relacionarlas con los efectos fenotípicos originados. Una parte importantísima de las variedades vegetales que hoy día consumimos se han producido de esta manera. Valga mencionar aquí algunos ejemplos de frutas sin semilla, como la sandía o la uva, o las múltiples variedades que se han generado de ciertos vegetales (tomates, manzanas, calabacines...). Los recientes y constantes avances en secuenciación nos permiten, incluso, determinar el gen causante del rasgo, localizar la posición física de la mutación causante del cambio y obtener su secuencia completa. Es más, gracias a este conocimiento, la inactivación de la que hablábamos puede llevarse a cabo de forma dirigida. En este sentido, en los últimos años ha surgido la tecnología CRISPR, unas tijeras moleculares basadas en un primitivo sistema inmunitario procarionta que nos permite hacer cortes en zonas específicas del genoma. Esto nos posibilita, entre otras cosas, inactivar genes ad hoc, para originar así los denominados organismos *knockout* y, como en la aproximación anterior, determinar la función de un determinado gen por, podríamos decir, inacción. Gracias a su especificidad, esta tecnología está permitiendo ya no solo anular la actividad de genes concretos, sino cambiar su secuencia. Esto permite sustituir copias mutadas de un gen por otras sanas, con las enormes implicaciones que esto tiene en el campo agroalimentario y, sobre todo, biomédico.

Teniendo en consideración todo lo expuesto a lo largo de este escrito, queda claro que en la sociedad en la que Mendel vivió existía una masa crítica de investigadores y pensadores cuyos estudios giraban, de alguna manera, en torno a los mecanismos de la herencia. Esto, junto con el desarrollo de la tecnología y del método científico, propició la existencia en la sociedad de finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX de un caldo de cultivo que daría paso a la generación y el posterior calado

de las distintas teorías que explicaban los mecanismos de la herencia y cómo estos operaban en relación a la evolución de las especies.

Podría equipararse este hecho a lo que el sociólogo Emile Durkheim llamó *efervescencia colectiva*, para referirse a aquellas experiencias compartidas por grupos humanos y que, por lo general, producen cambio y transformación social. Se refiere Durkheim al sentimiento de fraternidad, de sentido de humanidad y trascendencia que pueden provocar determinados momentos de éxtasis religioso, pero, también, eventos deportivos, rituales, danzas y demás celebraciones colectivas.

Es posible que en la actualidad estemos asistiendo a un nuevo momento de efervescencia colectiva en torno a la biotecnología. Los avances conseguidos en este campo nos han permitido con relativa facilidad conocer las relaciones de parentesco entre todos los seres vivos que habitan o habitaron este planeta, clonar alguno de ellos, secuenciar sus genomas completos y comenzar a conocer la función de cada uno de los elementos que los componen, mapearlos y modificarlos para nuestro beneficio. Además, contamos con herramientas para identificar a individuos concretos y relacionarlos con sus parientes (véase el capítulo 17), hacer predicciones sobre las patologías que sufrirán en el futuro y, en algunos casos, curarlos con herramientas específicas o, al menos, aminorarles su sufrimiento. En definitiva, hoy día la genética tiene impacto en cuestiones médicas, ambientales, evolutivas, jurídicas y éticas y ha supuesto en muchos casos la apertura de una nueva caja de Pandora por su capacidad de cambiar las características de los organismos. En este contexto, podemos encuadrar la fuerte controversia que suscitan los organismos modificados genéticamente o transgénicos o las nuevas tecnologías de edición génica, abanderadas por la metodología CRISPR-Cas y la clonación.

Tal y como acabamos de ver, la genética, a partir de su origen mendeliano, ha experimentado un enorme desarrollo que afecta a numerosas especialidades, incluso tiene influencia en aspectos sociales de la humanidad (véase el capítulo 20). Ya en los años iniciales de la disciplina, Hermann Joseph Muller se preguntaba si los genetistas tendrían que acabar formándose en otras disciplinas como la zoología, la botánica, la microbiología, la fisiología o la ecología, por citar solo algunos ejemplos. Sin embargo, considerando los avances alcanzados en biomedicina, biocomputación e ingeniería genética en los últimos años, y dado que la genética se ha convertido en una herramienta de uso común en distintas áreas no directamente relacionadas, podríamos darle la vuelta a la cuestión

de Muller de tal forma que sería lícito preguntarse si se han transformado los zoólogos, botánicos, microbiólogos, fisiólogos o ecólogos actuales en genetistas. La genética ocupa un puesto central entre las ciencias biológicas y médicas, pues todas ellas tienen como nexo común a los ácidos nucleicos (ADN y ARN), que se transmiten de una generación a otra de acuerdo con las reglas de la transmisión mendeliana.

Comenzábamos este breve relato hablando de la transferencia del término *gen* al lenguaje de la calle, continuábamos hablando del uso habitual de la palabra *mutación* y podríamos continuar enumerando un sinfín de ejemplos que corroboran que los términos genéticos se filtran frecuentemente al lenguaje cotidiano. Esta afirmación es especialmente cierta en un contexto de pandemia como el que estamos viviendo. Actualmente, todo hijo de vecino (sin conocer muy bien su significado real, todo sea dicho) habla con elocuencia sobre la PCR (*peceerre*); o “el” PCR, para disgusto de los que llevamos toda la vida utilizando la técnica, que para ellos es un test (masculino), pero para nosotros es una reacción en cadena (femenina) (PCR viene del inglés *Polymerase Chain Reaction* o reacción en cadena de la polimerasa), cuestión de matices. Acabamos de ver cómo a partir de la genética mendeliana se han ramificado y desarrollado numerosas áreas, gracias a las cuales comprendemos ahora, entre otras muchas cosas, las complejas relaciones existentes entre los genes de un organismo. Cabría entonces preguntarse si, en relación a esta evolución paralela del lenguaje y la genética, no terminaremos hablando de interacciones genéticas para referirnos al mal humor de Fulano o Mengano, o de poligenes y familias génicas para justificar un comportamiento agresivo de los habitantes de un país o una propensión a estar más rellenito de la cuenta. El tiempo dirá si el mendelismo trasciende más allá en lo tocante al lenguaje, como lo ha hecho en la ciencia a la que dio lugar unos cuantos lustros atrás. A pesar de todo lo dicho, una cosa está clara: ninguna de las áreas de la genética actual ha puesto en entredicho las conclusiones de los experimentos de Mendel. Los postulados mendelianos hoy están más vivos que nunca, 200 años después del nacimiento de su valedor. ¡Larga vida al mendelismo! ¡Próspero futuro a la genética!

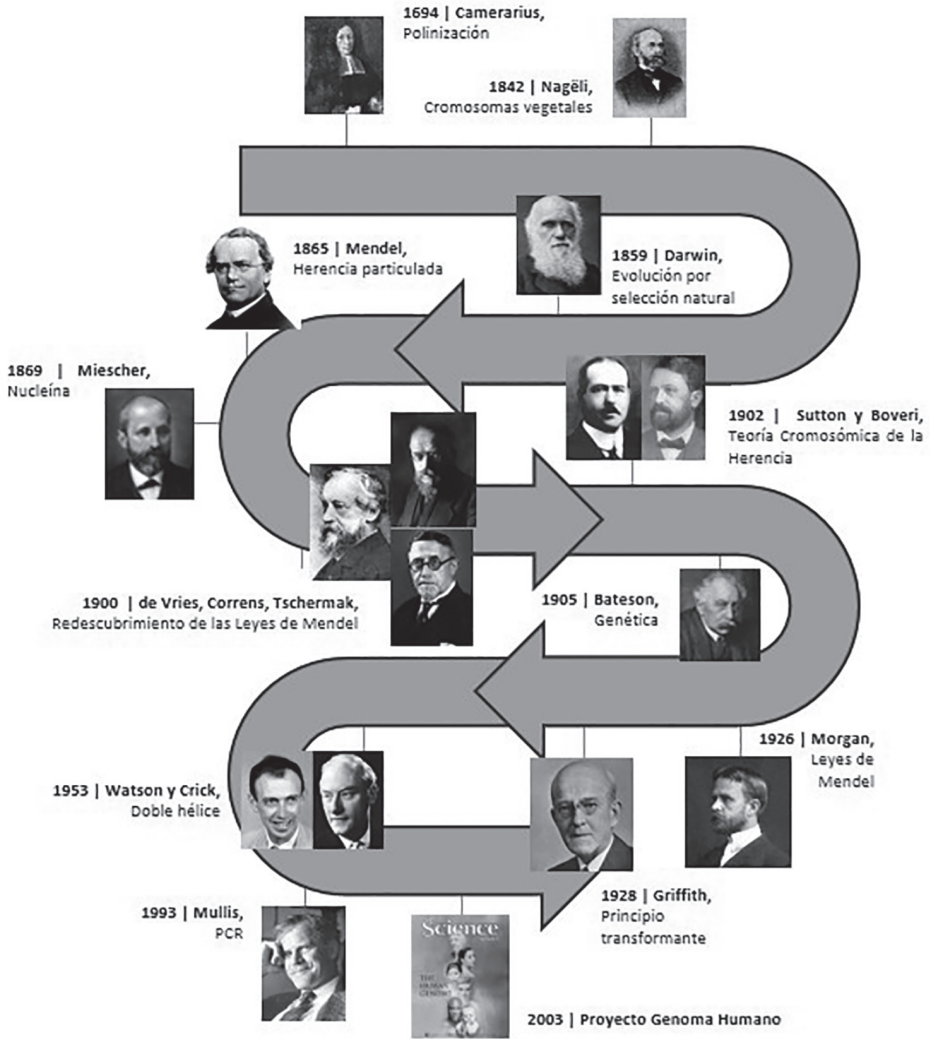


FIGURA 1. Línea de tiempo con los acontecimientos más destacables en relación al desarrollo de la genética.

I
EL ORIGEN DE LA REVOLUCIÓN

Capítulo 1

Mendel, un científico paradigmático

Sus experimentos, polémicas y curiosidades

Óscar Huertas Rosales



PARECE LÓGICO EN ESTE PRIMER CAPÍTULO comenzar contando quién era el protagonista e inspirador de esta obra coral. Se trata nada menos que de Gregor Johann Mendel. Y tiene todo el sentido que nos acordemos de Mendel en el 200 aniversario de su nacimiento en la actual República Checa un 20 de julio de 1822. Sin embargo, esta obra (ni tan siquiera este capítulo primero) no es una biografía sobre el científico y religioso que ostenta, según mi opinión, el discutido título de Padre de la Genética. Ríos de tinta han recorrido nuestras bibliotecas, libros de texto, talleres, charlas y artículos. Pocos científicos en la historia han sido tan citados, y pocos experimentos, tan conocidos y explicados como los de sus famosos guisantes o arvejas. Hoy en día es un personaje bien conocido y sus experimentos se cuentan en las aulas de medio mundo. Yo mismo pasé meses explicando una y otra vez los experimentos de Mendel en el Parque de las Ciencias de Granada durante el año 2009, el año del bicentenario del nacimiento de Darwin, en una exposición dedicada al naturalista inglés que contaba con un taller de genética mendeliana como actividad final. Las familias que por allí pasaban tenían la oportunidad de estudiar rasgos físicos humanos que tienen una herencia muy similar a la que describió Mendel y que podréis ver en los siguientes capítulos.

También es cierto que la verdadera historia de Mendel y sus experimentos pocas veces se cuentan de forma correcta. Ha sido tantas veces endiosado como denostado y todo por no conocer detalles importantes del contexto de su época. Sin embargo, no siempre ha gozado de la fama que se le reconoce hoy en día. En el capítulo de nuestro compañero Alberto Gomis se nos explica que fue olvidado durante años y hubo de ser redescubierto años más tarde.

«Tenemos que distinguir entre Mendel, el hombre, que murió en 1884, y Mendel, el icono de la ciencia, que nació en 1900 y sigue hoy vivo y coleando», dice en una entrevista Gregory Radick, presidente de la British Society for the History of Science.

Mendel, el hombre, no fue culpable de simplificar en exceso la herencia, porque, hasta donde los historiadores podemos decir, no estaba realmente interesado en la herencia: estaba interesado en los híbridos y en entender por qué a veces los híbridos son estables y otras veces inestables. Pero Mendel, el icono —el que reconstruyeron los biólogos desde 1900 como la clave de una nueva ciencia «mendeliana» de la herencia— es un tema diferente.

Un apunte sobre fechas. Darwin publicó *El origen de las especies* en 1859, solo seis años antes de que Mendel presentara sus datos en público en 1865. Seguía por aquel entonces buscando un mecanismo de la herencia que sustentara su teoría de la evolución, pero, como nos contará Antonio Quesada en su capítulo, nunca llegó a conocer los trabajos del monje austriaco.

Comenzaré contando algunos datos y curiosidades sobre Mendel que no pretenden ser una biografía concienzuda. En las lecturas recomendadas tienes algunas buenas propuestas para esa parte, así como en el capítulo siguiente, de Manuel Ruiz Rejón.

Gregor Johann Mendel no tenía a priori una gran pasión por la ciencia. Con 21 años tomó el nombre de padre Gregorio al ingresar como fraile agustino en el convento de agustinos del actual Brno. Cuatro años más tarde es ordenado sacerdote y en 1849, con 27 años, realiza el examen para ser profesor en la escuela secundaria de Znoimo. Suspendió. No pasa nada. Hasta el «Padre de la Genética» puede suspender un examen y hacer bueno el dicho de que no hay mal que por bien no venga (expresado de forma más moderna como «Lo que sucede, conviene»). Al año siguiente comienza a estudiar Historia, Botánica, Física, Química y Matemáticas en la Universidad de Viena. Allí comenzó a entrar en contacto con la anatomía y la fisiología vegetal y el uso del microscopio de la mano del botánico Franz Unger, gran aficionado al estudio de la teoría celular (lo que influirá en la obra de Mendel) y adepto a una visión predarwiniana de la evolución.

No pienses, sin embargo, que desde ese momento dedicó toda su vida a la botánica, ni mucho menos. Ni siquiera trabajó solo con guisantes. Los intereses de Mendel eran muy variados. En su momento disfrutaba del estudio del clima, la astronomía y las teorías de la evolución. A lo largo

de su vida fue miembro, director y fundador de numerosas sociedades locales, como la Asociación Meteorológica de Austria o la Sociedad Real e Imperial de Moravia y Silesia para una Mejor Agricultura, entre otras. Realizó varios experimentos en apicultura sobre cruce de abejas que no salieron demasiado bien debido a que las abejas que criaba eran increíblemente violentas. El propio Mendel reconocía que sus años de trabajo con las abejas fueron muy frustrantes.

Mendel discutió la hipótesis de Jan Dzierzon que enunciaba que las reinas infértiles o los huevos que no eran fecundados por machos producían zánganos, produciéndose reproducción sexual en las hembras y reproducción «asexual» en los machos y zánganos. A este proceso Jan lo denominó partenogénesis y fue confirmado por hibridación controlada, si bien no se pudo hacer en vida de Mendel. (Aclaración: en sentido estricto, una partenogénesis meiótica como la que se produce en abejas se puede considerar reproducción sexual aun cuando no implica fecundación, ya que los óvulos realizan recombinación; existen partenogénesis no meióticas en algunos platelmintos, algunos insectos y algunos anfibios, y esa sí sería reproducción asexual sin lugar a dudas).

Mendel construyó una jaula de tejido de 4x4 metros situando la colmena en el interior para realizar su objetivo, que era hacer los cruces necesarios para lograr los híbridos de diferentes razas de abejas sin la presencia de zánganos extraños en el proceso. Seguramente la intención de Mendel era observar la segregación de caracteres genéticos, pero no lo consiguió. Hasta 36 colmenas de varias razas y especies de todo el mundo formaban parte de las posesiones del prelado donde residía Mendel.

Mendel fue un miembro activo de la Sociedad de Apicultura de Brno y en 1871 sería nombrado presidente de la misma hasta que rechazase el cargo en 1874 por razones personales.

Pero esto no es lo que tú has leído sobre Mendel, ¿cierto?, aquí lo que esperas leer es algo sobre plantas. Antes tenemos que hablar sobre un problema, el problema de los híbridos.

EL PROBLEMA DE LOS HÍBRIDOS

En no pocos textos se asigna a Mendel el mérito de ser quien inauguró los estudios de genética, tener intención de explicar la herencia y poco

menos que proponer un mecanismo para la evolución que a Darwin se le resistía. Nada más lejos de la realidad. La historia oficial ha construido una tradición genética que nunca existió, y autores como Pablo Lorenzano la han defendido, como veremos a continuación, pero me gustaría que te fijes ahora en esta frase.

El filósofo e historiador de la ciencia francés Georges Canguilhem escribió:

En tanto un análisis crítico de textos y trabajos que han sido acercados los unos a los otros mediante una interpenetración heurística de los tiempos no haya demostrado expresamente que entre dos investigadores hay tanto identidad del problema y de la intención de la investigación como identidad del significado de los conceptos fundamentales y una identidad de los sistemas conceptuales a partir de los cuales los conceptos tienen sentido, entonces es artificial y arbitrario e inadecuado en la auténtica historia de la ciencia colocar a dos autores científicos en una sucesión lógica de comienzo y fin o de anticipación y realización.

En tiempos de Mendel era un hecho generalmente aceptado que los rasgos hereditarios de cualquier especie se obtenían simplemente de la mezcla diluida de los rasgos que estaban presentes en ambos progenitores y también era comúnmente aceptado que las generaciones futuras de un híbrido volverían a su forma original, lo que implicaba que un híbrido nunca podría crear formas nuevas. Durante el siglo XIX se pueden reconocer básicamente dos tradiciones de investigación diferentes en el estudio de la variación biológica:

- 1 La tradición de los criadores (criadores de animales y cultivadores de plantas) era la de las personas prácticas que querían saber cómo podían ser creadas y fijadas en la descendencia nuevas variedades económicamente útiles en cuanto a productividad, resistencia, etcétera, a partir de variedades ya existentes, pero que diferían en unos pocos caracteres. Autores como T. Knight, Seton, Goss y Sagaret proporcionaron ejemplos de fenómenos hoy conocidos como la dominancia y la segregación sin haber determinado sus razones numéricas.
- 2 La tradición de los hibridistas (o criadores de especies) poseía un mayor trasfondo académico y, partiendo del problema de la sexualidad de las plantas, se ocuparon del problema surgido en el siglo XVIII de si podrían producirse nuevas especies a partir del cruzamiento de

especies ya existentes. La *doctrina de la creación especial* afirmaba que todas las especies existentes son una creación inmediata de Dios. Sin embargo, ciertos híbridos que aparecen en la naturaleza y que también se pueden producir de manera artificial dan lugar a nuevas especies constantes originadas a partir de cruzamiento de especies ya existentes. Quienes estaban a favor de la doctrina de la creación especial esgrimían los fenómenos de regreso y transformación de híbridos además de la infecundidad de las especies híbridas, teoría frente a la cual existían algunos autores que desmentían o matizaban estas observaciones.

Cuando Mendel plantea el objetivo de su trabajo, en las «Observaciones introductorias» a sus *Versuche* (cuya traducción del alemán al español puedes leer en el apéndice de este libro), lo hace del siguiente modo:

La fertilización artificial, llevada a cabo en plantas ornamentales para obtener nuevas variedades de color, motivaron los experimentos que se discutirán aquí. La llamativa regularidad con que las mismas formas híbridas reaparecen siempre, en cuanto ha ocurrido fertilización entre especies iguales, dio el estímulo para la realización de posteriores experimentos, cuya función era seguir el desarrollo de los híbridos en sus descendientes.

Y más adelante continúa:

Si todavía no se ha logrado proponer una ley válida general para la formación y desarrollo de los híbridos, nadie que conozca la extensión de la tarea y sepa apreciar las dificultades con las que se enfrentan experimentos de este tipo debe sorprenderse.

Esto significa que Mendel, estimulado por los cruzamientos del tipo de los realizados por los *criadores* (cruzamiento de variedades que difieren en algunas pocas características), dirigió su atención a un problema planteado por los *híbridistas* (si pueden originarse nuevas especies a partir del cruzamiento de especies preexistentes), proponiéndose encontrar una ley de validez universal sobre la formación y desarrollo de los híbridos.

Mendel considera la hibridación un problema central de la historia evolutiva por influencia de las guías máximas (*leitende Maximen*) elaboradas

por Schleiden, cofundador de la teoría celular de las plantas, y presenta los resultados de sus experimentos de acuerdo a dichas máximas. Estas guías máximas adaptadas de la filosofía natural matemática y la escuela friesiana indicaban que las inducciones e hipótesis son orientadas, juzgadas y justificadas del siguiente modo:

- A Máxima de la historia del desarrollo. Toda hipótesis, toda inducción en la botánica que no estén orientadas por la historia del desarrollo deben rechazarse incondicionalmente.
- B Máxima de la autonomía de las células de las plantas. Toda hipótesis, toda inducción que no apunten a explicar los procesos que ocurren en la planta como resultado de los cambios que tienen lugar en las células individuales deben rechazarse incondicionalmente.

En el artículo de Mendel se pueden diferenciar dos partes principales o niveles correspondientes a estas guías máximas: por un lado, una parte en la que se investiga y propone la ley sobre la formación y el desarrollo de los híbridos, esto es, una parte que se mueve a nivel empírico y que corresponde a la máxima de la historia del desarrollo de Schleiden; por otro lado, una parte en la que se intenta reducir la fundamentación y la explicación de la ley nombrada antes a la constitución y agrupación de los elementos celulares, siendo esto una parte más teórica y correspondiente a la máxima de autonomía de las células de las plantas.

LOS EXPERIMENTOS DE MENDEL

Mendel critica y reprocha a los hibridistas, no sin razón, su falta de datos. Ellos no dicen cuáles de las distintas formas aparecen en la descendencia híbrida, si estas formas aparecen en todas y cada una de las generaciones, en qué números aparecen y si hay un patrón reconocible de ello en proporciones. Estaba convencido de que, si había una ley sobre la formación y desarrollo de los híbridos, las matemáticas y la estadística debían formar parte del análisis.

Mendel siguió atentamente en sus experimentos los resultados del cruce entre tipos de arvejas que se diferenciaban claramente en siete pares de caracteres o siete propiedades separadas. Seguramente estudió más caracteres, pero no consiguió un resultado tan claro, a priori, como con estos siete.