

La enseñanza de la evolución siglo y medio después de *El origen de las especies*

Joseph D McInerney

The National Coalition for Health Professional Education in Genetics

Herencia con variación y selección natural son los dos conceptos clave que explican la diversidad de la vida en la Tierra. La moderna **genética molecular** constituye el instrumento que permite comprender los mecanismos de la evolución. Estas son las ideas que debemos enseñar en los colegios para que los estudiantes comiencen a entender la biología.

Introducción

Charles Darwin extrajo información crítica y conclusiones de los fósiles patagónicos, la geología de los Andes y la fauna de las Galápagos; lo hizo de Sudamérica en general y del actual territorio argentino en particular. Su libro revolucionario, *El origen de las especies*, cuyo 150° aniversario se celebra este año, comienza de la siguiente forma:

A bordo del Beagle como naturalista me asombraron ciertos hechos relacionados con la distribución de los habitantes de Sudamérica y las relaciones geológicas del presente con los pasados habitantes de ese continente. En mi opinión, estos hechos parecen aportar información sobre el origen de las especies –ese misterio de misterios, como ha sido llamado por uno de nuestros más grandes filósofos–.

A pesar de la premonitoria observación de Thomas Henry Huxley (1825-1895) de que las presunciones y conclusiones de *El origen de las especies* resultarían problemáticas para *pequeñas señoras mayores de ambos sexos*, la *opus magnum* de Darwin perdura como uno de los libros más influyentes jamás escritos. Una vez que el manuscrito de lo que llamó un *resumen* dejó la casa de Darwin en la campiña inglesa y se encaminó a manos del editor londinense John Murray, los seres humanos pensantes no pudieron verse a sí mismos –ni al resto de los habitantes del planeta– de la misma manera que antes. El impacto incisivo del libro sobre múltiples y diversas áreas de la empresa intelectual, y su condición de monumento al intelecto humano, hacen de la evolución una pieza central de conocimiento para cualquier persona que se considere educada.

Un continente –y un país– que tuvieron tanta influencia en las ideas de Darwin están en óptimas condiciones para abrazar esas

ideas y hacerlas accesibles al público. Mi propósito en esta nota es resaltar la importancia de enseñar la evolución en la escuela secundaria, que en la Argentina y en muchos otros países constituye la última instancia formal en que el público general está expuesto al contenido y la estructura de las ciencias de la vida.

¿Por que deberíamos enseñar evolución?

Alguien que se oponía a la enseñanza de evolución en las escuelas públicas de los Estados Unidos por razones de fundamentalismo religioso me comentó cierta vez que es posible enseñar biología sin evolución. *Es cierto*, respondí. *Ocurre todo el tiempo, por desgracia. Pero no es posible que los estudiantes comprendan biología en ausencia de una fuerte exposición a la evolución.* Mi respuesta fue una simple reformulación del famoso comentario del eminente biólogo evolutivo y genetista Theodosius Dobzhansky (1900-1975), quien dijo en 1973 que *nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución.* Después de casi cuarenta años, esa frase podría parecer banal y, por su escasa especificidad, inútil para el docente de biología.

Es todo lo contrario. Consideremos, por ejemplo, solo algunos de los temas que podríamos hallar en un curso de biología de escuela secundaria: semejanzas morfológicas entre diferentes grupos taxonómicos, la problemática expansión de resistencia bacteriana a antibióticos, la llamativa conservación de secuencias génicas a través de líneas de parentesco o *filogenias*, la mayor frecuencia de enfermedades genéticas en ciertos grupos étnicos, y la naturaleza y distribución de la variación genética humana a lo ancho y largo

del planeta. Tomados separadamente, estos temas y el espectro completo de observaciones sobre la historia y la naturaleza de la vida en la Tierra solo son hechos aislados y desarticulados; y a menudo permanecen así en la enseñanza de la biología.

El poder perdurable del enunciado de Dobzhansky –y su utilidad para el profesor de biología– quedan de manifiesto cuando hacemos a los estudiantes la siguiente pregunta: *¿Que explicación organiza toda esta información y la unifica?* La evolución es la única explicación científica que proporciona una respuesta satisfactoria, una respuesta que ayuda a los alumnos a reconocer qué fragmentos de información aparentemente no relacionados conforman conceptualmente una unidad.

¿Qué deberíamos enseñar?

El contexto de la evolución

Idealmente, la evolución debería impregnar todos los aspectos de la enseñanza de biología, porque domina todos los aspectos de las ciencias de la vida. La evolución es la trama que unifica la biología y debería ser, por lo tanto, el hilo conductor de la educación biológica. Este es un argumento contra limitar la evolución a uno o dos capítulos del libro de texto y favorable a la integración de perspectivas genéticas en todo el programa.

El recuadro ‘Los componentes centrales de la teoría de la evolución’ sugiere una estructura para introducir a los estudiantes en las ideas centrales de la evolución, que sirva también como criterio para poner todos los temas en debido contexto.

Ernst Mayr, otro coloso de la biología evolutiva del siglo XX, capturó ese contexto en lo que llamó el *modelo explicativo de Darwin sobre la evolución por selección natural*. El planteo de Mayr, que se sintetiza en la figura 1, proporciona un beneficio doble al docente de biología:

1. Resume en forma concisa el argumento que Darwin elaboró minuciosamente en el *Origen*.
2. Ofrece oportunidades de hacer participar a los estudiantes en un aspecto central, a menudo ignorado, de la educación científica: la naturaleza y los métodos de la propia ciencia.

La enseñanza de las ciencias debería ir más allá de informar a los estudiantes los hechos comprobados por ellas, a los que un científico llamó *la retórica de las conclusiones*. Los estudiantes necesitan comprender –y aplicar– los procesos y hábitos mentales que convierten esos hechos en parte del conocimiento científico aceptado.

Como destacó Mayr, Darwin se basó fuertemente en observaciones e inferencias, que son críticas en las ciencias históricas y proporcionan complementos esenciales a la clásica cantinela de los textos de que el ‘método científico’ implica solo experimentos controlados.

En documentos de la Asociación Nacional de Docentes de Ciencias de los Estados Unidos se expresa elegantemente y en forma clara lo anterior:

Diferentes tipos de preguntas requieren diferentes clases de investigación. Algunas investigaciones implican la observación y descripción de objetos, organismos o acontecimientos; otras, la colección de especímenes; otras requieren realizar experimentos cuidadosamente diseñados por los que los científicos procuran obtener evidencia acerca de un proceso o acontecimiento.

Vínculos con otros temas de los programas

Genética. La estructura de la biología moderna resulta en gran medida de la exitosa amalgama de genética y evolución, en lo que todavía se conoce como la *síntesis moderna*, a pesar de haberse originado en las décadas de 1930 y 1940. Si bien el término puede resultar un poco anacrónico, sus supuestos centrales no lo son. No hay tema en biología más asociado con la evolución que la genética, la que en los Estados Unidos por lo común ocupa una porción significativa del programa de biología del secundario (no así en la Argentina, en que no excede el 10% de ese programa).

Considerando la figura 1, la singularidad del individuo va directamente al meollo de la inextricable conexión entre genética y evolución: la genética es el estudio de la variación biológica heredable, la fuente de la individualidad sobre la que actúa la selección natural. Cada estudiante de una clase constituye una viva demostración de individualidad, que el profesor puede explotar para hacer explícita la conexión esencial entre variación y selección. La omisión de señalar explícitamente esa conexión a los estudiantes implica desaprovechar uno de los mensajes esenciales de la educación en biología.

Se puede ver la historia de la genética como una cronología del descubrimiento en cada vez más detalle de las fuentes y la naturaleza de la variación heredable. Darwin sabía que la presencia de variación hereditaria en las poblaciones era fundamental para su tesis, pero no podía explicar la proveniencia de esa variación ni los mecanismos de su transmisión de una generación a la siguiente. Las respuestas correctas lo eludieron, no solo en el momento de la publicación del *Origen* sino, también, por el resto de su vida.

La publicación de los estudios de Gregor Mendel (1822-1884) sobre híbridos de arvejas, realizada en 1865, contenía las respuestas, pero escapó a la atención de Darwin y de los demás biólogos de ese momento, hasta su redescubrimiento en 1900. Siguió el nacimiento de la genética como disciplina a principios del siglo XX, su rápido crecimiento durante los siguientes cuarenta años, y la demostración, en la década de 1940, de que el ADN es el material genético, el portador de información biológica y la fuente definitiva de variación genética.

LOS COMPONENTES CENTRALES DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Variación. La variación dentro de las poblaciones de organismos es condición *sine qua non* de la evolución. Si todos los organismos de una población fueran idénticos, no habría selección diferencial. En palabras de Francisco Ayala, *todas las mutaciones que dan lugar a las variaciones hereditarias surgen por azar*.

Selección. Aquellos organismos cuyas variaciones les dan ventajas en la competencia por recursos –comida o pareja reproductiva, por ejemplo– dejarán más descendientes que aquellos sin ventajas. Por contraste con la variación, *la selección natural no es aleatoria, sino orientada, competitiva y capaz de generar orden o de crear*, dice el mismo Ayala. La selección es acumulativa e iterativa. En largos períodos y en las condiciones ambientales apropiadas, la selección de variaciones favorables puede generar especies nuevas.

Herencia. Las únicas variaciones que importan en la evolución y la especiación son las transmisibles de una generación a la siguiente.

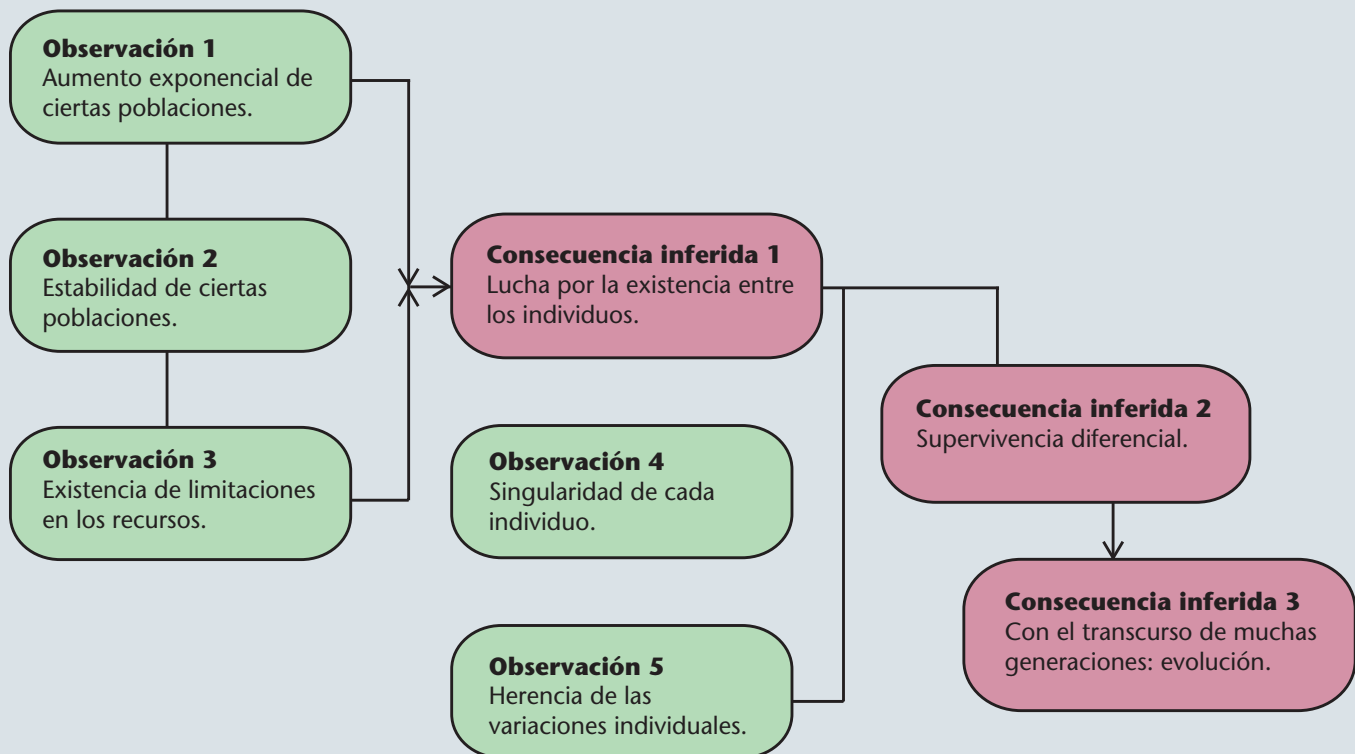


Figura 1. Modelo darwiniano de la evolución por selección natural, tomado de Ernst Mayr (obra citada en las lecturas sugeridas), 1991.

La elucidación de la estructura del ADN por James Watson y Francis Crick en 1953, y la inmediatamente obvia conexión entre esa estructura y las funciones biológicas, aportaron perspectivas adicionales sobre el origen de la variación genética, su paso por las poblaciones y su cometido en la selección natural y en la constitución de las especies o especiación. A cincuenta años del descubrimiento de la doble hélice por parte de Watson y Crick, equipos científicos de todo el mundo registraron la variación genética humana hasta el nivel de cada par individual de bases.

Este notable logro se vuelve más impresionante e informativo por el agregado de secuencias genómicas completas de otras especies, muchas elegidas porque representan transiciones evolutivas interesantes. La genómica comparada, posible gracias a enormes bases de datos genómicos, es quizá la herramienta más poderosa disponible para investigar la relación entre todas las formas de vida en la tierra y la secuencia de descendencia con modificación.

En los últimos tiempos, organizaciones como la Sociedad Americana de Genética Humana han comenzado a expresar su preocupación ante el hecho de que el actual tratamiento de la genética en la escuela secundaria en los Estados Unidos es insuficiente e incompleto, pues suele estar enfocado a caracteres cualitativos monogénicos (originados en un solo gen). Dicho tratamiento recurre a ejemplos como la fibrosis quística o la enfermedad de Huntington, y deja de lado caracteres cuantitativos poligénicos o resultantes de la interacción de múltiples genes y de variables ambientales. A esta última categoría pertenecen las principales causas de mortalidad y morbilidad mundial: enfermedades como cáncer, diabetes, trastornos mentales y patologías cardiovasculares.

La consecuencia para la enseñanza de la evolución es que, por no vincular la genética con esos caracteres cuantitativos, los estudiantes no logran establecer conexiones entre la variación genética de las poblaciones y la selección natural.

Independientemente de cómo cada uno enfoque sus clases, es claro que genética y evolución deberían integrarse, como lo afirma el genetista clínico James Evans:

Como genetistas ocupamos un lugar especial entre aquellos que deben tributo a Charles Darwin [...] La genética moderna se actualiza constantemente por consideraciones evolutivas y, a cambio, proporciona una confirmación espectacular de la teoría de Darwin. No exageramos al decir que nuestra área es una gran comprobación de las predicciones hechas en El origen de las especies.

Salud humana y enfermedad. El recuadro 'Evolución y salud humana' indica algunas cuestiones relacionadas con la salud que demuestran el cometido central de la teoría de la evolución en la comprensión de las causas, la distribución, la prevención y el tratamiento de enfermedades, temas que podrían constituir interesantes áreas de estudio para el alumnado.

¿Por qué existe la enfermedad? La evolución nos ayuda a comprender la existencia de enfermedades: el genoma debe permanecer variable para asegurar la supervivencia de la especie, pero ciertas mutaciones no se adaptan a determinados ambientes. Es lo que conocemos por *enfermedad*. Muchas enfermedades –el aborto espontáneo, por ejemplo– tienen lugar fuera de nuestra vista, pero siguen siendo enfermedades. Se puede considerar la

alta proporción de abortos espontáneos –que llegan a ascender al 50% de las concepciones– como una temprana y severa selección de características individuales o fenotipos incompatibles con el ambiente uterino.

En un sentido profundo, la evolución nos ayuda a comprender las fuerzas históricas que moldearon el genoma humano, y la resistencia y susceptibilidad de la especie humana a la enfermedad, e incluso su probable respuesta a tratamientos. En un documento sobre educación médica se lee:

... la evolución formó al ser humano, que es el paciente, tanto morfológica como molecular, bioquímica y fisiológicamente, los precisos atributos que el médico estudia para hacer un diagnóstico. Y habiendo moldeado esa constitución y su abundante variación, la evolución marcó las formas y los límites de las manifestaciones de la enfermedad.

Resistencia a antibióticos. La infección implica una constante lucha evolutiva entre dos genomas variables: hospedador o huésped y patógeno. La resistencia a los antibióticos ilustra esa batalla y demuestra en tiempo real los tres componentes de la evolución que consigna el recuadro 'Los componentes centrales de la teoría de la evolución': *variación* (en la población de microbios), *selección* (de variaciones que confieran resistencia) y *herencia* o transmisión de variaciones favorables a las generaciones siguientes. Los problemas resultantes de la evolución de microbios resistentes a los antibióticos son pertinentes en todo el mundo, dada la rápida transmisión de enfermedades infecciosas antiguas, posibilitada por veloces viajes internacionales.

En todo el mundo, los estudiantes conocen una de las más prominentes manifestaciones de la infección: la fiebre. Esa respuesta fisiológica a la presencia de agentes infecciosos ha sido documentada en invertebrados, artrópodos y anélidos como reacción a infecciones microbianas, lo que sugiere que tiene una antigüedad de cuatro millones de años.

La fiebre es costosa en términos metabólicos: para que mamíferos y aves puedan mantener una temperatura entre dos y tres grados Celsius por encima de la normal, deben incrementar el consumo de energía un 20%. Por ello, si la fiebre no fuera

EVOLUCIÓN Y SALUD HUMANA

Una comprensión de los mecanismos de la evolución permite estar en mejores condiciones de:

- Combatir la resistencia a antibióticos.
- Diseñar moléculas para detectar y tratar el cáncer.
- Proteger y mejorar el suministro de alimentos.
- Entender la propagación de enfermedades.
- Tratar virus como el VIH.
- Explicar la epidemia de obesidad.
- Predecir la dispersión de la gripe aviar.
- Elegir organismos modelo para investigación.
- Rastrear el origen de enfermedades infecciosas.
- Prevenir reacciones adversas a drogas.

Adaptado de la Federación de Sociedades Americanas de Biología Experimental.

DARWIN POCO CONOCIDO

Valeria Román, Facultad de Ciencias Sociales, UBA

Según una encuesta realizada a 989 adultos argentinos por Ipsos Mori para el British Council en abril pasado, el 65% de los argentinos confiesa que ha oído hablar del naturalista inglés, pero sabe poco sobre su teoría. Una tendencia similar se comprobó en países como Gran Bretaña, Estados Unidos, México, China y Rusia. En otras naciones, los resultados marcaron un mayor desconocimiento. El 62% de los egipcios y el 73% de los sudafricanos admitieron que nunca habían oído algo sobre Darwin.

El escaso conocimiento se relaciona con la falta de atención que ha dado a Darwin el sistema educativo. *En la Argentina, la enseñanza de la teoría evolutiva ha seguido un camino sembrado de conflictos, prejuicios y errores*, sostuvieron Alicia Massarini, Adriana Schnek, Romina Piccinali y Guillermo Folguera en una ponencia que fue presentada en IV Congreso de Comunicación Social de la Ciencia, en Madrid, en noviembre de 2007. Hubo posiciones contrarias a Darwin que se manifestaron sutilmente presionando sobre los contenidos y los libros de texto de la educación pública.

De acuerdo con un relevamiento que llevaron a cabo Silvina Gvirtz y Alejandra Valerani, publicado en la revista *Novedades Educativas* de mayo de 1999, hasta 1920 la mayoría de los libros de la escuela primaria solo decían que los seres vivos fueron creados por Dios y que permanecen inmutables. En cambio, los textos de las escuelas secundarias, a las que accedía solo un sector minoritario de la población, incluían la teoría evolucionista. Después de la década de 1950, empezaron a publicarse textos escolares para primaria que incluyeron las ideas de Darwin. En los contenidos para la educación secundaria aprobados por el Ministerio de Educación, la evolución está completamente ausente hasta 1972 y escasamente representada en las clases: es un tema separado en la unidad final del programa de cuarto año.

El eje evolutivo se incorporó en los contenidos básicos comunes para la primaria en 1995 y en la educación secundaria, dos años más tarde. Hubo presiones de sectores religiosos sobre el gobierno del presidente Carlos Menem que consiguieron que no se nombrase a Darwin y a Lamarck en los programas. Pero no se prohibió explícitamente hacerlo, por lo cual se pudo hablar de ambos pensadores en clase.

Un problema serio es que los docentes no recibieron capacitación adecuada. En la ponencia citada, Massarini y sus colaboradores presentaron una encuesta a ciento once profesores de biología de la ciudad de Buenos Aires y el conurbano bonaerense, que se hizo entre 2004 y 2007. El 33% de los docentes manifestó que los principales contenidos de la biología evolutiva estuvieron ausentes de los programas de su formación. Y lo más llamativo: el 14% de los docentes expresó que había recibido recomendaciones de no enseñar la teoría de la evolución (o directamente la prohibición de hacerlo).

En países como Bolivia, España o Colombia hay situaciones similares. En Chile, el tema evolutivo se reintegró al currículum obligatorio en 1991. En el estado de Río de Janeiro en 2004 se establecieron clases en institutos públicos en las que se cuestionaba la evolución de las especies. En México, la evolución pasó a formar parte de los planes de estudio de las escuelas primarias en 1997 y solo en 2006 de las secundarias.

beneficiosa, la selección natural la habría eliminado en el curso de la evolución.

Ejemplos como estos se relacionan directamente con la vida cotidiana de los estudiantes y se pueden poner fácilmente en discusión en clase tomando noticias aparecidas en los medios. Lo importante es que el docente haga explícitos los vínculos que tienen con la evolución.

La distribución de las enfermedades. Dado que las poblaciones difieren en su pasado genético, es posible que sus diferencias genéticas sean en parte responsables de variaciones en la incidencia de enfermedades. Para enfermedades de origen monogénico, las mutaciones causales se hacen evidentes. La fibrosis quística, por ejemplo, aparece con una frecuencia de 1 en 2500 europeos y 1 en 90 mil asiáticos. La anemia falciforme es mucho más frecuente en individuos de ascendencia africana y en los pueblos del Mediterráneo (donde toma el nombre de talasemia) que en otros grupos humanos, pero también se la encuentra con menor frecuencia en diversas poblaciones, como consecuencia de migraciones y casamientos.

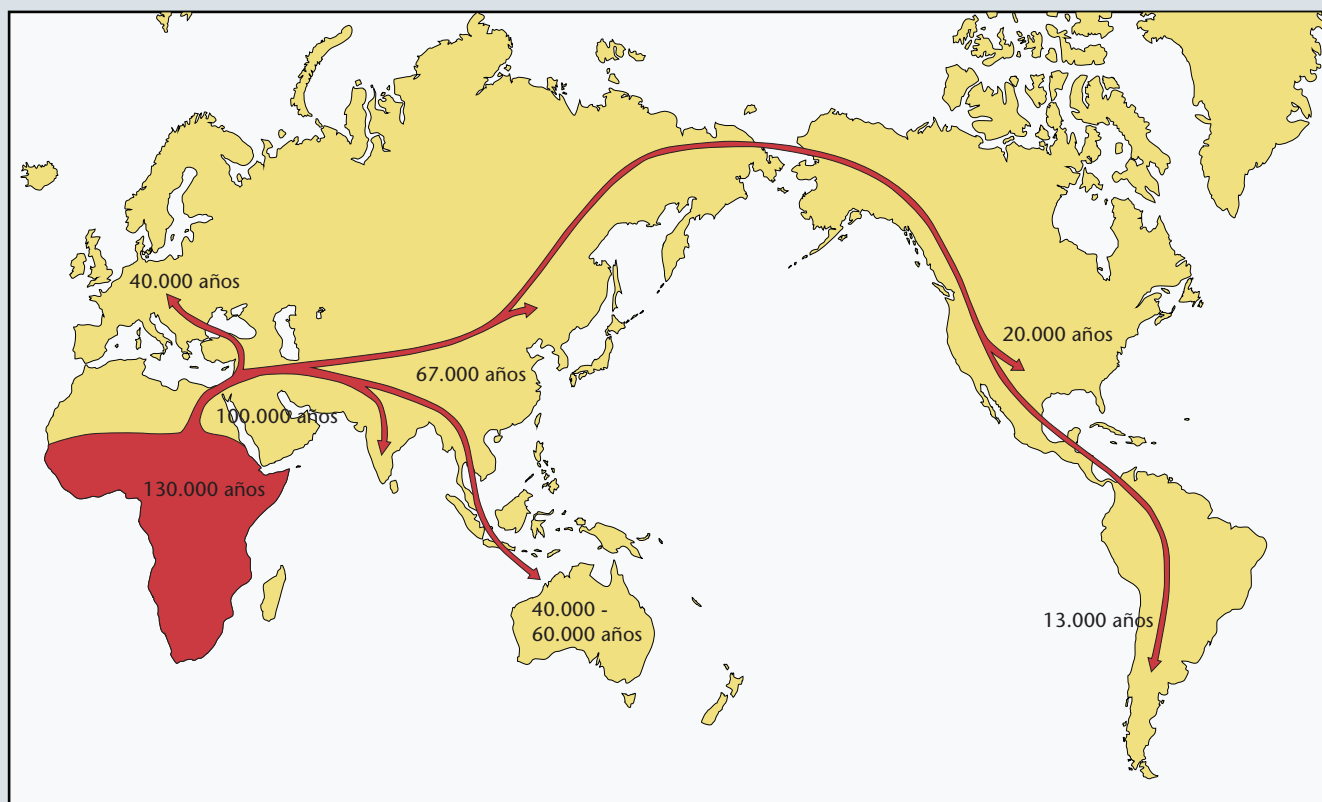
Estas diferencias son atribuibles a factores evolutivos que influyen de modo general en la variación genética. La mutación es la fuente última de toda variación genética. En casos como la hemocromatosis en europeos y la anemia falciforme en africanos, las mutaciones se produjeron en los últimos miles de años, lo que explicaría una dispersión limitada. La selección natural también desempeña un papel en las diferencias poblacionales de ciertas enfermedades genéticas. En el caso de la anemia falciforme y de la talasemia, quienes portan un solo ejemplar del gen mutado causante de la enfermedad (es decir, son *heterocigotos* con respecto a ese gen) no se enferman y son relati-

vamente resistentes al parásito de la malaria. Ello les confiere mayor éxito reproductivo en las zonas con malaria endémica, por lo que allí la mutación se disemina y, con el tiempo, se incrementa la posibilidad de que en las nuevas generaciones haya una proporción más alta de individuos con ambos genes mutados u *homocigotos*, que contraen inevitablemente la enfermedad. Esto explicaría la más alta incidencia de esta en África y el Mediterráneo. De la misma manera, los heterocigotos para la fibrosis quística son resistentes a la fiebre tifoidea, y los heterocigotos para la hemocromatosis tienen una mayor absorción de hierro, que los protegería de la anemia.

La evolución humana. La distribución de las enfermedades es un reflejo directo de la historia poblacional del *Homo sapiens* y de su estructura poblacional actual. La información sobre esa historia procede principalmente de dos fuentes: huesos y artefactos encontrados en sitios arqueológicos, y la distribución de variaciones genéticas entre la población actual. Ambas fuentes son incompletas, pero convergen hacia una misma historia que debería ser de interés para los estudiantes.

El fósil más antiguo que presenta semejanzas anatómicas con los humanos actuales (como una caja craneana redondeada, arcos superciliares reducidos y un mentón característico) fue hallado en el río Omo, en Etiopía, y tiene una edad estimada de 190 mil años. Se han encontrado fósiles más recientes con características humanas modernas en Etiopía (150 mil años), el Oriente Medio (100 mil años) y Australia (40 mil años), Europa del este (35 mil años) y América (13 mil años). Estos hallazgos sugieren que los humanos modernos evolucionaron en el este de África y que, desde allí, se dispersaron para ocupar el resto de África, Asia, Oceanía, Europa y América (figura 2).

Figura 2. Esquema de la dispersión geográfica de la especie humana, desde sus orígenes en el África oriental hace unos 130.000 años hasta ocupar todos los continentes. Advértase que el extremo austral de Sudamérica fue el último sitio ocupado. Mapa tomando de SB Hedges, 'A start for population genetics', *Nature*, 408, 6813:652-653, 2000, publicado con permiso del autor.



La evidencia genética apoya esta conclusión. La diversidad genética de las poblaciones humanas indígenas disminuye conforme aumenta la distancia al África oriental. Uno esperaría ese patrón, ya que los grupos migratorios que salieron de África llevaron consigo solo parte de la variación genética de la especie. En correspondencia con esto, la variación genética encontrada fuera de África tiende a ser un subconjunto de la hallada en ese continente. Los alumnos podrán analizar con facilidad las implicancias de lo anterior sobre la naturaleza y magnitud de la variación genética de las poblaciones originarias de Sudamérica.

Raza. La evolución humana tiene consecuencias importantes sobre las concepciones históricas y actuales del término *raza*, un tema de interés para los estudiantes, que usualmente genera más calor que luz. La discusión en el aula del tema desde una perspectiva evolutiva puede ayudar a corregir conceptos erróneos y prejuicios acerca de las razas y sus bases biológicas.

En la década pasada, hubo en los Estados Unidos una acalorada discusión acerca de la corrección y utilidad del concepto de raza. Algunos argumentan que los humanos pueden ser divididos en grupos con características físicas distintivas (y, presumiblemente, otras diferencias biológicas) y que el término *raza* es apropiado para referirse a esas diferencias. Otros piensan que la distribución de la variación genética en humanos es demasiado compleja para ser capturada por un término tan categórico como el de raza. También sostienen que el término está definitivamente comprometido porque incorpora tanto factores biológicos como sociales, usualmente sin distinguir entre ellos, para diferenciar entre grupos humanos.

La riqueza de los nuevos conocimientos genéticos permite llegar a varias conclusiones generales sobre la variación genética. Una es que la mayor parte de ella se encuentra en las poblaciones más grandes; otra es que las variantes genéticas suelen ser compartidas entre diversas poblaciones. Si bien dichas variantes difieren en sus frecuencias entre poblaciones, muy pocas son exclusivas de una población determinada. Darwin observó esto en *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (1871): *resulta dudoso que se pueda identificar un carácter que sea distintivo de una raza y sea constante.*

Debido a que poblaciones cercanas tienden a compartir su historia y entrecruzarse, tienden a ser genéticamente más similares que poblaciones de regiones geográficamente distantes. La correlación entre distancia geográfica y similitud genética que se encuentra en humanos también está presente en la mayoría de las especies, y no resulta sorprendente para los biólogos. Al mismo tiempo, es difícil delinear límites entre poblaciones, debido a nuestra historia de migración y entrecruzamiento. Por ejemplo, no hay un límite claro que separe las poblaciones europeas de las asiáticas. En lugar de ello, las variaciones se distribuyen en forma gradual de Europa hacia Asia.

Esta información es argumento en contra de la confección de tipologías discretas de seres humanos, algo cuya discusión atraerá a cualquier grupo de estudiantes secundarios en países con heterogeneidad en su población. Imaginemos un viaje por tierra desde Suecia al África ecuatorial. ¿Dónde el tipo escandinavo se convierte en africano? Dicho de otra manera, ¿dónde el fenotipo blanco se hace negro? ¿En el sur de España? ¿En Marruecos? ¿En Mauritania? ¿En Mali? La imposibilidad de dar una respuesta refuerza la noción de que las categorías llamadas *raciales* carecen de sustento biológico.

Organismos modelo en investigación. Las ciencias biomédicas obtienen mucho del conocimiento que elaboran a partir de

organismos modelo, y luego lo extienden a otros organismos, incluso los humanos. Esta forma de proceder supone aceptar que toda la vida en la Tierra está relacionada, producto de la herencia con variación que postuló Darwin. En palabras de Niles Eldredge, *toda la vida comparte una historia única y compleja*. De no ser así, no se podría sacar conclusiones sobre enfermedades humanas haciendo experimentos con organismos modelo, ni servirían los análisis comparativos. Esa historia compartida, en cambio, permite obtener información aplicable a los humanos de bacterias, levaduras y gusanos, lo mismo que de ratones o chimpancés.

Dificultades culturales de la enseñanza de la evolución

La visión de Darwin acerca de la vida contrasta fuertemente con suposiciones corrientes en la Inglaterra victoriana y en los demás países de Occidente, enraizadas en la tradición religiosa judeocristiana, según las cuales la diversidad biológica de la Tierra era la obra de un acto sobrenatural de creación, y existía de forma estable desde el momento de esa creación. Darwin proporcionó una explicación natural de la diversidad con los métodos de la ciencia, y construyó un marco conceptual que se aplica en la biología y la biomedicina modernas. El lector encontrará una síntesis de la revolución darwiniana en el recuadro 'Darwin y la cultura de la época'.

Rara vez en la historia humana una persona produjo tan rotunda revolución intelectual, algo que merece ser señalado a los estudiantes. Es importante que docentes y alumnos comprendan que dicha revolución contradice convicciones aceptadas por tradi-

DARWIN Y LA CULTURA DE LA ÉPOCA

La obra de Darwin contradujo muchos aspectos de la cultura de su época. En especial, dejó sin fundamentos a muchas convicciones sobre el mundo material, tanto animado como inanimado, que se apoyaban en creencias religiosas y se referían a situaciones que se veían como imposibles de explicar científicamente por causas naturales. Las principales son:

Creación individual de las especies. Darwin refutó la creencia de que la diversidad de organismos era el resultado de la creación sobrenatural de cada especie porque demostró que existía un mecanismo —la selección natural unida a la herencia con variación— capaz de dar lugar a esa diversidad.

Edad de la Tierra. Contra la cronología basada en el relato bíblico, y aun contra las tesis de respetados científicos como lord Kelvin (1824–1907) acerca de la edad de nuestro planeta, Darwin postuló una edad que debía medirse en millones de años, algo universalmente aceptado hoy.

Teleología cósmica. Fenómenos que habían sido considerados determinísticos sobre la base de las intenciones del creador sobrenatural fueron explicados por Darwin mediante la herencia con variación y la selección natural, sin necesidad de postular la existencia de un plan ni una dirección predeterminada.

Antropocentrismo. Darwin y sus seguidores mostraron que en términos biológicos el hombre es parte y producto de la naturaleza.

LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN EN LOS COLEGIOS ARGENTINOS

La enseñanza de la evolución en los colegios argentinos estuvo relacionada con el contexto político, social y cultural del país. En tiempos recientes, en el período de dictadura militar entre 1976 y 1983, la enseñanza de las ciencias había quedado relegada porque las autoridades educativas tendían a considerarlas proclives a fomentar un pensamiento subversivo, con lo que la evolución estaba prácticamente vedada. Los programas y los manuales, tanto de primaria como de secundaria, no incluían conceptos relacionados con ella, pero estos, sin embargo, se filtraban por algunas rendijas del sistema, además de aparecer en las instituciones privadas y en los cursos de formación docente.

A partir de la restauración del régimen republicano, se sucedieron diversas reformas educativas, que abarcaron los dos niveles mencionados y la educación técnica. Se elaboraron nuevos programas y manuales y se definieron contenidos actualizados, que intentaron acercar la ciencia que se enseña en las escuelas a la ciencia de los laboratorios y centros de investigación. No es objetivo de este trabajo detallar cada cambio curricular, pero podemos citar algunos ejemplos: se agregó la teoría de la relatividad a la física newtoniana, se incluyeron conceptos de biología molecular y de genética, y se intentó incluir la evolución. Llegamos de esa manera a la situación actual.

Aunque la cuestión no sea demasiado pública, Darwin no ha sido bien entendido por los educadores ni los mecanismos evolutivos resultan bien enseñados en la Argentina. Los docentes enfrentan dificultades en las aulas porque advierten que los principales temas de la biología evolutiva estuvieron ausentes de su propia formación y porque no tuvieron oportunidad de acceder a cursos de actualización sobre el tema. Desde 2005 se incluyó la materia en los institutos superiores de formación docente, en los que se capacitan los profesores de biología de la escuela secundaria. Los mecanismos evolutivos entraron a los programas y manuales de los años primero a tercero de esos institutos. De la misma manera, los mecanismos evolutivos, junto con genética y reproducción, son hoy parte de los programas y manuales de los primeros tres años de la escuela secundaria (años octavo a décimo del ciclo de doce).

ESCUELA PRIMARIA

En programas y manuales de la escuela primaria los docentes pueden seleccionar temas relacionados con la evolución, aunque ello no aparece de modo explícito en esos documentos y forma parte del llamado 'currículo oculto'. Esto tiene lugar, por ejemplo, en temas como diversidad animal, diversidad de estructuras anatómicas utilizadas en el desplazamiento, diversidad de dietas y de estructuras utilizadas en la alimentación, la Tierra hace

millones de años y los seres vivos que la habitaron entonces, los dinosaurios y su diversidad, semejanzas y diferencias entre las bocas de los dinosaurios y de los animales actuales, posibles causas de extinción de los dinosaurios, rasgos comunes de plantas y animales del pasado y actuales.

Cada uno de estos temas puede ser enseñado con un enfoque evolutivo. Así, se puede relacionar el concepto de diversidad animal con la evolución. Al tratar la diversidad de las especies se puede enfocar la atención en el número de ellas que habita un área o en la abundancia de individuos de cada especie en ese lugar. La diversidad de especies se relaciona también con la variedad de organismos vivos hoy presentes en el planeta, que ha sido estimada entre cinco y cincuenta millones, aunque hasta el momento solo se alcanzó a identificar y describir aproximadamente 1,4 millones de ellas. Se ha calculado que un solo metro cuadrado de suelo puede contener más de dos millones de organismos de más de mil especies animales, aunque muchas son invisibles al ojo humano y se ven solo con un microscopio.

En conclusión, en la escuela primaria se puede incluir evolución siguiendo las pistas que proporciona la biodiversidad. Lo mismo se puede hacer a partir de nociones de genética y de reproducción, temas que llevan a reflexionar sobre continuidad y cambio, hasta no hace mucho excluidos de manuales y aulas.

ESCUELA SECUNDARIA

¿De qué preguntas podemos partir para interesar a los estudiantes? Como dice David Webster (citado por Goéry Delacôte): *quizás el punto más difícil al plantearse un proyecto científico es encontrar una pregunta sobre la cual trabajar.* En nuestro caso, hay preguntas que están incorporadas a la cultura imperante pero no ayudan mucho a comprender la evolución porque arraigan en conceptos finalistas carentes de bases científicas, como: *¿Para qué los flamencos tienen patas largas? ¿Para qué los peces tienen aletas? ¿Por qué los pájaros vuelan?* En cambio, nos puede resultar muy útil preguntar: *¿qué mecanismos condujeron a que los flamencos tengan patas largas? ¿Cómo podemos explicar la gran variedad de organismos que existe hoy?*

Otra manera de abordar la evolución es plantear un problema a resolver que la relacione con aplicaciones prácticas de interés para la salud pública, la inmunología o la agricultura. Por ejemplo: *Ante una plaga de langostas, un agricultor fumiga su campo con un insecticida y obtiene buenos resultados. En años siguientes, ante la misma amenaza de plaga, aplica el mismo remedio. Pero la efectividad del procedimiento es cada vez menor, porque las langostas adquieren progresiva resistencia al insecticida. ¿Podrán explicar por qué mecanismos*

Beatriz Goldstein,
Facultad de Filosofía y Letras, UBA

las langostas adquieren esa resistencia? ¿Creen que esa característica de las langostas fue inducida por el insecticida? ¿Qué relación existe entre este caso y la resistencia a ciertos antibióticos, como sucede con la tuberculosis en la Argentina?

Otras preguntas que suelen interesar a los adolescentes son: ¿Cuáles serán las ventajas del color del cuerpo en el reino animal? ¿Qué procesos evolutivos llevaron al pavo real macho a desplegar una cola en abanico, con plumas con colores tan llamativos? ¿Y al color amarronado de la hembra de pavo real? Podrán visitar el zoológico de su localidad o investigar el tema buscando otros casos similares. ¿Cómo explicarían, mediante los mecanismos evolutivos planteados por sucesivos naturalistas, biólogos y paleontólogos, las cornamentas de los ciervos, el canto de los pájaros, los colores de la cara del mandril? ¿Y el mimetismo de los lagartos que cambian de color según el sustrato donde se encuentren?

También preguntas desafiantes son: ¿Seguimos evolucionando los humanos? ¿Y las plantas, los animales no humanos y los microorganismos?

Recordemos que los mecanismos evolutivos planteados por Charles Darwin incluyen dos conceptos centrales: *descendencia con modificaciones* y *selección natural*. Además, Darwin sostuvo que *las especies no son fijas ni inmutables*, sino que cambian a lo largo del tiempo. Acumulan diferencias sobre las que actúa la selección natural. La genética y la biología molecular revelaron que grupos de especies comparten un patrimonio genético heredado de un ancestro común, y plantearon que existe un árbol de la vida, irregular, con nuevas ramas que se relacionan entre ellas.

Explicuemos a los estudiantes que los mecanismos evolutivos también evolucionan, y que *la evolución es imprevisible*. La naturaleza no tiene objetivos. Organismos idénticos, que viven en condiciones idénticas, pueden tomar caminos evolutivos diferentes. Todos los seres vivientes siguen evolucionando por el mecanismo de la descendencia con modificaciones y la selección natural.

LECTURAS SUGERIDAS

DELACÔTE G, 1999, *Enseñar y aprender con nuevos métodos*, Gedisa, Buenos Aires.

GLEJZER C, 2008, 'La evolución de las especies', capítulo 4:74-92, *Ciencias Naturales*, 9, Santillana, Buenos Aires.

GOLDSTEIN B y CASTANERA M, 2001, *Diversidad biológica y recursos naturales. Una propuesta sustentable y participativa para el aula*, Santillana, Buenos Aires-Barcelona.

ción, y que puedan distinguir los límites entre lo que establece la ciencia y lo que no está en condiciones de establecer.

Unas breves palabras sobre pedagogía

Se cuenta que cuando Thomas H. Huxley leyó por primera vez la selección natural es la fuerza generadora de la diversidad en la Tierra, se dijo: *qué tonto de mi parte no haber pensado en ello*. La lógica de Darwin es tan incontrovertible y el proceso se presenta como tan sencillo y obvio, que parece imposible no entenderlo una vez expuesto a la evidencia.

Investigaciones educativas, sin embargo, indican que muchos estudiantes no lo comprenden, y continúan apoyándose, por ejemplo, en explicaciones teleológicas aun luego de haber podido analizar la teoría de la evolución.

No existe un remedio sencillo para esta dificultad, ni para otras con las que los estudiantes se enfrentan en otros capítulos de la biología. Está claro, sin embargo, que los estudiantes se benefician de un aprendizaje basado en preguntas y de una instrucción que evite el recitado de hechos y conclusiones en favor de la investigación de los fenómenos naturales y del esfuerzo por obtener, con la supervisión de un profesor bien formado, una visión propia. La evolución y sus conexiones con todas las áreas de la biología, sus preguntas acerca de la historia y naturaleza de la vida en la Tierra y sus problemas, que afectan directamente y diariamente a los estudiantes, se prestan a ese tipo de investigación. Acercarse en clase a la biología de otra manera es no hacer justicia al espíritu curioso que dio lugar al *El origen de las especies*. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

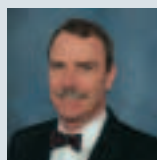
AYALA FJ, 2007, 'Darwin's greatest discovery: Design without a designer', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (suppl. 1):8567-8573.

JOBLING MA, HURLES ME y TYLER-SMITH C, 2004, *Human Evolutionary Genetics: Origins, Peoples & Disease*, Garland Publishing, Nueva York.

MAYR E, 1991, *One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

RUSE R y TRAVIS J (eds.), 2009, *Evolution: The First Four Billion Years*, Belknap-Harvard Press, Cambridge, Mass.

Más información está disponible en la página del Centro Nacional de Enseñanza de la Ciencia de los Estados Unidos: <http://nsceweb.org/>



Joseph D McInerney

MS, Universidad Estatal de Nueva York, Stony Brook.
Director ejecutivo de National Coalition for Health Professional Education in Genetics.