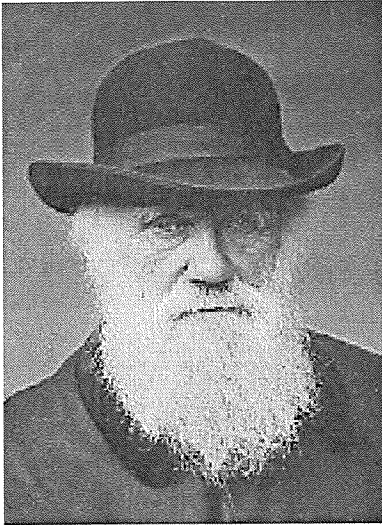




Charles Darwin (1809-1882).

“El misterio del origen de todas las cosas es insoluble para nosotros y yo, al menos, debo contentarme con ser un agnóstico”.

Se han escrito, y se seguirán escribiendo, numerosos libros con las razones que aducen unos y otros. En una importante encuesta hecha en 2007, tras recibir la respuesta de dos mil profesores universitarios sobre su creencia en Dios, un tercio se declararon creyentes; otro tercio, se definieron como ateos; y otro tercio, como agnósticos ¿Qué hace que se identifiquen más con una u otra opción? Hay razones a favor y en contra de cada opción. La respuesta la hemos visto en el caso de Darwin: la propia experiencia vital de cada ser humano le hace sentirse a lo largo de su vida más cerca o más lejos de cada una de esas tres opciones.

A MODO DE RESUMEN

La pregunta sobre el sentido de nuestras vidas es una pregunta legítima, que todos los seres humanos nos hacemos. Esa pregunta no tiene una respuesta científica, una respuesta que pueda probarse mediante un experimento en un laboratorio. Esa pregunta tiene una respuesta vital. Al conocer la vida y el carácter de Darwin podemos entender cómo fue evolucionando su pensamiento religioso y porqué, en sus últimos años, y no siempre, se definió como agnóstico.

La filosofía y la religión intentan dar una respuesta a esa pregunta del sentido de la vida, pues es una pregunta esencial. Lo hacen por caminos distintos y, al final del recorrido, se encuentran con el misterio.

La mayoría de nuestras vivencias no se pueden demostrar científicamente: afectos, decisiones, emociones... En parte somos conscientes de ellas y en parte no lo somos, pero están en lo más hondo de todos nosotros.

Día a día todos elegimos. Intentemos que nuestra elección sea razonable, tenga sentido y que su vivencia nos dé armonía y amor.

P.D. Agradezco la atención prestada por el amable lector que haya leído estas páginas. He dado mi correo electrónico al comienzo del artículo, junto a mi nombre. Agradeceré recibir las reflexiones e interrogantes que haya podido suscitar su lectura.

Para comprender a Darwin

Rev. Aragon. Teol. 30 (2009)

M.^a Victoria Arruga
Profesora de Genética

Charles Darwin nació el 12 de Febrero de 1809 en Shrewsbury, Inglaterra. Fue el 5º hijo de una familia perteneciente a la burguesía de la época. Su padre fue un médico de buena posición y su abuelo Erasmus Darwin había sido también un famoso médico, filósofo, naturalista y poeta inglés.

Charles Darwin acabó sus estudios secundarios en la Shrewsbury School en 1825 y en el otoño de ese mismo año, comenzó los estudios de Medicina en la Universidad de Edimburgo. En el año 1827 dejó la carrera de Medicina para entrar en la Universidad de Cambridge y convertirse en ministro de la Iglesia de Inglaterra.

A pesar de cursar estudios de Medicina en Edimburgo y de Teología en Cambridge, inducido al parecer por su padre, muy preocupado por su futuro y a la vez estimulado, entre otros motivos, por la lectura de las obras del alemán Humboldt, su interés principal se centró en las ciencias naturales.

Vivió, pues, rodeado e interesado por la Biología y por ello en el año 1831 se incorporó, en calidad de naturalista de la expedición, al viaje alrededor del mundo del H.M.S. Beagle, al mando del capitán Robert Fitzroy. De esta forma, viajó por América del Sur, las islas del Pacífico, Australia, Nueva Zelanda y el sur de África. Esta expedición científica alrededor del mundo duraría 5 años: Desde el 27 de diciembre de 1831 al 2 de octubre de 1836.

Durante el viaje, Darwin estudió las aguas costeras, midió las profundidades e indicó las grandes corrientes oceánicas. Frecuentemente, y siempre que era posible, realizaba expediciones por tierra, durante las cuales pudo reunir una gran información de los seres vivos que poblaban las distintas regiones por donde estuvo.

Contempló con gran asombro la diversidad de la fauna y la flora y fue entendiendo que la separación geográfica y las distintas condiciones de vida eran la causa de que las poblaciones variaran independientemente unas de las otras.

A su vuelta al Reino Unido publicó su obra: *Diario del viaje del Beagle* y al poco tiempo Darwin se convirtió en una celebridad científica. Fue elegido secretario de la Sociedad Geológica de Londres y se ganó el respeto y la amistad de la élite intelectual británica: Lyell, Thomas Henry Huxley y Joseph Dalton Hooker.

El conocimiento de la obra del economista, también británico, Thomas Malthus, *Ensayo sobre el principio de la población*, influyó en el pensamiento de Darwin y le permitió completar su teoría sobre el origen de las especies y la evolución.

Darwin dedicó los años posteriores al desarrollo de su teoría evolucionista. Hubiera podido publicar antes, pero las dudas, el miedo a la polémica y su mala salud retrasaron la publicación, a pesar del apoyo constante que recibió de Huxley, de Lyell, de Hooker y de su esposa Emma Wedgwood, con la cual había contraído matrimonio en 1839.

En 1858 recibió una carta de su compatriota Alfred Russel Wallace, quién había desarrollado, de un modo independiente, la misma teoría que Darwin. Para evitar la polémica, decidieron publicar conjuntamente un artículo en la Sociedad Linneana titulado, *Sobre la tendencia de las especies a crear variedades*; y sobre la perpetuación de las variedades y de las especies por medio de la selección natural.

Darwin siguió trabajando y sus teorías tuvieron una influencia decisiva sobre las diferentes disciplinas científicas y sobre el pensamiento moderno en general.

Recogió su teoría de la evolución en su libro *El origen de las especies*, publicado el 24 de noviembre de 1859 que se agotó el primer día en que salió a la venta.

En 1871 publicó *El origen del hombre*, donde defendía la teoría de la evolución del hombre desde un animal anterior incluso a los monos, con los cuales el hombre tendría ancestros comunes, lo que provocó gran controversia religiosa.

En 1839 fue elegido miembro de la Royal Society, en 1877 fue investido doctor *honoris causa* por la Universidad de Cambridge, en 1878 fue elegido miembro de la Academia Francesa de las Ciencias, así como numerosos reconocimientos más.

Darwin pasó el resto de su vida desarrollando diferentes aspectos de problemas surgidos por su obra *El Origen*. Sus libros posteriores, incluyendo *La variación de los animales y las plantas bajo condiciones de domesticación* (1868), *El origen del hombre* (1871) y *La expresión de las emociones en los animales y en el hombre* (1872), fueron exposiciones detalladas de temas que se había limitado a exponer en pequeñas secciones del libro *El Origen*. La importancia de su trabajo fue reconocida por sus contemporáneos.

Charles Robert Darwin murió en Down el 19 de abril de 1882, después de algunos días de enfermedad. Fue enterrado en la Abadía de Westminster y a sus funerales asistieron los personajes más destacados de la ciencia británica, así como representantes de las principales universidades, academias y diplomáticos de la mayor parte de los países europeos.

Darwinismo social

En pleno auge de la teoría, y tras las controversias iniciales, una versión simple de la selección natural fue, poco a poco, ganando terreno en la aplicación de la selección natural a las sociedades humanas (política, economía, etc.). La más famosa de estas doctrinas es el darwinismo social, donde la ley del más fuerte y su prevalencia se utilizaban para justificar la diferenciación de las clases sociales o diferencias entre los diferentes grupos raciales. Darwin nunca favoreció tal visión de la sociedad, y consideraba este tipo de aplicaciones de la selección natural como una aberración. Como puede verse en sus diarios, Darwin mostraba gran simpatía por las gentes esclavizadas u oprimidas. Sin embargo, el darwinismo social constituyó la base inicial de movimientos de tipo eugenésicos iniciados en 1883 por Francis Galton.

La Teoría de la evolución por selección natural

Desarrolló su teoría de que la selección natural, en Biología, es un proceso por el cual los efectos ambientales (falta de recursos, cambios geológicos, llegada de nuevas especies, etc.) conducen a una variabilidad diferente del éxito reproductivo entre los individuos de una población con características o rasgos diferentes y heredables. Y esta es la causa de la variación de las especies.

Darwin argumenta que todos los seres vivos tienen una ascendencia común y las diferentes variedades y especies que se observan en la naturaleza son el resultado de la acción de la selección natural en el tiempo.

La explicación propuesta por Darwin del origen de las especies y del mecanismo de la selección natural a la luz de los conocimientos científicos de la época, constituye un gran paso en la coherencia del conocimiento del mundo vivo y de las ideas evolucionistas presentes con anterioridad. Integra armoniosamente los avances contemporáneos en paleontología y geología y sienta las bases que cerrarán el debate frente a las tesis alternativas de tipo fijista/creacionista como el catastrofismo de Georges Cuvier.

La Biología evolutiva plantea preguntas fundamentales acerca del mundo: ¿De dónde vienen los seres vivos? ¿Por qué hay tantas clases diferentes de organismos y cómo han llegado a ser eficientes en tareas como encontrar alimento o pareja, o combatir enfermedades o evitar los depredadores?

Charles Darwin dedicó su vida a responder a estas cuestiones. Cuando comenzó a estudiar seriamente Biología, la explicación admitida hasta entonces sobre el origen de las especies era la Teoría de la Creación Especial. Esta teoría mantenía que todos los organismos fueron creados por Dios directamente y durante los 6 días de la Creación, tal como se describe literalmente en el Génesis. La teoría mantenía que las especies se mantuvieron sin cambio, inmutables desde su creación y que la variación

dentro de cada especie está estrictamente limitada. Se creía también que el suceso de la creación había sido reciente. Ussher, de la Iglesia protestante irlandesa, utilizando las genealogías del Antiguo Testamento, calculó que la Tierra tendría una edad de 5.668 años.

Sin embargo, en los años en los que Darwin comenzó a trabajar en el tema, la década de 1830, era creciente la insatisfacción con las explicaciones de la Teoría de la Creación Especial que plantea 3 declaraciones de principios:

- 1) Que las especies fueron creadas independientemente unas de otras.
- 2) Que no han cambiado a lo largo del tiempo.
- 3) Que fueron creadas recientemente.

Darwin fue capaz de dar una declaración de principios alternativa que él mismo llamó “descendencia con modificaciones” y que más tarde se denominó **evolución**.

Él propuso que:

- 1) Las especies han cambiado a lo largo del tiempo.
- 2) Están relacionadas entre sí por descendencia de un antecesor común.
- 3) El proceso responsable de todo ello es la llamada selección natural.

Es lo que se ha llamado la **Teoría de la evolución por selección natural**.

Cuando Darwin escribía su obra *El Origen de las especies*, se habían encontrado plantas y animales extintos en rocas que se habían formado en muchos momentos y lugares diferentes. Los llamados creacionistas o defensores de la Teoría de la Creación Especial, argumentaban que estas especies habían perecido en sucesos similares al diluvio universal de Noé. Por el contrario, Darwin y otros biólogos interpretaban las especies extintas como parientes anteriores y esto era una prueba más de que la fauna y la flora terrestre habían cambiado con el tiempo.

La ley de la sucesión

Esta correspondencia entre formas fósiles y formas vivientes se llama **ley de la sucesión** y había sido dada por otros autores anteriores a Darwin, pero éste la amplió diciendo que los organismos fósiles y los vivientes de la misma zona geográfica están emparentados y son claramente diferentes de los organismos de otras zonas geográficas. Darwin analizó los armadillos de Argentina y sus relaciones con los glyptodontos fósiles que él mismo había desenterrado.

Formas de transición

Mantuvo que las especies habían cambiado a lo largo del tiempo y que los fósiles eran representantes de poblaciones ancestrales a las especies actuales. Y si ésto era así el registro fósil debería contener formas de transición entre los grupos principales de organismos. Habría especies de transición que mantendrían caracteres de las poblaciones ancestrales y caracteres nuevos que ya se observan en las actuales. Un buen ejemplo es el ave más antigua del registro fósil, el *Archaeopteryx*. La presencia de plumas identifica claramente a esta especie como un ave, pero el esqueleto es tan parecido al de los dinosaurios que un espécimen fue una vez identificado erróneamente como el dinosaurio terópodo *Compsognathus*. El *Archaeopteryx* representa una transición entre las poblaciones ancestrales dinosaurios y sus descendientes las aves.

Debido a que durante su vida se habían descubierto muy pocas formas de transición, Darwin se esmeró en explicar aquello que era raro en el registro fósil en una sección de su obra que él denominó “dificultades de la teoría”. En cambio actualmente se han encontrado un gran número de formas de transición.

Por ejemplo el fósil de ballena. Como los fósiles de lo que se considera el mamífero más primitivo representa a especies terrestres, los biólogos dedujeron que los antecesores de las ballenas también vivieron sobre la tierra y tenían extremidades funcionales. Luego, entre estos grupos funcionales y las ballenas modernas debería de haber formas intermedias que tendrían extremidades funcionales al igual que rasgos que las identifican como especies habitantes del mar.

Cambio ambiental

Los fósiles de las ballenas se encontraron en los desiertos de Egipto y en las colinas de Pakistán, juntamente con almejas, caracoles y otras especies marinas. En la época de Darwin, se habían descubierto fósiles de organismos marinos en los Andes, en los Alpes y en el Gran Cañón. Darwin interpretó estos datos como prueba de que las condiciones ambientales no se habían mantenido constantes, los hábitats cambiaban de localización y características a lo largo de la historia y esto lo hacían continuamente al igual que sucedía con las especies de seres vivos.

La selección natural

En la introducción de su obra *El origen de las especies*, Darwin escribió: “*Un naturalista, al reflexionar sobre las afinidades mutuas de los seres orgánicos, en sus rela-*

*ciones embriológicas, en su distribución geográfica, en las sucesiones geológicas y en otros hechos similares, podría llegar a la conclusión de que cada especie no ha sido creada independientemente, sino que desciende....de otras especies. No obstante, esta conclusión, aunque bien fundamentada, sería insatisfactoria a no ser que se pudiera demostrar **de qué manera** han sido modificadas la innumerables especies que habitan este mundo”.*

Estaba presentando que tanto los organismos fósiles como los vivientes habían descendido de un ancestro común.

Pero ¿qué procesos pueden dar lugar a esta evolución?

La selección natural es el resultado lógico de los 4 postulados que Darwin introdujo en su obra en el capítulo *Sobre el origen de las especies mediante selección natural*, el resto del libro lo consideró como un extenso argumento para apoyar este mecanismo.

- 1) Los individuos que forman las especies son variables.
- 2) Algunas de estas variaciones pasan a los descendientes.
- 3) En cada generación se producen más descendientes de los que pueden sobrevivir.
- 4) La supervivencia y la reproducción de los individuos no son al azar: los individuos que sobreviven y llegan a reproducirse, o la mayoría de los que se reproducen, son aquellos que presentan las variaciones más favorables. Es decir son seleccionados de manera natural.

Como consecuencia de este proceso las características de las poblaciones cambian de una generación a la siguiente. Si hay éxito de una variación, si los individuos que la presentan están mejor adaptados que el resto, aquéllos pasarán con mayor frecuencia y por consiguiente las características de las poblaciones irán cambiando con el tiempo. Esto es la **evolución por selección natural**.

Darwin se refirió a los individuos que ganan en esta competición y a sus descendientes como los más aptos. **Aptitud, eficacia** darwiniana como la habilidad de los individuos para sobrevivir y reproducirse en su ambiente. Se llama **adaptación** a la característica que aumenta la eficacia de un individuo cuando se le compara con otros individuos que no poseen esa característica.

Las **poblaciones estarán en el equilibrio, es decir no cambiarán**, cuando se den una serie de condiciones:

- 1) Que todos los cruzamientos, entre los individuos de la especie, se den al azar.

2) Que no se produzca mutación, es decir cambios en la información genética.

3) Que no haya migraciones, es decir flujo de individuos que se marchan de la población o que se incorporan a la población y finalmente.

4) Que la población sea suficientemente grande, es decir el número de individuos permite que haya cruzamientos al azar, etc.

En cambio siempre que no se cumplan cualquiera de estos condicionantes, la población cambiará sus frecuencias genéticas y se dará el cambio.

La selección natural puede seleccionar nuevos caracteres, aún cuando actúa sobre caracteres ya existentes

La selección actúa a partir de las variaciones que ya existen en la población, pero también pueden darse mutaciones que dan lugar a nuevas variantes sobre los que actúa la selección.

También puede dar lugar a características novedosas ya que es capaz de reorientar comportamientos, estructuras ya existentes hacia funciones nuevas: El pulgar del panda gigante (Familia *Ursidae*) es un buen ejemplo: los pandas utilizan esta estructura como un sexto dedo cuando se alimentan de su comida favorita: el bambú, pasan los tallos entre el pulgar y los otros 5 dedos para arrancar la hojas y alcanzar los vástagos que se comen. Pero este sexto dedo no es un auténtico pulgar, anatómicamente este sexto dedo es un hueso sesamoideo radial muy modificado, que en especies muy íntimamente relacionadas forma parte de la muñeca, se sabe que cuando los ancestros del panda comenzaron a comer de la caña de bambú habría variación individual en cuanto a la longitud del hueso. Como consecuencia de una selección continuada y potente, durante muchas generaciones, la longitud aumentó hasta alcanzar las proporciones actuales.

La selección natural no es perfecta. No optimiza los caracteres implicados, sino que da lugar a la adaptación, pero no a la perfección.

La evolución por selección natural no es aleatoria, es la que aumenta la adaptación al ambiente. Ni tampoco es progresiva en el sentido de conducir hacia algún objetivo determinado, ya que tan sólo hace organismos “mejores” en el sentido de aumentar la adaptación a su ambiente. Por ejemplo, las serpientes evolucionaron a partir de antecesores que tenían extremidades, las aves más primitivas del registro fósil tenían dientes. Darwin se recordaba a sí mismo lo de “nunca usar las palabras superior o inferior” cuando se habla de evolución.

La evolución del darwinismo

Ya que la evolución por selección natural es un rasgo de organización general de los sistemas vivientes, la teoría de Darwin se sitúa como una de las grandes ideas en la Historia. Su impacto en la Biología es análogo al que tuvieron las leyes de Newton sobre la Física, la teoría de Copérnico y Galileo sobre el sol como centro de nuestra galaxia en la Astronomía y la teoría de las Placas Tectónicas en la Geología.

Como dice Theodosius Dobzhansky: “Nada en Biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución”.

No obstante, a pesar de su fuerza, la Teoría de la Evolución por selección natural no fue aceptada universalmente hasta 70 años después de su propuesta inicial.

Había serios problemas con la teoría, tal como fue formulada originalmente, que había que resolver.

1) Como Darwin no conocía del ADN, ni de las mutaciones, no sabía cómo se generaba la variabilidad.

2) Como Darwin no sabía de las leyes de la herencia, es decir de la Genética, no sabía cómo pasaba la variación a los descendientes de la siguiente generación.

La síntesis moderna

La comprensión de la variabilidad, el conocimiento de la Genética y del proceso que ejerce el tiempo, fueron dando luz para ir explicando todos los postulados de la teoría de Darwin hasta dar la llamada **síntesis moderna de la Teoría de la Evolución**:

1) la evolución gradual es consecuencia de pequeños cambios genéticos sobre los que actúa la selección natural.

2) El origen de las especies y de los taxones superiores o macroevolución se puede explicar en términos de la selección natural que actúa sobre los individuos o microevolución.

Con esta síntesis, los 4 postulados de la Teoría de Darwin y sus consecuencias pudieron reformularse de la siguiente manera:

1) Como consecuencia de la mutación que da lugar a nuevos alelos y de la segregación y transmisión independientes de éstos que los barajan dando lugar a combinaciones nuevas, los individuos de las poblaciones son variables para la gran mayoría de sus caracteres.

- 2) Los individuos pasan a sus descendientes sus caracteres o alelos intactos.
- 3) En muchas generaciones se producen más descendientes de los que pueden sobrevivir.
- 4) Los individuos que sobreviven y llegan a reproducirse, o aquellos que tienen más descendientes, son los que tienen alelos y combinaciones alélicas que los adaptan mejor a su ambiente.

El resultado es que los alelos asociados con mayores eficacias aumentan en frecuencia de generación en generación.

Ascendencia común

A partir de estas semejanzas, los científicos interpretan que ellas indican y serían la evidencia de que todos los seres vivos existentes comparten un *"ancestro común"*, el cual ya había desarrollado los procesos celulares más fundamentales; aunque no hay acuerdo en la comunidad científica sobre la relación específica de los tres dominios de la vida (Archaea, Bacteria, Eukaryota).

Así, a pesar de que los orígenes de la vida no son todavía conocidos en su totalidad, otros hitos relacionados a la historia evolutiva de la vida son bien sabidos. La aparición de la fotosíntesis oxigénica (hace alrededor de 3000 millones de años) y el posterior surgimiento de una atmósfera rica en oxígeno y no reductora, puede rastrearse a través de depósitos laminares de hierro y bandas rojas posteriores producto de los óxidos de hierro.

Éste fue un requisito necesario para el desarrollo de la respiración celular aeróbica, la cual se cree que emergió hace aproximadamente 2000 millones de años. En los últimos mil millones de años, organismos pluricelulares simples, tanto plantas como animales, comenzaron a aparecer en los océanos. Poco después del surgimiento de los primeros animales, la explosión Cámbrica (un período breve de diversificación animal sin paralelo y notable, documentado en los fósiles encontrados en los sedimentos en Burgess Shale) vio la aparición de la mayoría de los animales modernos. Hace alrededor de 500 millones de años, las plantas y hongos colonizaron la tierra, y fueron seguidos rápidamente por los artrópodos y otros animales, llevando al desarrollo de los ecosistemas terrestres con los que estamos familiarizados.

El surgimiento de nuevos caracteres y variación

Mecanismos de la herencia

En la época de Darwin, los científicos no estaban de acuerdo sobre cómo se heredan las características. En 1865 el fraile agustino Gregor Mendel había establecido las leyes de la herencia mediante su publicación. No obstante, y a pesar de su importancia, sus trabajos pasaron totalmente inadvertidos. El mundo científico no los conoció o no los aceptó y no será hasta 1900, cuando tres investigadores, casi simultáneamente, el holandés Hugo de Vries en Alemania, Eric Von Tschermak en Austria y Karl Erich Correns en Inglaterra, redescubren sus trabajos y comienzan a desarrollar lo que se conocerá más tarde como Genética.

Hasta 1944 no se descubre que es el ADN el que porta los genes y en 1953 Watson y Crick describen la estructura tridimensional de la molécula de ADN.

Así se demostraba cómo las características hereditarias llamadas genes, residen en moléculas lineales llamadas *ADN*, las cuales varían entre los miembros de una misma especie y también sufren cambios o mutaciones, o variaciones producidas a través de procesos como la recombinación genética.

La mutación

Darwin no conocía la fuente de las variaciones en los organismos individuales, pero observó que parecían ocurrir aleatoriamente. En trabajos posteriores se atribuyó la mayor parte de estas variaciones a la mutación. La mutación es un cambio permanente y transmisible en material genético (usualmente el ADN o el ARN) de una célula, que puede ser producida por *errores de copia* en el material genético durante la división celular y por la exposición a agentes físicos, como las radiaciones o agentes químicos o incluso a virus, o puede ocurrir deliberadamente bajo el control celular durante procesos como la meiosis o la mitosis. En los organismos multicelulares, las mutaciones pueden dividirse en *mutaciones germinales*, que se transmiten a la descendencia, y las *mutaciones somáticas*, que (cuando son accidentales) generalmente conducen a malformaciones o muerte de células y pueden producir cáncer.

¿Por qué son importantes las mutaciones?

Las mutaciones introducen nuevas variaciones genéticas, siendo la principal fuente de evolución. En la teoría sintética, la mutación tiene el papel de generar diver-

sidad genética sobre la cual actúa la selección natural, y también la deriva. Las mutaciones que afectan a la eficacia biológica del portador, y por tanto son objeto de la selección natural, pueden ser deletéreas (negativas) o beneficiosas. Entre las mutaciones beneficiosas se conocen muchos ejemplos que afectan a rasgos variadísimos, como la resistencia a enfermedades o al estrés, la longevidad, el tamaño, la capacidad para metabolizar nuevas sustancias, una cicatrización eficiente de las heridas, etc. La mayor parte de las mutaciones son mutaciones neutras; no afectan las oportunidades de supervivencia y reproducción de los organismos, y se acumulan con el tiempo a una velocidad más o menos constante.

La mayoría de los biólogos creen que la adaptación ocurre fundamentalmente por etapas, mediante la acumulación por selección natural de variaciones genéticas ventajosas de efecto relativamente pequeño. Las macromutaciones, por el contrario, producen efectos drásticos, fuera del rango de variación normal de la especie. Se ha propuesto que quizá hayan sido responsables de ciertos rasgos adaptativos o de la aparición de novedades evolutivas, aunque, dado que las mutaciones suelen tener efectos muy nocivos o letales, esta vía se considera actualmente poco frecuente.

Recombinación genética

La recombinación genética es el proceso mediante el cual la información genética se redistribuye, con la cual se produce variación en la descendencia y diversidad dentro de cada especie.

Variaciones en la expresión de los genes, involucrados en la herencia

También existen formas de variación hereditaria que no están basadas en cambios de la información genética. El proceso que produce estas variaciones deja intacta la información genética y es, con frecuencia, reversible. Este proceso es llamado herencia epigenética que resulta de la transmisión de secuencias de información no-ADN a través de la meiosis o mitosis; y puede incluir fenómenos como la metilación del ADN o la herencia estructural. Se sigue investigando si estos mecanismos permiten la producción de variaciones específicas beneficiosas en respuesta a señales ambientales. De ser éste el caso, algunas instancias de la evolución podrían ocurrir fuera del cuadro típicamente darwiniano, que evitaría cualquier conexión entre las señales ambientales y la producción de variaciones hereditarias; aunque recordando que indirectamente, en el origen del proceso en sí mismo, estarían involucrados genes, como por ejemplo los genes de la enzima ADN-metiltransferasa, histonas, etc.

Sobrevivencia diferenciada de características

Al mismo tiempo que la mutación puede crear nuevos alelos, otros factores influyen la frecuencia de los alelos existentes. Estos factores hacen que algunas características se hagan frecuentes mientras que otras disminuyen o se pierden completamente. De los procesos conocidos que influyen en la persistencia de una característica, o más precisamente, en la frecuencia de un alelo podemos mencionar:

Selección natural.

Deriva genética.

Flujo genético.

Selección natural

La selección natural consiste en la reproducción diferencial de los individuos, según su dotación genética y, generalmente, como resultado del ambiente. Existe selección natural cuando hay diferencias en la eficacia biológica entre los individuos de una población, es decir, cuando su contribución en descendientes es desigual. La eficacia biológica puede desglosarse en componentes como la supervivencia (la mortalidad diferencial es la tasa de sobrevivencia de individuos hasta la edad de reproducción), la fertilidad, la fecundidad, etc.

La selección natural puede dividirse en dos categorías:

La sexual ocurre cuando los organismos más atractivos para el sexo opuesto debido a sus características se reproducen más y aumentan la frecuencia de estas características en el patrimonio genético común.

La ecológica ocurre en el resto de las circunstancias (habilidad para obtener o procesar alimento, capacidad de ocultación, huida o de defensa, capacidad para resistir fluctuaciones ambientales, etc.)

La selección natural trabaja con mutaciones en diferentes formas:

La purificadora o de fondo elimina las mutaciones perniciosas de una población.

La positiva aumenta la frecuencia de mutaciones benéficas.

La de balanceo mantiene las variaciones dentro de una población a través de mecanismos tales como:

La sobredominancia o vigor híbrido.

La selección dependiente de la frecuencia.

El papel central de la selección natural en la teoría de la evolución ha dado origen a una fuerte conexión entre ese campo y el estudio de la ecología.

Las mutaciones que no se ven afectadas por la selección natural son llamadas mutaciones neutras. Su frecuencia en la población está dictada por su tasa de mutación, por la deriva genética y el flujo genético. Se entiende que la secuencia de ADN de un organismo, en ausencia de selección, sufre una acumulación estable de mutaciones neutras.

El efecto probable de mutación es la propuesta de que un gen que no está bajo selección será destruido por las mutaciones acumuladas. Éste es un aspecto de la llamada degradación genómica.

La selección de organismos por sus características deseables, cuando es provocada por el hombre, por ejemplo para la agricultura, es llamada selección artificial.

La evolución baldwiniana se refiere a la forma en que los seres vivos capaces de adaptarse durante su vida, pueden producir nuevas fuerzas de selección.

Deriva genética

La **deriva genética** describe las fluctuaciones aleatorias en la frecuencia de los alelos. Esto es de especial importancia en poblaciones reducidas, donde las posibilidades de fluctuación de una generación a la siguiente son grandes. Estas fluctuaciones en la frecuencia de los alelos entre generaciones sucesivas puede producir la desaparición de algunos alelos de una población. Dos poblaciones separadas que parten de la misma frecuencia de alelos pueden derivar, por fluctuación aleatoria, en dos poblaciones divergentes con diferente conjunto de alelos (por ejemplo, alelos presentes en una población y que desaparecieron en la otra).

Muchos aspectos de la deriva genética dependen del tamaño de la población (generalmente abreviada como N). En las poblaciones reducidas, la deriva genética puede producir grandes cambios en la frecuencia de alelos de una generación a la siguiente, mientras que en las grandes poblaciones, los cambios en la frecuencia de los alelos son generalmente muy pequeños. La importancia relativa de la selección natural y la deriva genética en la determinación de la suerte de las nuevas mutaciones también depende del tamaño de la población y de la presión por la selección: Cuando Ns (tamaño de la población multiplicado por la presión por la selección) es pequeña, predomina la deriva genética. Así, la selección natural es *más eficiente* en grandes poblaciones o dicho de otra forma, la deriva genética es más poderosa en las poblaciones reducidas. Finalmente, el tiempo que le toma a un alelo fijarse en una población por deriva gené-

tica (es decir, el tiempo que toma el que todos los individuos de la población tengan ese alelo) depende del tamaño de la población: mientras más pequeña la población, menos tiempo toma la fijación del alelo.

Los efectos de la deriva genética son pequeños en la mayoría de las poblaciones naturales, pero pueden revestir especial importancia cuando tiene lugar la formación de una población a partir de muy pocos individuos o efecto fundador, o cuando las poblaciones quedan reducidas a muy pocos individuos, es decir, pasan a través de un cuello de botella.

Efecto fundador: Es un proceso frecuente en algunas islas oceánicas, que son colonizadas por unos pocos individuos que genéticamente son poco representativos con respecto a la población de la que derivan.

Un ejemplo que ilustra este efecto fundador se encuentra en el grupo religioso amish, fundado en 1771 en Pensilvania por unos pocos matrimonios. En la actualidad el 13% de las 17000 personas que forman el grupo portan en su genotipo un alelo que en homocigosis provoca enanismo y polidactilia. El número de casos registrados en esta población corresponde prácticamente a la totalidad de casos detectados en toda la población mundial. Se piensa que estas 17000 personas descenden de muy pocos individuos, algunos de los cuales eran portadores de este alelo.

Cuello de botella: Se produce cuando una situación en la que, debido a condiciones ambientales adversas u otras circunstancias, la población se reduce drásticamente. Con posterioridad recupera su número, pero a partir de un corto número de individuos. Esta situación puede implicar la desaparición de determinados alelos aleatoriamente o que aumente la frecuencia de otros que en la anterior situación estaban menos representados.

Microevolución y macroevolución

Microevolución es un término usado para referirse a cambios de las frecuencias génicas en pequeña escala, en una población durante el transcurso de varias generaciones. Estos cambios pueden deberse a un cierto número de procesos: mutación, flujo génico, deriva génica, así como también por selección natural. La genética de poblaciones es la rama de la biología que provee la estructura matemática para el estudio de los procesos de la microevolución, como el color de la piel en la población Mundial.

Los cambios a mayor escala, desde la especiación (aparición de una nueva especie) hasta las grandes transformaciones evolutivas ocurridas en largos períodos de tiempo, son comúnmente denominados Macroevolución (por ejemplo, los anfibios que

evolucionaron a partir de un grupo de peces óseos). Los biólogos no acostumbran hacer una separación absoluta entre macroevolución y microevolución, pues consideran que macroevolución es simplemente microevolución acumulada y sometida a un rango mayor de circunstancias ambientales. Una minoría de teóricos, sin embargo, considera que los mecanismos de la teoría sintética para la microevolución no bastan para hacer esa extrapolación y que se necesitan otros mecanismos. La teoría de los equilibrios puntuados, propuesta por Gould y Eldredge, intenta explicar ciertas tendencias macroevolutivas que se observan en el registro fósil.

Especiación y extinción

La especiación es la aparición de una o más especies a partir de una pre-existente.

Existen varios mecanismos por los cuales esto puede ocurrir. La especiación alopátrica comienza cuando una subpoblación de una especie queda aislada geográficamente, por ejemplo por fragmentación del hábitat o migración. La especiación simpátrica ocurre cuando una especie nueva emerge en la misma región geográfica. La especiación peripátrica, propuesta por Ernst Mayr, es un tipo de especiación que existe entre los extremos de la especiación alopátrica y simpátrica. La especiación peripátrica es un soporte fundamental de la teoría del Equilibrio puntuado. La especiación parapátrica donde las especies ocupan áreas biogeográficas adyacentes pero hay un flujo genético bajo.

La extinción es la desaparición de las especies. El momento de la extinción es considerado generalmente como la muerte del último individuo perteneciente a una especie. La extinción no es un proceso inusual medido en tiempo geológico - las especies son creadas por la especiación y desaparecen a través de la extinción.

Biología evolutiva

La Biología evolutiva es un subcampo de la biología que se ocupa de la ascendencia común y evolución biológica de las especies, así como de sus cambios en el tiempo. La biología evolucionista es una especie de meta campo debido a que incluye científicos de muchas disciplinas tradicionales con orientación a la taxonomía. Por ejemplo, generalmente incluye científicos especializados en organismos particulares tales como la ornitología y la utiliza como medio para responder a preguntas generales sobre la evolución.

La biología evolutiva es una disciplina académica independiente que surgió en los años 1930 y 40 como resultado de la síntesis evolutiva moderna. Sin embargo, es en los años 1970 y 80 que un importante número de universidades crearon departamentos de biología evolutiva.

Historia del pensamiento evolucionista

La idea de una evolución biológica ha existido desde épocas remotas, notablemente entre los Helénicos como Epicuro, pero la teoría moderna no se estableció hasta llegados los siglos XVIII y XIX, con la contribución de científicos como Christian Pander, Jean-Baptiste Lamarck y Charles Darwin. En el siglo XVIII la oposición entre fijismo y transformismo es ambigua. Algunos autores, por ejemplo, admiten la transformación de las especies limitada a los géneros, pero niegan la posibilidad de pasar de un género a otro.

Otros naturalistas hablan de “progresión” en la naturaleza orgánica, pero es muy difícil determinar si con ello hacen referencia a una transformación real de las especies o se trata, simplemente, de una modulación de la clásica idea de la *scala naturae*. Lamarck es el primero en formular explícitamente una teoría de la evolución, pero no fue hasta la publicación del *El Origen de las Especies* de Charles Darwin cuando el hecho de la evolución comenzó a ser ampliamente aceptado. Una carta de Alfred Russel Wallace, en la cual revelaba su propio descubrimiento de la selección natural, impulsó a Darwin a publicar su trabajo en evolución. Por lo tanto, a veces se comparte el crédito con Wallace por la teoría de la evolución (a veces llamada Teoría de Darwin-Wallace).

A pesar de que la teoría de Darwin pudo sacudir profundamente la opinión científica con respecto al desarrollo de la vida (e incluso resultando en una pequeña revolución social), no pudo explicar la fuente de variación existente entre las especies, y la propuesta de Darwin de la existencia de un mecanismo hereditario (pangénesis) no satisfizo a la mayoría de los biólogos. No fue hasta fines del siglo XIX y comienzos del XX, que estos mecanismos pudieron establecerse.

Cuando se “redescubrió” alrededor del 1900 el trabajo de Gregor Mendel sobre la naturaleza de la herencia que databa de fines del siglo XIX, se estableció una discusión entre los Mendelianos (Charles Benedict Davenport) y los biométricos Walter Frank Raphael Weldon y Karl Pearson), quienes insistían en que la mayoría de los caminos importantes para la evolución debían mostrar una variación continua que no era explicable a través del análisis mendeliano. Finalmente, los dos modelos fueron conciliados y fusionados, principalmente a través del trabajo del biólogo y estadístico R.A. Fisher. Este enfoque combinado, que empleaba un modelo estadístico riguroso a las teorías de Mendel de la herencia vía genes, se dio a conocer en los años 1930 y 1940 y se conoce como la teoría sintética de la evolución.

En los años 30, sobre la base de los nuevos conocimientos genéticos y fundiéndolos con las hipótesis de Darwin, Fisher (1929), Haldane (1932) y Wright (1931) iniciaron el desarrollo de los modelos matemáticos teóricos que desembocarían en la Teoría Sintética de la Evolución o teoría Neodarwinista, que contempla la evolución de

las especies como un proceso lento y gradual, consecuencia de la acumulación de pequeños cambios genéticos producidos por mutación, regulados por la acción de la selección natural y sometidos al efecto de la deriva genética y las migraciones. Esta teoría ha sido aceptada como principio general para el estudio de la evolución desde que Theodosius Dobzhansky publicara, en 1937, su libro "Genética y el origen de las especies". Entre los científicos que contribuyeron decisivamente a desarrollar y validar experimentalmente la nueva teoría debemos citar a J. S. Huxley (1942), E. Mayr (1942), G. G. Simpson (1944), G. L. Stebbins (1950), J. W. Valentine (1977) y F. Ayala (1972, 1977). A partir de este momento se considera, como dijo Dobzhansky, que "Nada tiene sentido en biología si no es bajo la luz de la evolución".

En 1944, siguiendo el experimento de Griffith, Avery, McCleod y McCarty lograron identificar de forma definitiva al ácido desoxirribonucleico (ADN) como el "principio transformante" responsable de la transmisión de la información genética. En 1953, Francis Crick y James Watson publicaron su famoso trabajo sobre la estructura del ADN, basado en la investigación de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins. Estos desarrollos iniciaron la era de la biología molecular y transformaron el entendimiento de la evolución en un proceso molecular: la mutación de segmentos de ADN (ver evolución molecular).

En los años 70, la escuela de M. Kimura y Ohta, T. propuso la teoría de la evolución neutralista o no-darwiniana que proponía que la variación a nivel molecular no tenía carácter adaptativo y que, básicamente, aparecía como consecuencia de la mutación y se mantenía en las poblaciones por efecto de la deriva genética. Después de años de agrias discusiones entre seleccionistas y neutralistas se ha llegado a algún tipo de consenso en el que se admite que la evolución de los caracteres morfológicos, etológicos y de comportamiento están muy controlados por la selección, mientras que la variabilidad a nivel molecular es casi universalmente neutra y se mantiene por deriva.

No obstante, no todos los cambios evolutivos son lentos y graduales. La observación del registro fósil muestra periodos de estabilidad evolutiva alternados con otros de evolución rápida. Por ello, los paleontólogos S. Gould (1980) y S. M. Stanley (1979) propusieron un patrón adicional de evolución, conocido como **modelo de los equilibrios intermitentes**. Este modelo propone que el proceso de evolución es discontinuo en el tiempo y las nuevas especies se forman en periodos muy breves, casi instantáneos en la escala del tiempo geológico, a partir de pequeñas poblaciones periféricas aisladas que, a veces, competirán con éxito con las especies previamente existentes, que pueden llegar a extinguirse. Esta teoría supone que los cambios evolutivos a nivel de especie ocurren como resultado de la selección que actúa sobre las especies (nivel macroevolutivo) que es similar a la selección natural que actúa sobre los individuos que las integran (nivel microevolutivo).

Impacto de la teoría de la evolución

A medida que se ha ido desarrollando la comprensión de los fenómenos evolutivos, posturas y creencias bien arraigadas se han visto revisadas, vulneradas o por lo menos cuestionadas. La aparición de la teoría evolutiva marca un hito, no solo en su campo de pertinencia al explicar los procesos que originan la diversidad del mundo vivo; sino también más allá del ámbito de las ciencias biológicas. Naturalmente, este concepto biológico choca con las explicaciones tradicionalmente creacionistas y fijistas de algunas posturas religiosas y místicas; y aspectos como el de la descendencia de un ancestro común, aún suscitan reacciones en algunas personas.

El impacto más importante de la teoría evolucionista se da a nivel de la historia del pensamiento moderno y la relación de éste con la sociedad. Este profundo impacto es en definitiva debido a la naturaleza no teleológica de los mecanismos evolutivos: es decir que la evolución no sigue un fin u objetivo. Las estructuras y especies no “aparecen” por necesidad (ni por designio divino) sino que a partir de la variedad de formas existentes solo las mejor adaptadas son conservadas en el tiempo. Este mecanismo “ciego”, independiente de un plan, de una voluntad divina o de una fuerza sobrenatural ha sido explorado en consecuencia en otras áreas del saber.

La adopción de la perspectiva evolutiva para abordar problemas en otros campos se ha mostrado enriquecedora y muy vigente; sin embargo en el proceso también se han dado abusos (p.e. el atribuir un valor biológico a diferencias culturales y cognitivas) o deformaciones de la misma (como justificativo de posturas eugenéticas); las cuales han sido usadas como “*Argumentum ad consequentiam*” a través de la historia de las objeciones a la teoría de la evolución.

Evolución y sistemas éticos y sociales

La teoría de la evolución por acción de la selección natural también ha sido adoptada como fundamento para varios sistemas éticos y sociales, como el Darwinismo social, el cual mantiene que *la supervivencia del más apto* explica y justifica las diferencias de bienestar y éxito entre las sociedades, las personas y la eugenesia, que claman que la civilización humana estaba revirtiendo la selección natural permitiendo que los *menos aptos* sobrevivieran y se *procrearan en exceso* con respecto a los *más aptos*. Después de que las atrocidades del Holocausto fueran vinculadas con la eugenesia, la opinión pública científica dejó de ver de manera favorable la relación entre la selección natural y el Darwinismo social y la eugenesia (a pesar de que tampoco había sido realmente aceptada universalmente en el pasado).

Algunos creacionistas, como Kent Hovind, creen que la evolución es la base para el Nazismo, Comunismo, Marxismo, la alabanza a la Madre Tierra, racismo, etc.

La noción de que los humanos comparten ancestros comunes con otros animales, también afectó la manera en la que algunas personas ven la relación entre los humanos y otras especies. Muchos de los defensores de los derechos humanos mantienen que si los animales y humanos son de la misma naturaleza, los derechos no pueden ser distintos para los humanos.

Evolución y religión

Antes de que la geología se convirtiera en una ciencia, a principios del siglo XIX, tanto las religiones occidentales como los científicos condenaban de manera dogmática y casi unánime cualquier propuesta que implicara que la vida es el resultado de un proceso evolutivo. Sin embargo, a medida que la evidencia geológica empezó a acumularse en todo el mundo, un grupo de científicos comenzó a cuestionar si una interpretación literal de la creación relatada en la Biblia Judeo-Cristiana podía reconciliarse con sus descubrimientos (y sus implicaciones). Algunos geólogos religiosos, como Dean William Auckland en Inglaterra, Edward Hitchcock en Estados Unidos y Hugo Millar en Escocia siguieron justificando la evidencia geológica y fósil solo en términos de un Diluvio universal; pero una vez que Charles Darwin publicara su *Origen de las Especies* en 1859 la opinión científica comenzó a alejarse rápidamente de la interpretación literal de la Biblia.

Este debate temprano acerca de la validez literal de la Biblia no se llevó a cabo tras puertas cerradas, y desestabilizó la opinión educativa en ambos continentes. Eventualmente, instigó una *contrarreforma* que tomó la forma de un renacimiento religioso en ambos continentes entre 1857 y 1860.

A pesar que la teoría de la evolución ha sido demostrada científicamente, algunos grupos, principalmente en Estados Unidos, interpretan en las Escrituras que solo un ser supremo pudo crear directamente a los humanos y a otros animales como especies separadas y acabadas. Este punto de vista es comúnmente llamado creacionismo, y sigue siendo defendido por algunos grupos religiosos, particularmente los protestantes estadounidenses; principalmente a través de una forma de creacionismo contemporáneo llamado Diseño inteligente. Esto ha llevado a un duro conflicto entre la creación y evolución en la historia de la educación pública de este país, aunque actualmente más bien es un fenómeno local en algunos estados; ya que es obligatoria la enseñanza de la teoría de evolución. (aunque cabe destacar que también ha afectado a otros países, por ejemplo, en el año 2005 en Italia hubo un intento de suspensión de la enseñanza de la teoría de la evolución).

En respuesta a la aceptación científica de la teoría de la evolución, muchos religiosos y filósofos han tratado de unificar los puntos de vista científico y religioso, ya sea de manera formal o informal; a través de un "creacionismo pro-evolución". Así por ejemplo algunos religiosos han adoptado un enfoque creacionista desde la evolución teísta o el creacionismo evolutivo, en donde Dios provee una chispa divina que inicia el proceso de la evolución, y (o) donde Dios creó el curso de la evolución.

Por ejemplo, a partir de 1950 la Iglesia Católica Romana tomó una posición neutral con respecto a la evolución con la encíclica *Humani generis* del Papa Pío XII. *"El Magisterio de la Iglesia no prohíbe el que —según el estado actual de las ciencias y la teología— en las investigaciones y disputas, entre los hombres más competentes de entrambos campos, sea objeto de estudio la doctrina del evolucionismo, en cuanto busca el origen del cuerpo humano en una materia viva preexistente —pero la fe católica manda defender que las almas son creadas inmediatamente por Dios—. 'El Papa Benedicto XVI ha afirmado que "existen muchas pruebas científicas en favor de la evolución, que se presenta como una realidad que debemos ver y que enriquece nuestro conocimiento de la vida y del ser como tal. Pero la doctrina de la evolución no responde a todos los interrogantes y sobre todo no responde al gran interrogante filosófico: ¿de dónde viene todo esto y cómo todo toma un camino que desemboca finalmente en el hombre?"*

En los países o regiones en los cuales la mayoría de la población mantiene fuertes creencias religiosas, el creacionismo posee un atractivo mucho mayor que en los países donde la mayoría de la gente posee creencias seculares. Desde los años 1920 hasta el presente en los Estados Unidos, han ocurrido varios ataques religiosos a la enseñanza de la teoría evolutiva, particularmente por parte de los cristianos fundamentalistas y protestantes; si bien entre los últimos ésta no es una posición unánime.

Otras teorías y críticas científicas

La teoría sintética es el modelo explicativo más explorado y robusto de los que se dispone actualmente para comprender los fenómenos evolutivos. Aunque no existe hoy una sólida teoría alternativa desarrollada, algunos científicos sí han reclamado la necesidad de realizar una reforma, ampliación o sustitución de la Teoría Sintética, con nuevos modelos capaces de integrar la Biología del Desarrollo o incorporar una serie de descubrimientos biológicos cuyo papel evolutivo se está debatiendo, tales como ciertos mecanismos hereditarios epigenéticos, la horizontal/transmisión horizontal; o propuestas como la existencia de múltiples niveles jerárquicos de selección o la plausibilidad de fenómenos de asimilación genómica para explicar procesos macroevolutivos (incremento de complejidad por integración en complemento al incremento en complejidad por transformación —gradual—).
