



Mendel versus Darwin

¿Qué se aprende de comparaciones?

Gabriel Gellon

Asociación Civil Expedición Ciencia

La dilucidación de los mecanismos de la herencia biológica y la comprensión de cómo evolucionó la vida en la Tierra constituyen dos pilares sobre los que se apoya una parte sustancial de la biología actual. Los fundadores de esas ramas de la ciencia, sin embargo, construyeron en formas muy distintas el crucial conocimiento que aportaron a la humanidad.

Tres titanes

Apenas Charles Darwin (1809-1882) publicó *El origen de las especies* en 1859, se hizo evidente en la comunidad científica que había que dilucidar los misterios que gobiernan la herencia. La teoría de la selección natural descansaba sobre la idea de que los individuos con características más ventajosas dejarían más descendencia, y en que si esas características eran heredables, estarían presentes en mayor abundancia en generaciones sucesivas. Pero, ¿qué convierte a una característica en heredable y cómo se hereda? La última mitad del siglo XIX vio esfuerzos importantes y múltiples por delimitar esas preguntas y proponer respuestas. Tres de esos esfuerzos resultaron de especial importancia para la biología; las diferencias entre ellos son ilustrativas de las formas en que los científicos plantean sus interrogantes, y del destino que sufren sus ideas con el correr del tiempo. Dicho sin eufemismos: ¿por qué algunas ideas sobreviven y tienen éxito mientras otras son abandonadas y quedan relegadas a los textos de historia?

Darwin

El primero en enfrentar el problema planteado por su teoría fue el mismo Darwin. En 1868 publicó *La variación de animales y plantas en domesticación*. En ese libro delineó una teoría genética com-

pleta, que quizá sea el único gran fracaso del destacado pensador. Postuló que todas las partes de los organismos, aun las microscópicas, poseían unos factores –a los que llamó *gémulas*–, producidos por esas mismas partes, las que a la vez podían regenerarlos. Las gémulas viajarían por todo el cuerpo y serían transmitidas de progenitores a progenie. La idea explica algunos de los fenómenos más básicos de la herencia. Primero, los organismos son diferentes unos de otros; esto se debe, sencillamente, a tener diferentes tipos de gémulas. Segundo, los hijos se parecen a sus padres: obviamente, porque estos les pasan sus gémulas. Las gémulas de padre y madre se suman en la progenie; pero cómo interactúan entre ellas para producir las características del nuevo individuo es algo que quedó sin resolver por Darwin.

Para este, las gémulas debían viajar por todo el cuerpo. ¿Por qué? En primer lugar, para poder llevar la información desde las partes (por ejemplo, de un dedo) a las gónadas, donde se producen los óvulos y espermatozoides, que son, ostensiblemente en muchos organismos, el vehículo por el cual las gémulas pasarían de una generación a otra. En segundo lugar, para producir la regeneración de miembros en muchas especies. Si cortamos la pata de una salamandra, por ejemplo, le crece otra. Las gémulas correspondientes a la pata deben estar en otro lugar diferente que la pata, para que el muñón pueda formar perfectamente nuevos dedos.

Este último aspecto de la teoría presentó un grave problema. Otro investigador, Francis Galton –por casualidad primo de Darwin– concluyó que si las gémulas



viajan por el cuerpo deben necesariamente estar en la sangre. Ello quiere decir que en una transfusión pasarían gémulas de un individuo a otro y, de acuerdo con las ideas de Darwin, se alojarían en el segundo y proveerían información a la descendencia de este. Galton inyectó sangre de conejos de un color en otros distintos y observó luego la progenie de los receptores de sangre foránea. ¿Habían adquirido la capacidad de transmitir el color del pelaje de los dadores? El resultado fue negativo: no encontró evidencia de que existieran gémulas nadando en la sangre de los conejos.

Weismann

No mucho después que Darwin, el pensador alemán August Weismann (1834-1914) comenzó a difundir una poderosa serie de ideas sobre la herencia. Era un evolucionista convencido y, como Darwin, estaba preocupado por comprender los mecanismos de la herencia, para profundizar los conceptos relacionados con la selección natural. Observó que las modificaciones impuestas por el ambiente nunca aparecen en la generación siguiente. Observó también que en ciertas especies las primeras divisiones celulares del embrión producen un linaje destinado a formar las gónadas y gametas, y otro linaje destinado a dar lugar al resto del cuerpo. Sugirió entonces que en la primera célula existe suficiente información para formar todo el organismo, pero a medida que se producen divisiones celulares, la información se divide asimétricamente, de modo que algunas células pueden formar ciertas estructuras, porque tienen la información para hacerlas, pero no otras, para las que carecen de esa información. Las gametas serían las únicas células que siguen manteniendo la totalidad de la información genética. Esta idea desató una serie interesante de experimentos para ponerla a prueba, particularmente los de los alemanes Hans Driesch (1867-1941) y Wilhelm Roux (1850-1924), que marcaron el inicio de la embriología experimental (ver 'Manipuladores de embriones', CIENCIA HOY 19, 109:46-49, febrero-marzo de 2009). Pero los resultados, al principio ambiguos, terminaron luego por contradecir las ideas de Weismann.

Mendel

Por la misma época, y sin que los otros tuvieran noticias de ello, el monje agustino Gregor Mendel (1822-1884), de la abadía de Santo Tomás en Brno, hizo unos experimentos con arvejas que sentarían las bases de la genética actual. Atacó de lleno la cuestión de cómo combinar la información de fuente materna con la de fuente paterna. Se sabía que con frecuencia la progenie hereda una característica de un progenitor pero no del otro, algo que se puede explicar fácilmente aduciendo que parte de la información se pierde. Pero también se había observado que dos progenitores iguales daban origen en ocasiones a progenie distinta de ellos. Por ejemplo, un hombre y una mujer de ojos marrones que tienen un niño de ojos azules. ¿De dónde salió la información para los ojos azules si los padres los tienen marrones? Mendel concibió una teoría por la cual cada individuo tiene dos y solo dos ejemplares de cada fragmento de información, uno proveniente de la madre y otro del padre. Cuando en un individuo esos dos ejemplares o copias son diferentes con respecto a un carácter determinado (por ejemplo, uno es para ojos marrones y el otro para azules) solo una de las características resultará visible (*se expresará*, en la jerga

de los genetistas); la otra, aunque esté, parece que no estuviera. Cada individuo pasa a la siguiente generación solamente una de sus copias, pero la progenie vuelve a tener dos porque recibe la otra del segundo progenitor. Esta idea –sencilla pero sumamente ingeniosa y sutil– tiene importantes implicancias experimentales para quien decida realizar cruzamientos.

El mismo Mendel puso a prueba su teoría realizando una enorme cantidad de cruzamientos de arvejas. Ella predecía resultados tanto cuantitativos como cualitativos. Por ejemplo, entre los segundos, que ciertas características siempre prevalecen sobre otras (se dice que aquellas son *dominantes* y estas *recesivas*), sin importar si vienen de la madre o del padre, si son ventajosas o no, etcétera. Cuantitativamente, la teoría predecía la aparición con determinadas frecuencias de ciertas combinaciones de características. Estos resultados se conocen como la primera y la segunda ley de Mendel.

A diferencia de las ideas de Darwin y Weismann, que sin duda fueron dos gigantes de la biología, las de Mendel alcanzaron éxito perdurable y dieron lugar a un aluvión de experimentos y refinamientos teóricos que, en poco menos de diez años, se habían consolidado en un lenguaje, una disciplina y un programa de investigación maduros. Los libros de genética de 1910 tenían muchas de las mismas ideas que hoy estudiamos en la escuela. ¿Por qué triunfó Mendel?

El bosque y la bellota

Realicemos una pequeña comparación entre los dos personajes más conocidos en ámbitos escolares, Mendel y Darwin.

Notemos, para empezar, que los dos postularon la existencia de entidades imaginarias, que no pudieron ver pero que invocaron para explicar los fenómenos que estaban estudiando. Darwin sugirió que nuestros cuerpos estarían bañados internamente por microscópicas gémulas, de las cuales no sabemos mucho. Por algún misterioso mecanismo de ensamblado, estas darían lugar a las estructuras observables. También sugirió que las gémulas son producidas por esas mismas estructuras, y que pueden migrar por todo el cuerpo. Mendel imaginó la existencia algo que llamó *factores* (más tarde bautizados *pangenes* y después *genes*), los que serían responsables de transmitir los caracteres heredados, de nuevo por mecanismos totalmente desconocidos. También postuló que esos factores tienen dos sabores o formas, y que cada individuo porta dos copias de cada factor o gen. Ninguno sabía qué forma y tamaño tendrían las gémulas o los genes, ni de qué estarían hechos, ni siquiera, verdaderamente, si existirían. Se trataba de idealizaciones teóricas, cuyos fines eran simple y sencillamente entender lo que observaban en la naturaleza.

Si bien ambos científicos estaban interesados en los fenómenos de la herencia, cada uno los observó y estudió de manera diferente.

Darwin procedió con la herencia de manera similar a como lo había hecho al formular la teoría de la evolución. Comenzó por acumular la mayor cantidad de datos que pudo de la mayor cantidad posible de fuentes; consultó a veterinarios, criadores de animales, jardineros, horticultores y coleccionistas. Había reclutado laboriosamente buena parte de ese verdadero ejército de colaboradores mientras escribía *El origen de las especies*. Con los informes que recibía, Darwin comenzó a nadar en un mar de datos, de los cuales era muy difícil extraer conclusiones útiles. Observó

en primer lugar la dificultad de establecer qué constituye una característica heredable, pues puede tratarse de grandes o pequeñas partes de la anatomía, o pueden ser meramente fisiológicas, a veces importantes y otras triviales. Incluso, a veces pueden heredarse y otras no.

La progenie puede mostrar características presentes varias generaciones atrás, es decir, la herencia saltea una o más generaciones. O puede aparecer solamente en uno de los sexos. La transmisión puede darse en los organismos de reproducción sexual, con gametas, o en los que se propagan por simple división celular, que es la forma de reproducción asexual de muchos organismos. La idea de las gémulas fue la respuesta de Darwin, en un esfuerzo por generar una teoría que explique todos estos fenómenos. Dio especial importancia a la capacidad de regeneración de muchos animales y plantas, porque dedujo de ella que la información para hacer cada estructura debe estar presente en las otras partes del cuerpo (hoy en día explicamos esto diciendo que todas las células contienen la información para formar todo el individuo). Darwin manejaba datos sobre palomas, conejos, cebras, caballos, invertebrados marinos, insectos y todo tipo de plantas; incluso sobre seres humanos.

El contraste de Darwin con Mendel no puede ser más grande. En vez de tratar de abarcar un vasto número de especies y tratar de observar todos los posibles tipos de fenómenos, este eligió solo una especie: la arveja. De entre todas las variedades posibles de arvejas, se concentró inicialmente en 34, y finalmente se restringió a 22. Y de entre todas las características posibles de esa especie, se limitó a siete. Tan ajustada fue su elección del objeto de estudio como de los problemas a estudiar. Eligió características que parecían existir en dos variantes posibles, como la forma lisa o arrugada de la semilla, el color amarillo o verde de esta, el largo del tallo, que puede ser chico o grande, etcétera. Su trabajo de cruzamiento constituyó un enorme experimento para poner a prueba la idea de que cada individuo lleva en sí dos copias de cada factor, aunque una de esas copias no se exprese, y que esas copias ni se mezclan ni se destruyen sino que aparecen intactas en la progenie. Para probarlo se valió del recuento de los caracteres de la progenie y del análisis pormenorizado de un caso en extremo acotado.

Podríamos decir que mientras que Darwin tenía la mirada puesta en el bosque, Mendel estaba absorto examinando una simple bellota.

Estilos de hacer ciencia

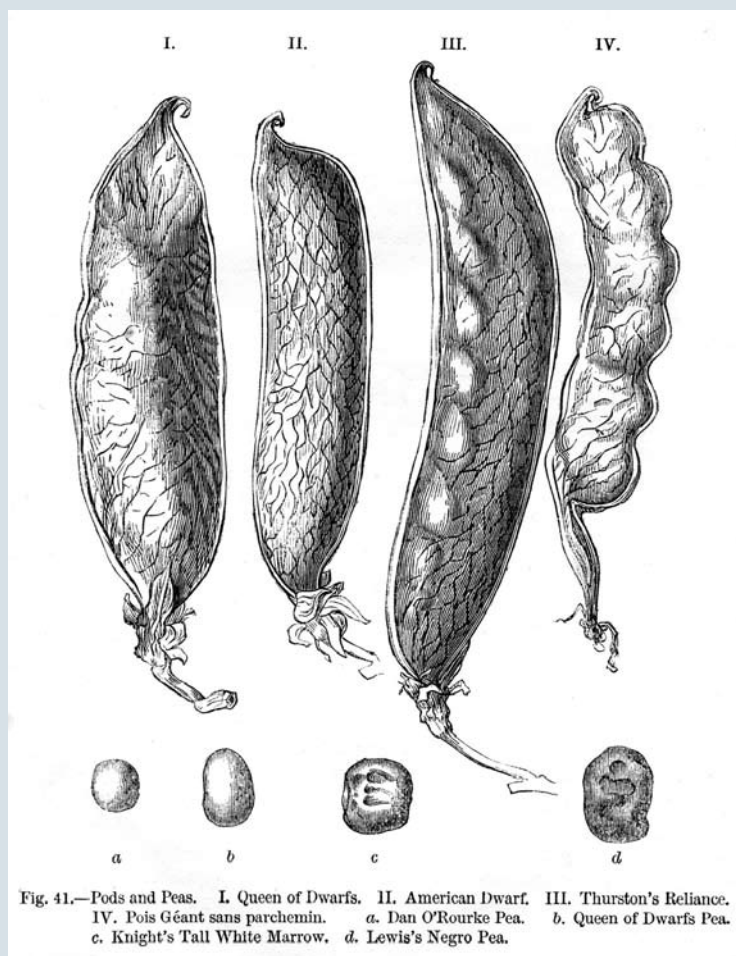
No se trata de una forma buena y una mala de hacer ciencia, sino de diferentes estilos, provenientes de tradiciones distintas y adaptados a diferentes ambientes. Darwin formó su pensamiento de la mano del botánico John Henslow y los geólogos Adam Sedgwick y Charles Lyell, un pensamiento concentrado en los grandes patrones de la naturaleza y el análisis comparativo e histórico. Esta era la forma de analizar el mundo de los naturalistas de los siglos XVIII y XIX, y es una forma de hacerlo que aún importante hoy. Mendel, en cambio, recibió una educación matemática y física; uno de sus maestros fue el físico Christian Doppler. Su estilo es parte de una tradición experimental que se remonta a Galileo. Recordemos que frente al problema del movimiento, los predecesores de Galileo, siguiendo la tradición aristotélica, trataban de concebir esquemas que explicaran lo más posible. Galileo fue uno de los primeros en concentrar su mirada en cuestiones específicas e ignorar deliberadamente el resto. Así, estudió en

detalle la descripción matemática de la caída de bolitas en planos inclinados, sin tener en cuenta por qué caen o cómo se relaciona su desplazamiento con otros tipos de movimiento. Si Darwin fue extraordinariamente fecundo a la hora de desentrañar los misterios del gran panorama de la evolución, no tuvo el mismo éxito en el caso de la herencia, un asunto mucho más específico.

Ideas inspiradoras

Se dice que una buena teoría es aquella que, por un lado, explica los fenómenos que ya se conocen y, por otro, produce predicciones que pueden ser puestas a prueba. Pero tanto o más importante es cuán fecunda resulta la teoría a la hora de estimular más investigación, sobre todo en la forma de experimentos. Una buena teoría es aquella que sacude el hormiguero y pone a la comunidad científica a trabajar en problemas fructíferos. Las ideas de Darwin sugirieron a Galton sus experimentos con conejos, pero ahí se acabó su capacidad inspiradora. Gémulas o no gémulas, no había mucho más para hacer.

Los experimentos de Mendel, en cambio, trazaron un camino más que obvio. Mendel había probado sus leyes matemáticas con la arveja. ¿Se cumplen esas leyes en otras especies de plantas? ¿Se cumplen en animales? Lo que hay que hacer es sencillísimo: cruzar líneas puras tal como hizo Mendel y contar la progenie igual que hizo él. Y así sucedió. A partir de 1900 esos cruzamientos se convirtieron en un procedimiento crucial para desentrañar nuevas y más fascinantes preguntas.



El principal campeón de esa cruzada fue el británico William Bateson (1861-1926), quien formó a toda una generación de genetistas. Al intentar extender las ideas de Mendel a otros organismos, los científicos encontraron excepciones que respondían a patrones intrigantes, frecuencias en la progenie que no respondían a las proporciones encontradas por el monje, pero que tenían su propia lógica. Bateson y muchos otros se concentraron en esos aparentes desvíos de las leyes de Mendel, y para cada caso formularon explicaciones que implicaban pequeñas modificaciones de las ideas centrales de esas leyes. En vez de debilitar el modelo mendeliano, las excepciones fueron su más fuerte apoyo. (Una de las máximas favoritas de Bateson era *atesora tus excepciones*.) Este grupo encontró que algunas combinaciones de genes eran letales, que ciertos caracteres estaban controlados por dos genes en vez de uno, que había situaciones de dominancia incompleta, o que el sexo del individuo alteraba el resultado.

Mendel había dado con muchísimo más que un simple resultado correcto y esclarecedor: había fundado una metodología que permitía generar nuevas preguntas, descubrir nuevos fenómenos y adentrarse en un nuevo mundo de respuestas.

¿Y en el aula?

¿Qué tiene que ver esta historia comparativa con lo que sucede en el aula? Quizá no ilumine cómo enseñar, pero tiene mucho que decirnos acerca de qué enseñar. Muchas veces, al comienzo de los libros de ciencia encontramos un capítulo introductorio sobre el método científico, la labor de los investigadores, la naturaleza de la ciencia, qué es una ley, una teoría, una hipótesis y otros temas parecidos. Sin embargo, todas esas nociones –que sin duda deben ser enseñadas– no se aprenden con una lectura de definiciones, por más claras y esclarecidas que sean. Hace falta exponer a los estudiantes a situaciones concretas que muestren cómo es la ciencia, qué son las leyes y las teorías, y qué características tienen en casos particulares. Los episodios de la historia de la ciencia brindan ejemplos concretos que dan realidad a esos conceptos. ¿Qué se puede aprender del relato anterior?

1. Las teorías científicas están hechas para explicar la realidad, cosa que con frecuencia hacen mediante entidades imaginarias cuya existencia es conceptualmente útil pero para la que no hay evidencia directa. Los átomos son un ejemplo clásico. Tanto Darwin (gémulas) como Mendel (factores o genes) recurrieron a este tipo de entidades.
2. Las ideas científicas no crecen por mera acumulación. Sin

duda, las de Darwin allanaron el terreno de los investigadores de la herencia, pero en gran parte su construcción teórica fue desechada.

3. Diferentes científicos y distintas disciplinas de las ciencias tienen estilos diversos de abordar problemas. Darwin, en la tradición de los naturalistas, trataba de producir ideas que abarcaran grandes conjuntos de datos. Mendel, en una tradición más propia de la física experimental, trataba de esclarecer cuantitativamente un problema sumamente acotado.
4. La delimitación deliberada del objeto de estudio es una característica importante de buena parte de la investigación científica.
5. En las ciencias muchas veces se usan procedimientos experimentales. No es que Mendel estuviera especialmente interesado en las arvejas. Esas plantitas fueron un instrumento que le permitió explorar cuestiones generalizables. Aun hoy los biólogos eligen organismos determinados (que denominan *modelos experimentales*) para contestar preguntas generales. La mosca de la fruta, para seguir con un ejemplo relacionado con la genética, es uno de esos organismos. Se recurre a ese insecto para estudiar toda una serie de cuestiones centrales de la biología de metazoos, como el desarrollo o el sistema nervioso central.
6. Los cuerpos teóricos tienen ciertas características. Las buenas teorías tratan de conectar conjuntos de fenómenos diferentes y predicen resultados que sin la teoría serían difíciles de imaginar. Pero además son fuente de estímulo para investigaciones adicionales, a veces porque ofrecen nuevas visiones inspiradoras, pero en ocasiones porque proveen un abordaje experimental rico en oportunidades. Este es el caso de la teoría de Mendel.
7. Cuando estudiamos herencia hablamos de las *leyes de Mendel*. Sin embargo, si analizamos sus ideas con cuidado podemos ver en ellas muchas de las características de los cuerpos teóricos. Que no hablemos de la *teoría de Mendel* no significa que no lo sea.

Las teorías son sumamente difíciles de enseñar en el aula. Son ideas complejas que crecen y se validan de diversas maneras (no menos complejas). Pero son las ideas más poderosas que produce la ciencia. No solo debemos enseñar su contenido inmediato, es decir, aquello que intentan explicar –porque justamente son los mejores instrumentos que tiene la humanidad para entender ciertos fenómenos– sino que debemos enseñar también su origen y alcance. Conocer la ciencia nos permite admirarla y criticarla a la vez. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

AUTORES VARIOS, 2009, 'Darwin hoy. El origen de las especies después de un siglo y medio', número temático de *CIENCIA HOY*, 19, 13, octubre-noviembre.

CARLSON EA, 2004. *Mendel's legacy. The origin of classical genetics*, Cold Spring Harbor Laboratory Press.

MAYR E, 1982, *The growth of biological thought. Diversity, evolution, and inheritance*. Harvard University Press.

MOORE JA, 1993, *Science as a way of knowing. The foundations of modern biology*. Harvard University Press.

El trabajo original de Mendel puede leerse (en inglés) en <http://www.mendelweb.org/Mendel.html>.



Gabriel Gellon

Doctor en biología (PhD), Universidad de Yale.

Docente de FLACSO.

Director del portal Experimentar, Ministerio de

Ciencia y Tecnología.

Presidente de la Asociación Civil Expedición Ciencia.

gabriel.gellon@gmail.com