

Evolución biológica, teorías evolutivas

Formación de las primeras células

Se ha convenido que el proceso de formación de las primeras células debió superar varias etapas de evolución, tres de carácter prebiológico (química) y una biológica: constitución de la Tierra, síntesis prebiológica, fase subcelular y fase protocelular.

Constitución de la tierra

Se estima que tuvo lugar hace unos 5.000 millones de años. El enfriamiento de las rocas emitía gases a la atmósfera ricos en compuestos de carbono y carentes de oxígeno (reductores).



Durante la constitución de la Tierra la atmósfera era reductora, debido a la carencia de oxígeno de los gases emitidos al enfriarse las rocas

Síntesis prebiológica

Se produce a partir de los *monómeros*, o moléculas sencillas procedentes de los gases de la atmósfera primitiva, que posteriormente quedarían disueltos en el medio líquido. Aminoácidos, azúcares y bases orgánicas se irían formando mediante diferentes tipos de energía, descargas eléctricas o radiaciones ultravioletas. Éstos, en el medio acuoso, tendrían una polimerización gradual dando lugar a macromoléculas o cadenas proteicas y de ácidos nucleicos.



Diferentes tipos de energía, como descargas eléctricas o radiaciones ultravioleta irían formando aminoácidos, azúcares y bases orgánicas.

Fase subcelular

Las microesferas de proteinoides (según Fox) o coacervados (según [Oparin](#)), consistentes en gotitas ricas en polímeros, inician su separación dentro del medio acuoso, que primitivamente tenía una consistencia de sopa. Por selección química, se generarían posteriormente protobiontes individualizados independientes del entorno (formados por proteínas y ácidos nucleicos).





Las descargas eléctricas y radiaciones ultravioleta darían lugar a la polimerización gradual en el medio acuoso.

Fase protocelular

Se activa un mecanismo de autorreproducción, y una evolución biológica por selección natural. Ese mecanismo genético asegura que las protocélulas hijas adquieran las mismas propiedades químicas y metabólicas de las protocélulas padre, es decir, se realiza una transmisión hereditaria, que a su vez permite la existencia de mutaciones (evolución biológica).

Las actuales bacterias anaeróbicas como las de tipo *Clostridium* (fermentadoras), serían parecidas a las que en el origen de la Tierra tendrían los primeros seres vivos, que, probablemente, consistirían en formas unicelulares heterótrofas; de todas formas, estas bacterias actuales requieren adquirir en el entorno moléculas energizadas constituidas por reacciones no biológicas.

Las primeras células que dependían, como ya se dijo, de materia orgánica formada por diferentes fuentes de energía como las descargas eléctricas (que comenzaría a escasear), prescindieron progresivamente de esa energía cuando la fotosíntesis entró en acción. La atmósfera comenzó entonces a recibir O₂, y por evolución aparecerían las cianobacterias o algas azules, cuyos sedimentos fueron identificados en microfósiles de hace unos 3.500 millones de años.

La atmósfera del planeta cambió de reductora a oxidante en los 2.000 millones que siguieron a los procesos descritos. De cada cinco moléculas una era de O₂. Con la formación de la capa de ozono se redujeron las radiaciones ultravioleta, y por esa razón las condiciones que permitieron la aparición de la vida desaparecieron definitivamente.

Por tanto, la instauración plena de vida eliminó las condiciones originales que la hicieron posible. La aparición por evolución de los primeros eucarióticos unicelulares y pluricelulares, se sitúan alrededor de hace unos 2.000 millones de años.

La hipótesis de Wegener: La Deriva Continental

A pesar de que varios geólogos habían defendido la idea del desplazamiento en gran escala de los continentes, fue Alfred Wegener (figura 6), meteorólogo alemán, el primero en reunir pruebas amplias que justificaran y sostuvieran la idea de que las masas terrestres hoy disjuntas formaban en el pasado geológico una única e inmensa masa continental, que denominó *Pangea*.

Alfred Wegener nació en Berlín, en 1880. Se graduó en astronomía y obtuvo su doctorado en 1905. Desde entonces se interesó por la meteorología y fue un ardiente adepto de la aerostática, el arte de navegar en globo. También se interesó por las expediciones polares y en 1906 participó en la expedición danesa a Groenlandia, donde pasó dos inviernos haciendo observaciones meteorológicas. Al regresar a Alemania, en 1908, fue nombrado profesor de meteorología de la Universidad de Marburgo.

En 1910, Wegener puso su atención en la idea de la deriva de los continentes, pues estaba impresionado, como tantos otros, por la semejanza de las costas de los continentes situados en ambos lados del Atlántico sur. Inicialmente le pareció improbable la idea de los desplazamientos de los continentes. A partir de 1911, gracias a datos paleontológicos, también empezó a buscar pruebas geológicas que apoyaran la idea de la deriva continental. Trabajó intensamente y el 6 de enero de 1912 presentó una conferencia acerca de la deriva en la Unión Geológica de Frankfurt, titulada "La formación de las grandes estructuras de la corteza terrestre (continentes y océanos) con bases fisiográficas".

El 10 de enero de ese mismo año pronunció otra conferencia, esta vez en la Sociedad para el Fomento de la Historia Natural General de Marburgo, titulada *Die Entstehung der Kontinente* ("El origen de los continentes"). Con este mismo título publicó, también en 1912, dos trabajos sobre el tema.

Después viajó de nuevo a Groenlandia (1912-1913) y en seguida tuvo que pasar a la vida militar activa, debido al inicio de la primera Guerra Mundial; fue herido dos veces y se dio de baja en 1915. Utilizó su período de convalecencia en elaborar con mayor amplitud los dos artículos de 1912. De ahí resultó su libro *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* ("El origen de los continentes y océanos"), hoy un clásico de la literatura geológica, publicado en 1915 y con numerosas ediciones.

En esa época era opinión corriente que el planeta Tierra se había originado de una masa en fusión; al solidificarse la Tierra, los materiales más leves, en gran parte graníticos, se habían reunido en la superficie del planeta, dejando abajo las rocas basálticas, más duras y pesadas, y en el centro un núcleo metálico todavía más

denso. Al solidificarse la corteza se formaron las cadenas montañosas, por plegamiento de la corteza siálica, tal y como se forman arrugas en la cáscara de una manzana que se está secando y marchitando.

En su libro, Wegener examinó esa idea. Propuso que inicialmente existía en la superficie de la Tierra un supercontinente continuo, *Pangea*, el cual se habría partido durante la Era Mesozoica y sus fragmentos empezaron a moverse y dispersarse. Llamó a este movimiento *Horizontale Verschiebung der Kontinente* (desplazamiento horizontal de los continentes). Más tarde ese proceso fue denominado *deriva continental*.

Adoptando con convicción el concepto de isostasia postulado por el astrónomo inglés G. B. Airy, Wegener admitió que los fragmentos de *Pangea*, constituidos por materiales graníticos leves (densidad: 2.8), "fluctuarían" por arriba de materiales basálticos subyacentes, más densos y fluidos (densidad: 3.3), que forman el piso oceánico. Así, como los icebergs en el agua, los fragmentos de *Pangea*, constituidos por sial, estarían en equilibrio sobre el sima.

Ese equilibrio isostático permitiría a esos bloques realizar movimientos verticales, que resultan de la aplicación del principio de Arquímedes. Cuando la erosión desgastara una camada superficial de un continente, éste tendería a subir, tal como una barca que está siendo descargada. Un ejemplo de ese fenómeno se relaciona con el aligeramiento que ocasiona el derretimiento de grandes masas de hielo, como en la península de Escandinavia, donde se puede comprobar una elevación de cerca de un metro por siglo.

Wegener argumentó que si esos bloques continentales siálicos fluctuando en el sima podían realizar movimientos verticales, también podrían realizar movimientos horizontales deslizantes, siempre y cuando se ejerciera una fuerza suficientemente fuerte.

Para apoyar su hipótesis Wegener reunió una cantidad impresionante de datos que extrajo de diversas ramas de las ciencias naturales, incluyendo la geofísica, la geología, la paleontología y las ciencias biológicas. Trataremos tales datos más adelante.

Wegener también utilizó como demostración de la deriva continental la coincidencia fisiográfica de las costas de los continentes que cercan el Atlántico. Demostró que al yuxtaponer tales estructuras presentan similitudes y se acoplan como si fueran las piezas de un rompecabezas. Por ejemplo, la sucesión vertical de rocas sedimentarias y lava basálticas que componen, respectivamente, la secuencia del Paleozoico Superior y del Mesozoico de la cuenca del Paraná, en Brasil, es semejante a la que se encuentra en la cuenca del Karoo, en Sudáfrica. Wegener demostró igualmente que, al reconstruirse el supercontinente *Pangea*, los depósitos de carbón y de evaporitas yacen próximos al ecuador de esa época, mientras los tilitos de India, Australia, Sudamérica y sur de África estarían próximos al antiguo polo. Entonces pensó que era evidente que la posición de las masas terrestres había cambiado no sólo en la relación que tenían unas con otras, sino que también en relación con el polo. Así, según Wegener, durante el movimiento los fragmentos de *Pangea* se habían alejado de los polos, por lo cual denominó a ese movimiento *Polflucht* (fuga de los polos).

Para Wegener; al final del Carbonífero, o sea, hace aproximadamente 290 millones de años, sólo existía un único continente, *Pangea*. Esa inmensa masa continental se habría fragmentado posteriormente en distintas direcciones, de tal manera que en el Eoceno ya se podrían distinguir con claridad dos continentes: el eurasiático, que se comunicaba, a través de Escandinavia con Norteamérica, dando lugar a un supercontinente septentrional llamado *Laurasia*, y, al sur, una serie de bloques continentales (hoy separados) que constituía el supercontinente de *Gondwana*, el cual comprendía a Sudamérica, Antártida, Australia y África.

Según Wegener, la deriva de las *balsas* continentales se manifestó geológicamente por lo que él llamó "juegos de popa y de proa". En el frente de los continentes (o en la "proa de la balsa") en movimiento se formaron gigantescas arrugas: las cadenas de montañas; así, el contacto de América, que deriva hacia el occidente, con el sima del Pacífico generó la cordillera de los Andes y las Montañas Rocosas; Australia, que deriva hacia el Oriente, indujo la formación de sus cadenas costeras orientales. Esos *arrugamientos* de la "proa" también tienen importantes repercusiones internas que generan las actividades volcánicas y magmáticas intensas de esas regiones.

Del lado de la popa los fenómenos no son menos espectaculares. Los continentes en deriva abandonan, en su rastro, algunos fragmentos de su margen posterior (la "popa de la balsa"), generando islas, grandes o pequeñas. América, por ejemplo, en su deriva hacia el oeste, habría formado tras de sí el arco de las islas de las Antillas. Más espectacular todavía habría sido la deriva de Asia hacia el noroeste, que dejara como huella la guirnalda de las islas del Archipiélago de Sonda, el Japón, las Kuriles y otras.

Finalmente, Wegener propuso un mecanismo para explicar el *Polflucht* y la deriva. Argumentó que las fuerzas gravitacionales resultantes de la forma de la Tierra, un elipsoide en revolución, eran las que causaban el *Polflucht*, y que la deriva de los continentes hacia el oeste resultaba del "empuje" que recibían las masas continentales debido a las mareas inducidas por la atracción gravitacional del Sol y de la Luna. Pero Wegener presentó tales ideas sólo como tentativas de explicación, pues afirmó que "la cuestión de cuáles fuerzas habrían podido causar esos desplazamientos, pliegues y hendiduras, aún no puede responderse conclusivamente".

Biología evolutiva

El origen de la vida, teoría

El origen de la vida ha tenido en todas las civilizaciones una explicación cuyo denominador común era la intervención divina. La ciencia, sin embargo, ante esta gran pregunta necesitaba buscar causas, reglas o mecanismos que dieran a ese hecho una justificación constatable.

La *generación espontánea* de la vida fue una teoría autorizada y desautorizada consecutivamente en varias ocasiones entre 1668 y 1862, año éste último en que se disipó la incógnita. En 1668 el médico italiano Francesco Redi demostró que las larvas de mosca de las carnes en descomposición se producían a causa de puestas previas, y no espontáneamente por la propia carne. La generación espontánea quedaba en parte desautorizada (no exenta de polémica) a pesar del arraigo que esa teoría tenía en la historia de la biología.

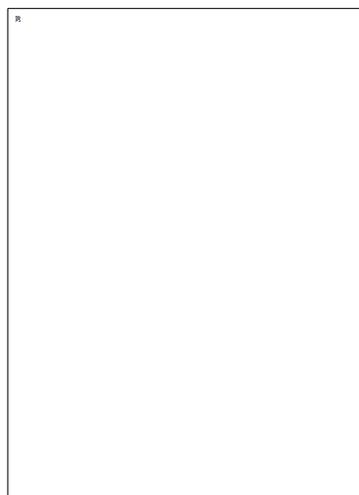
La polémica sobre la generación espontánea se avivó aún más cuando en 1677 Antoni Van Leeuwenhoek, un fabricante de microscopios y pionero en descubrimientos sobre los protozoos, desautorizó de nuevo la antigua teoría cuando experimentó sobre microorganismos sólo visibles al microscopio, ante la aparente constatación de que estos seres aparecían espontáneamente en los alimentos en descomposición. Demostró que las pulgas y gorgojos no surgían espontáneamente a partir de granos de trigo y avena, sino que se desarrollaban a partir de diminutos huevos.

Tuvieron que transcurrir cien años para que en 1768 el fisiólogo italiano Lázaro Spallanzani (uno de los fundadores de la biología experimental) demostrase la inexistencia de generación espontánea. Hirviendo un caldo que contenía microorganismos en un recipiente de vidrio, y cerrándolo después herméticamente para evitar la entrada de aire, el líquido se mantuvo claro y estéril. Los inmovilistas de esa época no dieron validez al experimento, a pesar de su rotundidad, y expusieron como argumento que se había alterado el aire del interior del recipiente por efecto del calor, eliminando los principios creadores de la vida.

El problema seguía sin resolverse definitivamente en la segunda mitad del siglo XIX, hasta que el biólogo francés Louis Pasteur se propuso emprender una serie de experimentos para solventar la cuestión de la procedencia de esos microorganismos que, en apariencia, se generaban espontáneamente. En 1862 Pasteur llegó a la conclusión de que los gérmenes penetraban en las sustancias procedentes de su entorno.

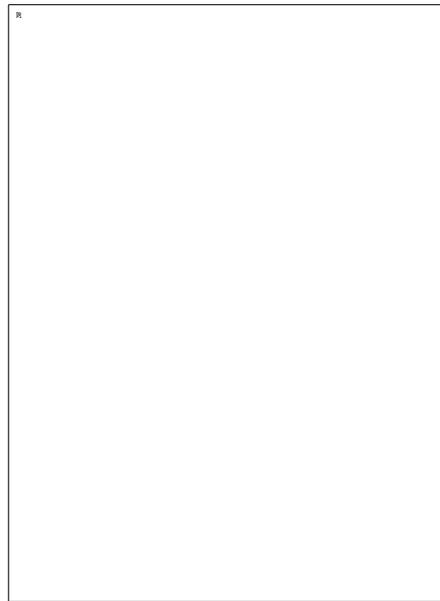
Ese descubrimiento dio lugar a un debate feroz con el biólogo francés Félix Pouchet, y más tarde con el respetado bacteriólogo inglés Henry Bastion; éste último mantenía que la generación espontánea podía darse en condiciones apropiadas. Una comisión de la Academia de Ciencias aceptó oficialmente en 1864 los resultados de Pasteur, a pesar de ello los debates duraron hasta bien entrada la década de 1870.

En la actualidad, la base de referencia de la teoría evolutiva del origen de la vida, se debe al bioquímico soviético Alexandr Ivánovich Oparin, aunque el británico John Burdon Sanderson Haldane sostuvo una idea similar. Oparin postuló en 1924 que las moléculas orgánicas habían podido evolucionar reuniéndose para formar sistemas que fueron haciéndose cada vez más complejos, quedando sometidos a las leyes de la evolución. Según esta teoría, los océanos contenían en sus orígenes gran cantidad de compuestos orgánicos disueltos. En un proceso que requirió mucho tiempo, esas moléculas se fueron agrupando en otras mayores y éstas a su vez en complejos temporales. Alguno de esos complejos se convirtió en un protobionte tras adquirir una serie de propiedades, por las cuales podía aislarse e introducir en su interior ciertas moléculas que le rodeaban y liberar otras. Las funciones metabólicas, la reproducción y el crecimiento habrían aparecido después de que el protobionte adquiriera la capacidad de absorber e incorporar las moléculas a su estructura, para finalmente conseguir separar porciones de sí mismo con iguales características.



Alexandr Ivánovich Oparin

La teoría de Oparin fue experimentada con validez por Stanley Miller en 1953, como parte de su tesis doctoral dirigida por H. Urey; consiguiendo obtener compuestos orgánicos complejos después de reproducir las condiciones primitivas del planeta en un aparato diseñado al efecto. Miller creó un dispositivo, en el cual la mezcla de gases que imitan la atmósfera primitiva, es sometida a la acción de descargas eléctricas, dentro de un circuito cerrado en el que hervía agua y se condensaba repetidas veces. Se producían así moléculas orgánicas sencillas, y a partir de ellas otras más complejas, como aminoácidos, ácidos orgánicos y nucleótidos.



Aparato con el que Stanley Miller dio validez a la teoría de Oparin. A través del dispositivo circula una mezcla de metano, hidrógeno y amoníaco, junto con vapor de agua recalentado. Se forman varias biomoléculas importantes, sobre todo aminoácidos. 1)matraz de 500 c.c. de agua; 2)acumulación de los materiales condensados; 3)condensador; 4)chispa eléctrica; 5)electrodos de tungsteno

Una condición indispensable para la evolución de la vida a partir de materia orgánica no viva, era la existencia de una atmósfera terrestre carente de oxígeno libre. En opinión de Haldane, que sostenía esa idea, durante el proceso biogénico los compuestos orgánicos no podrían ser estables en una atmósfera oxidante (con O₂); serían los organismos fotosintéticos los que posteriormente producirían el O₂ atmosférico actual.

En resumen, la vida surgió en unas condiciones ambientales muy distintas a las actuales, las de la Tierra primitiva, a partir de moléculas orgánicas que no competían con ningún otro organismo vivo. Mediante la intervención de la selección natural se habrían ido diversificando hasta los actuales organismos.

La evolución biológica

En el año 1593, el arzobispo James Usher en colaboración con el doctor John Lightfoot, de la Universidad de Cambridge, a través de una serie de sesudos y complicados cálculos basados en datos del Antiguo Testamento, llegó a la conclusión de que el mundo fue creado a las 9 de la mañana del domingo 23 de octubre del año 4.004 antes de Cristo.

Las afirmaciones del buen arzobispo irlandés, junto con el carácter sacrosanto de los libros del Génesis y su narración de la creación única de todas las criaturas vivientes, además de la creación del hombre a imagen y semejanza del propio creador, no dejaban posibilidad alguna de mirar a la naturaleza y a nosotros mismos desde otra óptica. El poder del dogma llegaría incluso hasta nuestros días. A continuación se presenta un breve punteo sobre el impacto pasado y actual de la teoría de la evolución tal cual la presentó sir Charles Darwin hace casi ciento cuarenta años.

El concepto de "evolución biológica", al que la mayoría asociamos con el nombre de Charles Darwin y con la revolución científica en las ciencias naturales comenzada el pasado siglo es, sin embargo, muy antiguo. Las más tempranas especulaciones sobre el tema las podemos encontrar en los escritos de algunos de los filósofos griegos: como Tales de Mileto (624-548 a.C.), Anaximandro (588-524 a.C.), Empédocles (495-435 a.C.), Epicuro (341-270 a.C.), incluso el gran biólogo filósofo Aristóteles (384-322 a.C.). Algo más tarde, el poeta romano Titus Lucretius Carus (99-25 a.C.) daba una explicación evolutiva para el origen de plantas y animales en su poema "De Rerum Naturae".

Pero el espíritu de las ideas que griegos y romanos esbozaban, estaba impregnado de pensamiento metafísico en el sentido de que la gradual evolución desde organismos simples hacia otros más complejos equivalía a una progresiva gradación de lo imperfecto hacia lo perfecto.

Con la caída del Imperio Romano y el posterior auge del cristianismo, el progresivo dogmatismo religioso bloqueó todo intento de investigación racional de la naturaleza, dejando solamente posibilidades a quienes sintieran pías inquietudes, similares a las del arzobispo Usher.

Por supuesto, siempre dentro del marco de los escritos bíblicos y en lo posible bajo un estrecho control de las autoridades eclesiásticas. Es de justicia, no obstante, agregar que esas limitaciones al pensamiento y a la libre investigación, no han sido exclusividad del cristianismo. Se puede decir que todos los grandes textos religiosos, hindúes, judíos o musulmanes, plantean para los seres vivos y el hombre, unos orígenes divinos que imponen a sus creyentes y que obviamente chocan frontalmente con una visión científica del mundo. Sin embargo, el bloque dogmático no fue siempre monolítico e impenetrable, al menos en Occidente. Leonardo da Vinci (1452-1519), el gran Leonardo, es considerado por muchos como el padre de la Paleontología, ya que entre sus múltiples talentos y habilidades figura la de haber sido aficionado a coleccionar fósiles y además ser el primero en interpretarlos como lo que son: restos de organismos desaparecidos del pasado.

Pero ese, fue un pequeño chispazo de inquietud que no encontró respuestas estimulantes a la investigación evolutiva hasta pasado el siglo XVII e incluso buena parte del XVIII. Aún cuando Nicolas Copérnico (1473-1543), Ticho Brahe (1546-1601), Galileo Galilei (1564-1642) y Johan Kepler (1571-1630), reviviendo la antigua teoría del griego Aristarco (230 a.C.) provocaron la primera revolución científica renacentista al destronar al geocentrismo, que junto con el antropocentrismo, era uno de los puntales del pensamiento más vanidoso y arrogante de la humanidad.

En realidad la corriente investigadora que llevaría a recuperar y elaborar científicamente el concepto de evolución biológica arrancararía en 1735 con la publicación de la obra *Systema naturae*, de Carl von Linné (1707-1778). Linneo, botánico sueco, que creó un sistema de clasificación de los seres vivos con categorías jerárquicas según sus semejanzas o diferencias.

Así, con una nomenclatura binaria y latina, desde las especies y los géneros, su sistema se vio enriquecido por un escalafón que comprende familias, órdenes, clases y reinos a los que se han agregado categorías intermedias en las que se agrupan los diversos tipos de plantas y animales.

Lo importante de la sistemática de Linneo, no solo radica en darle al objeto de las ciencias naturales un lenguaje universal, sino que además, al ordenar a los organismos en escalas de complejidad, abría la posibilidad de establecer deducciones transformistas o evolucionistas; de concebir o sospechar antepasados comunes para grupos diversos de organismos vivos. Linneo nunca se declaró evolucionista, posiblemente en razón de sus creencias religiosas, pero fue el primero en incluir al hombre entre los animales, de clasificarlo dentro del orden de los primates antropomorfos y de llamarlo, de acuerdo con su sistema, "Homo sapiens". Lo más curioso de ello, es que incluso consideró la existencia de un "Homo silvestris" que sería una especie intermedia entre el hombre y los simios.

En la segunda mitad del siglo XVIII fue progresiva e irremediamente precipitando la idea evolucionista que obviamente estaba en el aire. Desde 1749 a 1767 se fueron publicando los 36 volúmenes de la monumental *Historia Natural, General y Concreta* de George Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788). Buffon, religioso como Linneo, seguramente se vio asaltado por dudas y contradicciones morales derivadas de sus observaciones. Pero dio un paso más adelante y aceptó un cierto proceso evolutivo en algunas especies; sólo que la evolución de Buffon tenía un sentido distinto, el de la degeneración. En su óptica, los monos eran degeneraciones del hombre y los burros lo eran del caballo. A todo esto, en todo el mundo seguían apareciendo fósiles, fortuita o intencionalmente, que pedían a gritos ser incluidos en alguna rama de las ciencias naturales. La tarea iba a recaer en el fundador de la Paleontología moderna; el barón George Leopold Cuvier (1769-1832), naturalista francés de enorme talento y profusa producción científica. Cuvier, como Buffon y Linneo, tampoco fue evolucionista, pero también sin quererlo, contribuyó a la gestación de la idea. Sus trabajos de anatomía comparada entre animales extinguidos y vivientes, daban muchas pautas de la transición entre peces y anfibios, y anfibios y reptiles. Pero, el no lo quiso aceptar, o no lo vio, y así fue como elaboró su famosa teoría catastrofista, asociada al diluvialismo de la iglesia, con la cual proclamaba no una continuidad entre faunas extintas, sino sucesivas creaciones independientes.

Irónicamente, el mayor adversario de Cuvier fue un paisano suyo, de humilde origen y naturalista autodidacta brillante llamado Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), quien a través de su más importante obra *Phylosophie Zoologique*, publicada en 1809, el año del nacimiento de Charles Darwin, se convirtió en el auténtico precursor de la teoría de la evolución biológica. Lamarck postuló su teoría con tres premisas principales:

- 1) El ambiente modifica la estructura de plantas y animales.
- 2) Los cambios anatómico-funcionales se producen por el uso o el desuso.
- 3) Las nuevas características adquiridas se transmiten por herencia a la descendencia.

La hipótesis de Lamarck fue rechazada casi por unanimidad, por una parte debido a la imposibilidad de que los caracteres adquiridos pudieran transmitirse por herencia, pero también por lo difícil que era todavía en su tiempo, derribar las barreras del prejuicio religioso.

Sin embargo, pese a las limitaciones de su teoría, Lamarck fue un destacado científico que además de sus contribuciones botánicas y zoológicas, tuvo la valentía de no dejarse avasallar por antiguos dogmatismos y plantear sus ideas abiertamente, lo cual lo convirtió en el adelantado de la moderna concepción de la evolución biológica.

A partir de la teoría lamarckiana, la idea evolucionista se generalizó por todo el mundo científico, dejando la puerta abierta a nuevas propuestas y estimulando las inquietudes sobre el origen de la vida, de los seres vivos y del hombre mismo.

Darwin

Charles Darwin nació en 1809 y murió en 1882 a los 73 años de edad, después de una fecunda vida científica. Desde niño sintió una fuerte inclinación por las cosas de la naturaleza y aún cuando intentó seguir la tradición familiar estudiando medicina primero y la carrera eclesiástica después (sin llegar a terminar ninguna de las dos), le surgió de pronto, a los 22 años, la oportunidad de volver a su verdadera vocación.

Durante 5 años, desde 1831 hasta 1836, viajó alrededor del mundo a bordo del bergantín *Beagle*, como naturalista oficial de una de las expediciones armadas por el almirantazgo inglés. El viaje salió de Plymouth, y recorrió básicamente el hemisferio sur por el Atlántico, el Pacífico, y el Indico.

Posiblemente nadie que conozca, aunque sea muy superficialmente, el famoso viaje de Darwin, ignore su paso y estancia en las islas Galápagos; pero también es posible que pocos sepan que previamente, durante las múltiples recorridas que el *Beagle* realizó por el Atlántico sur durante dos años y medio, el naturalista estuvo en el Uruguay por lo menos seis veces: cuatro en Montevideo y alrededores y dos en Maldonado, realizando además diversas excursiones por Canelones, Mercedes y sierras de Maldonado y Minas.

Sin duda alguna, el del "H.M.S. *Beagle*" fue uno de los viajes más fecundos desde el punto de vista científico y ciertamente decisivo en lo que tiene que ver con la evolución biológica.

Darwin volvió a Inglaterra con un impresionante cargamento de fósiles, de especímenes de plantas y animales, de datos y notas recopiladas en el mar y en tierra firme, de valiosas experiencias sobre el comportamiento de plantas, animales y hombres de distintas latitudes y de los más diversos ambientes. Sus ideas acerca de la evolución, surgidas paulatinamente durante años de observación, fueron tomando forma en notas y apuntes que ya consideraba dentro del concepto de teoría y que fue madurando mientras escribía y publicaba diversos trabajos botánicos, zoológicos y geológicos.

El 24 de noviembre de 1859, 23 años después de haber finalizado su famoso periplo alrededor del mundo, Charles Darwin publicaba la primera edición de su obra cumbre: *Del Origen de las Especies* por medio de la Selección Natural, o la conservación de las Razas favorecidas en la *Lucha por la Vida*. La obra más importante relacionada con las ciencias biológicas del siglo XIX.

Sin embargo y en honor a la verdad, es imprescindible mencionar el hecho de que no fue Darwin el único autor de la teoría de la evolución de las especies. En 1858, un año antes de su famosa publicación, Alfred Russell Wallace, un joven naturalista inglés que llevaba ocho años trabajando en el archipiélago malayo, concibió casi simultáneamente con Darwin una idea sobre la evolución de las especies que coincidía prácticamente en su totalidad con la de éste.

De ahí que, aunque la teoría se difundió como obra exclusiva de Darwin, con justicia debe mencionarse como la teoría "Darwin-Wallace".

En febrero de 1871, Darwin publicó *La Descendencia del Hombre* y la *Selección en relación al Sexo*, obra en dos tomos y cuyo propósito era el de incluir a la especie humana dentro del proceso de la evolución biológica.

En el *Origen de las especies* apenas mencionaba al hombre dentro de la problemática de la evolución, pero dejaba abiertas las posibilidades al decir: "se arrojará mucha luz sobre el origen del hombre y de su historia". Fue tal vez esta frase la que enardecía más a los espíritus religiosos, al involucrar al hombre en el mismo proceso, ya de por sí considerado herético.

Era intolerable el sólo hecho de mencionar al hombre en una obra que postulaba revolucionarios conceptos de naturaleza puramente biológica. Significaba considerar al "rey de la creación" como un animal más, y lo que es peor, echaba por tierra el principio antropocéntrico.

La palabra de Darwin ofendió ciertamente a muchos de sus contemporáneos y la oposición que experimentó fue tenaz y persistente, pero a pesar de todas las vicisitudes por las que pasó su teoría evolucionista, el naturalista siempre contó como incondicionales defensores desde la primera hora, a la plana mayor de la biología de su época: Lyell, Henslow, Wallace, Hooker, Huxley y Gray, son algunos de los más importantes.

En 1882, cuando muere Charles Darwin, la mayoría de los biólogos se había convencido de la importancia de las conclusiones del sabio, que habían sido también aceptadas por amplios sectores de la opinión pública. Sin embargo, quedaban grandes lagunas por resolver, que hicieron surgir nuevas polémicas entre los investigadores.

Una teoría en apuros

La teoría de la evolución darwiniana se apoya sobre cuatro argumentos principales:

- 1) Variación: los organismos varían y derivan de unos a otros en forma hereditaria.
- 2) Lucha por la existencia: en la naturaleza nacen muchos más organismos de los que sobreviven.
- 3) Selección Natural: las variaciones seleccionadas por el medio, de acuerdo a su capacidad de adaptación son las que favorecen la reproducción y la supervivencia.
- 4) Especiación: la Selección Natural acumula variantes favorables produciendo subespecies o razas primero y nuevas especies después.

El mayor problema de Darwin consistió en explicar los mecanismos hereditarios. La genética aún no existía y todo lo referente a la herencia se explicaba con la "teoría de la sangre", que no se ajustaba convincentemente con el argumento de la variación. El sacerdote austríaco Gregor Mendel (1822-1884) había presentado en 1865 su trascendental trabajo *Hibridación de Plantas*, pero su complicada disertación solo consiguió aburrir al auditorio de la Sociedad de Brunn para el Estudio de las Ciencias Naturales. Su trabajo de ocho años, sus famosas leyes de la herencia, fueron ignoradas lamentablemente al no tener la difusión que merecían.

A principios del siglo XX, en 1900, el holandés Hugo de Vries (1848-1935), el alemán Carl Correns (1864-1933) y el austríaco Erich von Tschermak (1871-1962), redescubrieron independientemente las leyes de Mendel.

Con el reconocimiento de los cromosomas y de los genes, una nueva revolución biológica llamada Genética se ponía en marcha. La mayor parte de la primera mitad del siglo la dedicaron los genetistas al estudio de la composición de genes y cromosomas y al de las mutaciones o variaciones que se producían en ellos.

En 1953, el norteamericano James Watson y el británico Francis Crick publicaron su descubrimiento de la molécula helicoidal de ácido desoxirribonucleico, ADN, contenida en los cromosomas del núcleo celular. Los autores del trascendental hallazgo recibieron el premio Nobel de 1962.

De acuerdo al nuevo conocimiento, un gen está compuesto por una secuencia de las cuatro bases o nucleótidos que se repiten a lo largo de la molécula de ADN contenida en el cromosoma. Cualquier cambio que se produzca en la secuencia de bases, constituye un error y por lo tanto una mutación génica. De esta forma hemos llegado a conocer el mecanismo de las variaciones, principio fundamental de la evolución.

Es así, cómo en la actualidad, el fenómeno de la evolución biológica, dispone de toda una serie de disciplinas de estudio e investigación, que concurren en la forma de ir conociendo cada vez más el proceso, y como pruebas de su importancia rectora de la vida sobre el planeta.

Desde la taxonomía de Linneo, los estudios de embriología de Haeckel, los permanentes descubrimientos de la paleontología en todo el mundo y la observación de la distribución biogeográfica a los constantes e imparables avances de la genética de poblaciones y la investigación actual del genoma humano y en general de la biología molecular, el panorama lleva a la conclusión de que la evolución ha alcanzado su madurez.

La idea fundamental de Darwin esta hoy ampliamente aceptada por el mundo científico porque es un proceso plenamente comprobado. La moderna biología evolucionista es una síntesis de los conocimientos de la teoría de la selección natural y de la genética y los hallazgos de la biología molecular enlazan con gran exactitud con los razonamientos de Darwin.

En la naturaleza sobreviven y se reproducen los organismos mejor dotados, los mejor adaptados a las condiciones del medio. La mayor parte de ellos son eliminados desde el principio porque la selección natural opera básicamente por "reproducción diferencial"; es decir que los individuos con mayor capacidad de adaptación al medio, los más eficientes, los de mayor capacidad reproductiva para dejar descendencia, son en consecuencia los que producen "eficiencia biológica", esto es mejores combinaciones de genes de la población.

Ese es el verdadero sentido de la selección natural y de la lucha por la existencia, muchas veces falsamente confundido como resultado de competiciones regidas por comportamientos innatos de agresividad y violencia.

Generalmente la supremacía del más fuerte equivale a la supremacía del mejor adaptado, del más sano, del que se ha salvado de la predación, del más hábil y del más "seductor" para reproducirse en una nueva generación. Por eso la reproducción es crucial en el proceso de evolución; junto con la tasa de natalidad, define el éxito de una especie, siempre y cuando el equilibrio demográfico impuesto por el medio no sea alterado o no se altere el medio en sí.

La selección natural se pone en marcha, cambia su ritmo o se acelera como consecuencia de los cambios ambientales, por eso el éxito de cualquier especie siempre va a ser temporal; cada grupo de organismos tiene su tiempo y por eso la extinción, que es lo contrario de la adaptación, es una parte alternativa de la evolución.

Cuando miramos hacia el registro fósil de organismos del pasado, pese a las dificultades que normalmente presenta su hallazgo y a las aún más raras condiciones que ha exigido el proceso de fosilización, y vemos que el número de especies desaparecidas que hemos logrado identificar y calcular, es infinitamente superior al del que suponemos que hay hoy en día en nuestro planeta, nos damos cuenta de cómo ha trabajado la evolución durante

miles de millones de años.

Y tomamos conciencia de que la evolución no mantiene las especies, pero si conserva y promueve la vida.

Richard Leakey, célebre paleoantropólogo kenyata explica en uno de sus libros que la vida en el planeta Tierra ha pasado por cinco grandes extinciones masivas y que muy probablemente estemos en el inicio de la sexta.

La "ecología" esta hoy de moda, y mucha gente se preocupa por el deterioro ambiental que todos sufrimos. La filosofía subyacente a los movimientos conservacionistas puede y debe hacer mucho por mejorar la situación, pero no puede ir contra las pautas naturales.

El respeto que le debemos a la naturaleza debe ir contra los factores culturales degradantes que aceleran los procesos de cambio ambiental; al menos los más abordables por ser solucionables práctica, económica y tecnológicamente.

Otros son irreversibles y son hechos que debemos asumir, como la superpoblación y sus consecuencias. *Gaia* seguirá funcionando con o sin nosotros mientras el sol la siga iluminando.

Coevolución o Evolución concertada

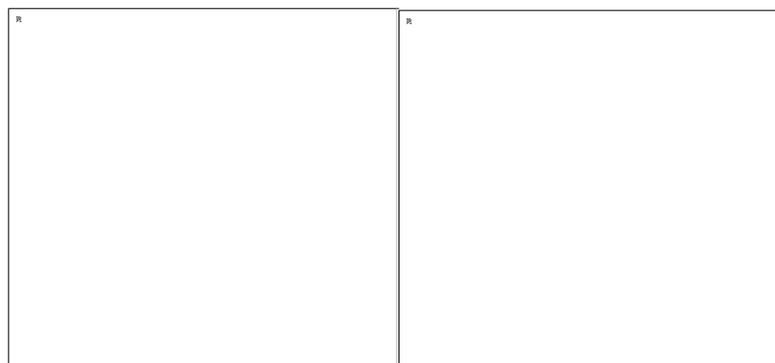
La Coevolución o Evolución concertada es el resultado de las relaciones bióticas entre especies distintas a lo largo del tiempo, es decir, es el producto evolutivo de las interacciones vitales entre especies no emparentadas, por lo cual unas dependen en parte de las otras para evolucionar, y viceversa. Todas estas definiciones podrían resumirse en un solo concepto: *adaptación*.

Adaptación a los factores ambientales

Cuando una especie ocupa un hábitat, está condicionada por una serie de factores ambientales abióticos (ajenos a la vida) y bióticos (relacionados con la vida); los abióticos, como por ejemplo el clima, influyen en esas especies y le fuerzan a adaptarse a esos factores para asegurar la supervivencia (como un pingüino a las bajas temperaturas); los bióticos, como los demográficos, de competencia, de grupo, etc., están fijados por las relaciones que la especie mantiene con otras especies (por ejemplo como las de un cazador y una presa). Estos factores, los bióticos, son los que nos interesa estudiar desde el punto de vista de la coevolución.

La adaptación a los factores abióticos no entra dentro de la evolución concertada, ya que no se ven alterados durante el proceso de adaptación de una especie. Por ejemplo, las características climáticas no cambian en el transcurso de adaptación de una especie al clima (aunque sí al contrario). Sin embargo, determinados parámetros bióticos de una especie sí pueden cambiar durante su proceso de adaptación en cuanto a su relación con otras especies. Así, un conejo, que es presa habitual de un ave rapaz, podría adaptarse para huir mejor de su potencial depredador (mejorando su mimetismo, velocidad, etc.), pues lo probable es que esa rapaz también evolucione adaptándose a los cambios que se experimentan en el conejo (agudizando la vista, perfeccionando las técnicas de vuelo para el ataque, etc.). El mismo ejemplo valdría para otros muchos depredadores y presas, como un león y un antílope.

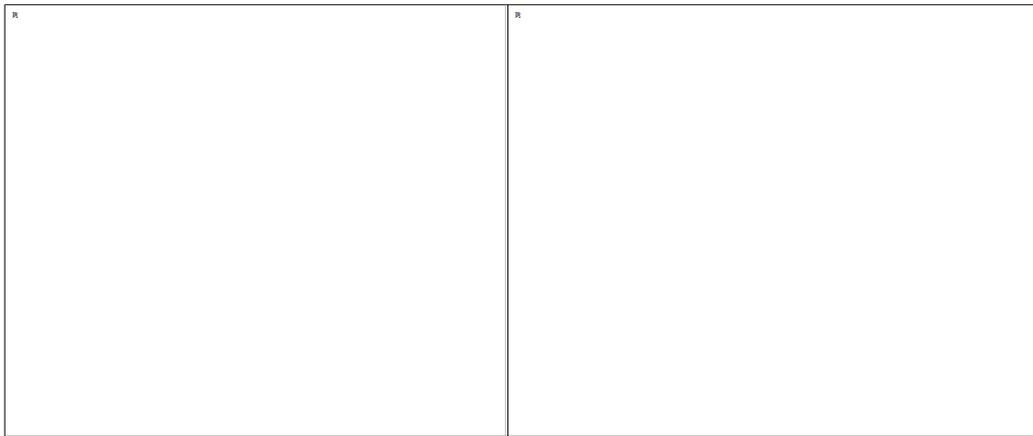
Los estudios sobre cráneos y huesos de las patas fósiles del Cenozoico, tanto de carnívoros como determinados ungulados que les servían de presas, demuestran que tanto unos como otros han ido aumentando el volumen del cerebro, y adquiriendo también mayor rapidez en sus desplazamientos. Esto es indicativo, en ambos, de la utilización de la inteligencia para cazar y evitar ser capturados, así como de un perfeccionamiento de las extremidades para ser más veloces, tanto en los depredadores para el ataque, como en las presas para la huida. Todo esto se puede resumir en el sentido de que, con el transcurso del tiempo, el depredador desarrolla técnicas más eficaces para capturar a la presa, y la presa a su vez también desarrolla sus propios mecanismos para evitar ser capturada. Así, existió una evolución concertada, pues a medida que los depredadores se hacían más inteligentes y rápidos, por selección natural e iguales motivos también sobrevivían las presas más capaces, y viceversa.



Las adaptaciones desarrolladas por un depredador y su presa, ilustran el concepto de Coevolución concertada.

La coevolución concertada no se limita a las relaciones en especies del reino animal, también se manifiesta entre animales y plantas. Así, muchas especies vegetales han desarrollado mecanismos para defenderse y asegurar su reproducción y descendencia, por ejemplo endureciendo las vainas que envuelven las semillas; generando olores repugnantes o savia venenosa, o disponiendo espinas o púas para evitar ser comidos. Estas medidas defensivas de muchas plantas han conseguido ser superadas por algunos animales herbívoros, lo que obligará aquéllas a coevolucionar para superar las nuevas capacidades de éstos.

Otro ejemplo de coevolución concertada entre animales y plantas, es la que se da entre la mariposa monarca y determinadas especies vegetales (asclepiadáceas) de las que se alimenta, que contienen sustancias amargas o venenosas. Esta mariposa puede sintetizar esas sustancias utilizándolas como defensa contra sus depredadores, que evitarán ingerirlas. Mediante selección natural, otro lepidóptero emparentado, la mariposa virrey, ha desarrollado hábilmente los patrones de colores de la mariposa monarca, de tal forma que esa imitación engaña a sus posibles depredadores induciéndoles a creer que se trata de una especie no comestible. Probablemente, estas formas de evolución concertada se han realizado paralelamente, es decir, la ventaja que supone el mimetismo ha forzado a ambas especies a una evolución paralela aunque no ocupen los mismos nichos ecológicos.



La mariposa virrey (izquierda) ha desarrollado un patrón de colores que imita a la mariposa monarca (derecha), ésta no comestible por sus posibles depredadores.

El mimetismo es una forma de coevolución o adaptación muy extendida en la naturaleza, por ejemplo el que se da en el camaleón para confundirse con su entorno. También las manifestaciones antagónicas al mimetismo son habituales; así, existen animales venenosos o de olores muy desagradables, que exhiben brillante colores o dibujos muy aparentes y llamativos, dando así un aviso a sus potenciales depredadores.

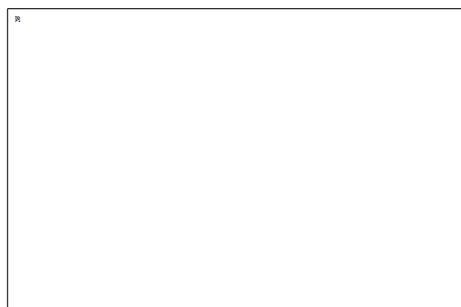
Aunque no existe una línea divisoria bien diferenciada, se pueden establecer dos tipos de coevolución o evolución concertada, la antagonista y la cooperativa:

Coevolución antagonista

La Coevolución antagonista o evolución concertada antagonista, es un proceso iterativo pero antagónico cuando se manifiestan las relaciones entre especies, por ejemplo entre una presa y su depredador, o un parásito y su hospedante. Los conejos introducidos en Australia a mediados del siglo XIX ilustran el ejemplo de evolución concertada entre parásito y hospedante: en 1859 un cazador inglés residente en Australia soltó un par de docenas de conejos en aquellas tierras, en las cuales eran especies extrañas. Con apenas pocos depredadores, los conejos se reprodujeron por millones hasta límites increíbles, destruyendo todas las superficies vegetales que encontraban a su paso, y arruinando la economía de agricultores y ganaderos. Tras el fallido intento de envenenarlos, se introdujeron entonces zorros rojos europeos como depredadores, pero no fueron eficaces porque se especializaron en otro tipo de presas más pequeñas.

En 1950 se introdujo un virus con conejos de América del sur, el mixomavirus, que provoca la mixomatosis, una enfermedad infectocontagiosa que afecta muy especialmente a los conejos, y que se transmite a través de mosquitos y pulgas. En un principio se demostró una gran virulencia, matando a todos los conejos infectados, pero durante tres décadas se comprobó que los conejos iban adquiriendo resistencia y recuperándose. A la vez, mediante estudios de laboratorio se observó que el virus había perdido virulencia, causando menos muertes. Se confirmó así que tanto el parásito como el hospedador habían evolucionado; sin embargo, uno (el conejo u

hospedador) lo había hecho en sentido de aumentar su resistencia, mientras que el otro (el parásito o virus) lo había hecho en un sentido inverso, hacia una virulencia menor. El porqué se produce este tipo de evolución antagónica puede interpretarse en el sentido siguiente: cuando el virus comenzó a distribuirse por primera vez aún no se había producido su verdadera adaptación, es decir se trataba de una adaptación imperfecta, porque los conejos morían tan pronto quedaban infectados, no dándoles tiempo a contagiarse a otros individuos. En base a esto, la selección natural estaría favoreciendo que las cepas menos virulentas se perpetuasen.

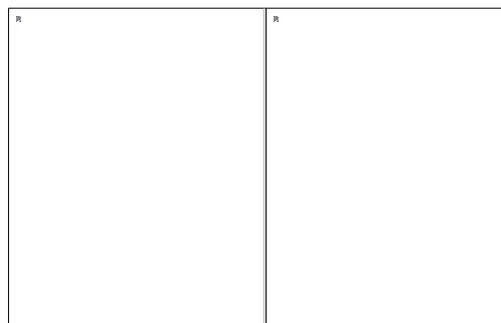


La plaga de conejos que se manifestó en Australia durante la segunda mitad del siglo XIX, y el posterior mixomavirus introducido en 1950, ilustra el tipo de coevolución antagonista.

Coevolución cooperativa

La Coevolución cooperativa se manifiesta en determinadas asociaciones, y en variadas relaciones adaptadas entre diferentes especies en las que ambas obtienen un beneficio. Por ejemplo, las larvas de muchos lepidópteros (como muchas especies de mariposas azules) son cuidadas por las hormigas contra el ataque de determinados parásitos, y a su vez las larvas segregan un líquido del que se alimentan las hormigas. Aquí se da una coevolución cooperativa coordinada, en donde las hormigas y las larvas adaptan su comportamiento en beneficio mutuo.

Otras formas de coevolución cooperativa tiene múltiples ejemplos entre el mundo animal y vegetal. Así, en la polinización se dan adaptaciones donde numerosas plantas y animales cooperan para conseguir sus propios objetivos, como los de reproducción o alimentación. Se distingue la capacidad evolutiva de las plantas para desarrollar sistemas de atraer a los animales polinizadores, tales como formas, olores y llamativos colores. Los animales que son atrapados en el esplendor que se les ofrece, reciben el néctar como premio a cambio de distribuir o entregar el polen, el cual queda asido o es desprendido de su cuerpo mediante mecanismos que las plantas han diseñado para esa función. Otros vegetales disponen de adaptaciones espectaculares, en forma de diversos dispositivos con la finalidad de perpetuarse a sí mismos. Por ejemplo, algunas semillas han conseguido desarrollar alas que les facultan para desplazarse mediante la acción del viento; o espinas u otros métodos de sujetarse al pelo de los animales; o sustancias pegajosas (como el muérdago, que es parásito de los robles) que se adhieren a otros árboles parásitos cuando los pájaros frota el pico en ellos; todo esto con objeto de conseguir el transporte que no pueden realizar por sí mismos.



Algunas semillas han desarrollado adaptaciones cooperativas para conseguir su dispersión. 1-Arce, 2-Diente de León, 3-Olmo. Al lado derecho un Agarramoños.

Coevolución por mutualismo

El mutualismo es otro ejemplo coevolutivo en el cual dos o más especies mantienen una relación simbiótica, y por tanto necesaria para la supervivencia de ambas. Tal es el caso de las micorrizas, unos hongos que

se mantienen adheridos a las raíces de determinados árboles, como robles y coníferas. Estos hongos, entre los cuales se encuentran muchas setas comunes, necesitan del árbol al que están unidos para obtener la energía que sólo él puede suministrarles, y que no podrían recibir y sintetizar por sus propios medios. A cambio, el árbol puede obtener más fácilmente los nutrientes del sustrato, a la vez que mantiene sus raicillas protegidas de algunas enfermedades. Tanto unos como otros se necesitan mutuamente para desarrollarse y sobrevivir.

Evolución convergente

La evolución convergente es el producto de la evolución independiente de uno o más caracteres similares que, partiendo de formas ancestrales distintas, se desarrollan en líneas evolutivas separadas (especies independientes) hasta converger con el tiempo en una forma única.

Adaptación al vuelo

Un ejemplo muy ilustrativo de evolución convergente es el desarrollo de alas en animales tan diferentes como un murciélago, un ave o un insecto. Todos partieron de formas ancestralmente distintas, pero el carácter que permitió el desarrollo de ese órgano terminó por converger en ellos, aflorando caracteres análogos (véase caracteres análogos y homólogos). Determinados grupos de animales ya extinguidos (reptiles pterosaurios), también desarrollaron alas en su momento. La causa de esta evolución convergente en seres tan diferentes radica en la necesidad de adaptación a condiciones vitales similares, o a las condiciones ambientales. Igualmente, el ejemplo de las alas tiene su homología en otras formas adaptadas a la vida acuática, como peces y mamíferos marinos; en todos ellos se distingue una característica común, la de presentar cuerpos con formas hidrodinámicas, indicativo de su adaptación al medio físico en el que decidieron vivir; y en que algunos mamíferos, como los cetáceos, han ido perdiendo sus extremidades hasta quedar reducidos a simples vestigios.



El desarrollo de alas en animales tan distintos como un murciélago, un ave o un insecto, ilustra el concepto de evolución convergente: todos han desarrollado un órgano que cumple la misma función, la de volar.

Adaptación a la alimentación

De la misma forma que se da la evolución convergente en órganos como las alas, también se aprecia este tipo de evolución en variadas adaptaciones a la alimentación. Así, determinados animales como los osos hormigueros, pangolines, equidnas, etc., unos de América del Sur, y otros de Australia, África o Asia, evolucionaron de forma independiente y desarrollaron estructuras perfectamente adaptadas para alimentarse de hormigas, tales como largos hocicos tubulares dotados de lenguas también muy largas y viscosas, con objeto de capturar los insectos dentro de sus nidos. Asimismo, también desarrollaron poderosas garras para romper los hormigueros y termiteros, y acceder más fácilmente al interior.

Evolución convergente a nivel molecular

Algunos ejemplos de convergencia son muy llamativos por su especialización, ya que pueden llegar a desarrollarse a nivel molecular. Determinados animales vegetarianos, como los langures (monos de la subfamilia *Colobinos*) y los rumiantes, segregan en la saliva una enzima (la lisozima) que actúa en el estómago sobre las bacterias patógenas encargadas de la fermentación de los alimentos vegetales, destruyendo la pared celular de éstas y convirtiéndose en un agente no específico de la defensa del organismo.

Los aminoácidos en Colobinos y rumiantes presentan similitudes únicas en su secuencia, convirtiéndose en un claro ejemplo de evolución convergente a nivel molecular. La fisiología y anatomía de la digestión en ambos

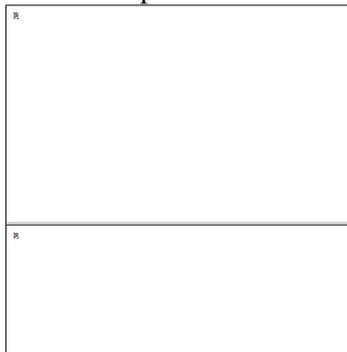
también es ejemplo de otra forma de convergencia destacable.

Evolución paralela

En ocasiones, la evolución convergente se distingue de la paralela. Como se ha dicho, en la evolución convergente uno o más caracteres parten de formas ancestrales diferentes, y evolucionan igualmente a lo largo de linajes separados hasta converger en una misma forma. Sin embargo, en la evolución paralela, aunque los caracteres pueden converger finalmente, en realidad parten de una misma forma ancestral.

Estos conceptos son teóricos, pues aunque ambos tipos de evolución se dan en la naturaleza, esas diferencias son difíciles de identificar en casos reales, ya que generalmente se desconocen los estados ancestrales de los que parten los caracteres. Probablemente, determinadas especies de mariposas que comparten la misma coloración, como la virrey (comestible para sus depredadores) y monarca (no comestible), hayan seguido una evolución paralela.

Otros ejemplos de evolución paralela podrían ser el oso marsupial y el oso hormiguero; la ardilla voladora y el marsupial volador; o el lobo de Tasmania (ya extinguido) y muchos cánidos que habitan en otros continentes. Aunque todos han derivado de un mismo ancestro marsupial, el aislamiento que han sufrido algunos de ellos en la región de Australasia les han forzado a una evolución paralela.



Ejemplo de evolución paralela: el oso marsupial (arriba) es fruto de una evolución aislada en la región de Australasia; por su parte, el oso hormiguero (abajo) evolucionó paralelamente en otros hábitats ocupados por placentados. Ambos parten de una misma forma marsupial ancestral.

Caracteres homólogos y análogos

Los caracteres homólogos son aquellos correspondientes a estructuras similares que, partiendo de un ancestro común, se transmiten por herencia. Los caracteres análogos son aquellos que, partiendo de ancestros diferentes, finalizan en estructuras que realizan funciones similares. El anterior ejemplo respecto a la función de las alas en especies diferentes, sirve para ilustrar el concepto de caracteres homólogos y análogos.

El carácter que cumple con la función de volar puede evolucionar de forma independiente en dos especies (de forma paralela o convergente). Si la evolución es paralela, las dos especies conservan el carácter común de la especie ancestral; si la evolución es convergente, el carácter de la especie ancestral queda modificado. Así, las estructuras óseas del brazo de un humano y un ave, son similares y homólogas porque tienen un origen común; por su parte, las alas de un ave, un insecto, o un murciélago, son análogas porque aunque tienen un origen distinto cumplen y están diseñadas para la misma función, la de volar.

Si examinamos con detalle los órganos de determinados animales, podemos observar la convergencia de caracteres. Así, las alas de las aves, murciélagos e insectos, aunque tienen un parecido funcional (son análogas) existen sin embargo grandes diferencias estructurales entre ellos. Por ejemplo, mientras que en los insectos esas estructuras están sujetas por unas nervaduras, en las aves y murciélagos son óseas. Igualmente, aves y murciélagos (que son homólogos) sujetan sus estructuras con huesos diferentes.

Para establecer la diversificación evolutiva de las especies, o reconstruir su filogenia, es de suma importancia distinguir si los caracteres que se estudian son homólogos o análogos. Dos especies pueden tener un gran parecido, y por ello deduciremos enseguida que ambos tienen parentesco, pero sólo será así si ese parecido responde al concepto de homología; en otro caso estaremos hablando de analogía o convergencia.

En definitiva, cuando un mismo carácter está presente en dos especies sólo puede ser por una de dos razones: o fue adquirido por evolución convergente (analogía), o por herencia de un antepasado común (homología). La homología es el argumento que Charles Darwin esgrimió en 1859 para probar la teoría de que las especies partían de un origen común, y es fruto de sus observaciones en las islas Galápagos.





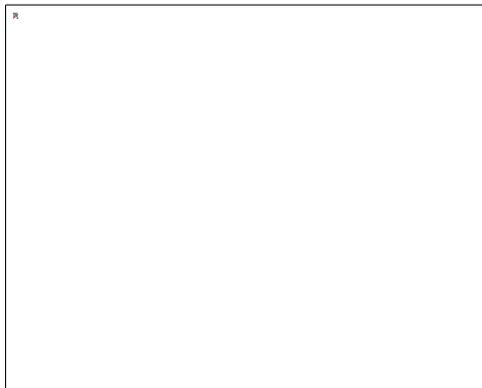
Las estructuras 1 (del ser humano) y 2 (de un ave) son homólogas y parten de un origen común; las estructuras 2 (de un ave) y 3 (de un insecto) son análogas y parten de un origen distinto.

La selección natural

La selección natural ha sido el principal argumento que Charles Darwin esgrimió en su Teoría de la evolución de las especies. Para él, la selección natural era el principal motor que mantenía en funcionamiento los mecanismos de la evolución.

Factores ambientales

En la selección natural los organismos luchan por la vida, y sólo los más aptos sobreviven. Aquí entran en juego determinados parámetros, los factores ambientales intraespecíficos (demográficos, de sexo, de grupo, competición, nicho ecológico...), e interespecíficos (parasitismo, comensalismo, mutualismo, simbiosis...). Así, por ejemplo, la competencia entre los organismos se daría en condiciones de escasez de alimentos, o en la lucha por el dominio de las hembras, y sólo los más fuertes o hábiles conseguirían alcanzar la madurez y reproducirse. Aquí actuaría la selección natural, eligiendo los caracteres de las poblaciones más capaces (filtrando los caracteres mutantes), éstos serían seleccionados por sus posibilidades de adaptación o eficacia biológica. A lo largo de un tiempo, este agente filtrador decidirá la composición de la población, desechará los "errores", evitará cambios inconvenientes en determinadas direcciones, dará opción predominante a otras variantes, y favorecerá el cambio evolutivo. En todo este proceso, los individuos elegidos de una misma población se reproducirán y transmitirán sus genes a los descendientes.



Ejemplo del factor intraespecífico de la competición: en la selección natural los organismos luchan por la vida, y sólo los más aptos sobreviven.

Frecuencia del éxito reproductivo

La selección natural consigue que a lo largo de las generaciones las características que impiden el éxito reproductivo sean cada vez menos frecuentes. Esto significa que con cada generación se incrementa y mejora la proporción de individuos que se reproducen más eficazmente, lo que conlleva a una mejor adaptación de esa población a su ambiente. La selección natural puede ser aquí *estabilizadora* o *directional*; estabilizadora en cuanto a que en un entorno estable se mantienen aquellas adaptaciones que le son favorables; y *directional* referido a que ante los cambios ambientales se favorecen las adaptaciones que vayan en la dirección adecuada a esos cambios.

Adaptación

La adaptación es el proceso biológico que sufre un organismo vivo al tratar de acomodarse a las condiciones del

medio en las que existe. Las características adaptativas que desarrollan los organismos vienen determinadas por la selección natural, y se van manifestando lentamente a lo largo de numerosas generaciones. Durante ese proceso, los seres vivos tratan de resolver aquellos problemas de supervivencia y perpetuación de la especie a los que se enfrentaron sus antecesores.

Por selección natural no se puede crear nada nuevo, por ejemplo órganos o estructuras, sino que determinados individuos se verán favorecidos por sus características diferenciales, y cuyos rasgos le capacitan para una mejor adaptación, es decir, la selección natural adapta. Estos rasgos pueden ser físicos o de comportamiento, eso significa por tanto que la progresiva adaptación de una estructura es compatible con una aptitud, y sobre la base de una u otra seguirán actuando los mecanismos de perfeccionamiento de un carácter.

Herencia de los caracteres adaptativos

Una disputa muy antigua dentro de la teoría adaptativa, ha sido todo lo relativo a si los caracteres son hereditarios o no. La eficacia biológica, que es la capacidad de sobrevivir o reproducirse en el medio, viene dada por el desarrollo de características nuevas en los organismos de adaptación a las dificultades que ese medio presenta. ¿Son esas nuevas características transmitidas a los descendientes? Lamarck, que fue el autor de la primera teoría de la evolución, defendía que la herencia era un elemento imprescindible para que funcionasen los mecanismos de la evolución. Más tarde, Darwin, aceptando que los caracteres adquiridos eran heredados (en aquellos momentos se desconocía la teoría genética), defendió que en la adaptación no existía herencia combinada, sino que los organismos se adaptan al medio porque determinados mecanismos biológicos (como la selección natural) inclinan o favorecen en determinado sentido, eligiendo o primando aquellas formas genéticas mutantes que demostraban mayor adaptación al medio, es decir, mayor eficacia biológica.

Si para Lamarck la herencia era la base de la adaptación, para Darwin el motor de todo el mecanismo adaptativo era la selección natural. Hoy en día, desde el conocimiento de la teoría genética, se puede responder a determinadas interrogantes que planteaba la teoría de Darwin, como la transmisión de los caracteres adquiridos; se sabe que los padres transmiten partículas genéticas separadas (genes), y que la evolución es el fenotipo producto de la interacción del genotipo con el medio.

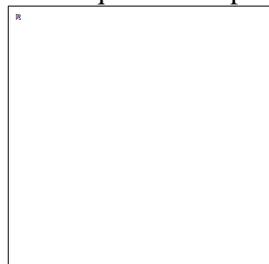


En la selección natural direccional los cambios ambientales favorecen las adaptaciones que van en la dirección adecuada a esos cambios.

Los genotipos y fenotipos

El genotipo es el conjunto de material cromosómico de un organismo; el fenotipo es el conjunto de caracteres de un organismo que se manifiestan como resultado de la interacción entre el genotipo y el medio ambiente en que ese organismo se desarrolla.

Cuando la selección natural actúa sobre el genotipo, determinados genes pueden quedar "seleccionados" por sus propiedades. Por ejemplo, un rasgo de inteligencia, una capacidad para camuflarse, correr, defenderse, soportar determinados climas, etc., son caracteres del genotipo que quedarán reservados mediante la selección natural; estas propiedades son los llamados fenotipos. Los genes de un fenotipo tenderán a perpetuarse en la medida en que sus propiedades presenten más ventajas que otros fenotipos competidores, y seguirán manteniéndose en sucesivas generaciones en tanto conserven sus valores adaptativos (efectos fenotípicos). Así pues, una adaptación no es más que una replicación de genes a través de numerosas generaciones de organismos, y que consiguen resolver sucesivamente los problemas que les son planteados por el medio





Todos los organismos poseen un conjunto de material cromosómico o genotipo.

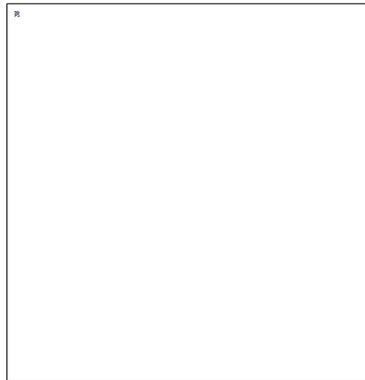
Selección positiva, negativa y neutra

Los rasgos o caracteres de un organismo están sometidos a una selección natural positiva, negativa o neutra. Así, unos rasgos pueden quedar seleccionados para beneficiar la reproducción de un organismo (positiva), o perjudicarla (negativa), caso este último que tenderá y culminará con su marginación o desaparición. Por su parte, un rasgo puede acompañar a otros rasgos seleccionados, pero no influir para nada en el resultado final de la acción selectiva (neutra).

Equilibrio entre rasgos beneficios y perjudiciales

En muchas ocasiones un rasgo puede ser beneficioso para un solo organismo o unos pocos, pero resultar perjudicial para una población si lo ostentan todos a la vez. Aquí, es la selección natural la encargada de mantener un equilibrio o proporción adecuada que impida un número excesivo o que concluya con su extinción.

Un ejemplo de esto lo observamos en algunos grupos de mamíferos, como los lobos: los machos más fuertes y dominantes consiguen cubrir al mayor número de hembras y asegurar que sus genes se perpetúen, pero otros machos menos dotados aprovechan para poner en práctica una estrategia oportunista, que es la de cubrir a las hembras cuando los machos dominantes descansan o están descuidados. Aquí, si todos los machos adoptasen esa estrategia, probablemente se perderían aptitudes en la totalidad de la población; sin embargo, estas acciones llevadas a cabo por unos pocos individuos se pueden encuadrar dentro de sus propias capacidades adaptativas, que también evolucionan, pues como se dijo antes los mecanismos de perfeccionamiento de un carácter pueden actuar sobre la base de la progresiva adaptación de un comportamiento o de una estructura. Así pues, la selección natural mantiene en equilibrio las distintas estrategias, aptitudes y dominancias, y salvo que existiese algún desequilibrio demográfico todas ellas se mantendrían estables.



La estrategia oportunista para asegurar la perpetuación de los propios rasgos que realizan algunos machos dentro de determinadas poblaciones, como los lobos, puede ser considerada una forma de adaptación, y suele mantenerse en equilibrio por medio de la selección natural.

Selección sexual

La selección sexual es un tipo de selección natural determinado por la forma en que se realiza el apareamiento y su éxito reproductivo. Así, dentro de una población, es inherente a los individuos del mismo sexo la necesidad natural de competir por conseguir pareja; esto se manifiesta mediante luchas en las cuales tenderán a dominar aquellos machos más fuertes y capaces. Los rasgos o caracteres de éstos serán heredados por su descendencia, perpetuándolos y favoreciendo que esas características aumenten.

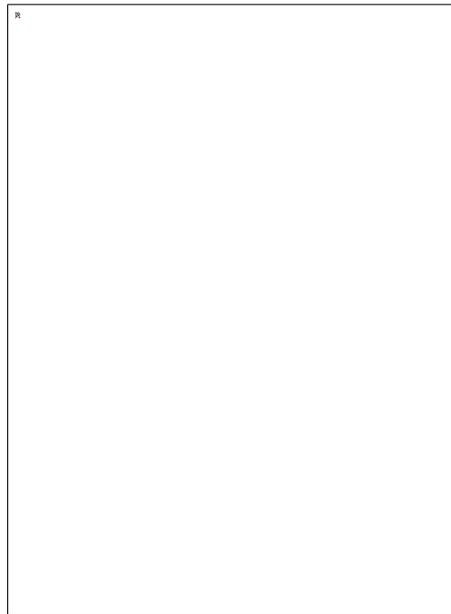
La selección sexual inclina a la existencia de dimorfismo sexual, es decir, a una diferenciación morfológica entre machos y hembras. Su razón de ser estriba en que en uno de los sexos evolucionan determinados rasgos que en el otro sexo son innecesarios. Por ejemplo, puesto que los machos tienen que competir por las hembras, muchas especies desarrollan cornamentas y una constitución más fuerte, como los ciervos o cabras macho, lo que no suele suceder con las hembras. Otro ejemplo es el llamativo plumaje y colorido de muchas aves macho, que utilizan para cortejar y llamar la atención de las hembras.

Se distinguen tres tipos de selección sexual: *poligámica*, *epigámica* e *intrasexual*. La poligámica es una forma de selección sexual muy intensa, y que sucede cuando unos pocos machos acaparan o confinan en harenes a muchas hembras, con las cuales se aparean durante el periodo de cría; la epigámica es aquella en que los machos son aceptados por las hembras sólo cuando poseen determinados rasgos (colores, cantos, formas, etc.); la intrasexual es aquella en que los machos luchan entre ellos o compiten por exhibirse y conseguir a las hembras.



La selección sexual condiciona las especies a desarrollar un dimorfismo. La cornamenta del macho cabrío, por ejemplo, es indicativo de las lucha que tiene que mantener por las hembras con otros machos para asegurar su propia descendencia.

Leyes de Mendel



En 1865, el monje agustino austriaco Gregor Joham Mendel, abad del monasterio de Brünn (Chequia), formuló las leyes hereditarias que llevan su nombre, fruto de sus estudios tras un descubrimiento ocurrido en su jardín con determinadas especies vegetales.

Mendel trabajó sobre la transmisión de los caracteres de las plantas a través de sucesivas generaciones, en lo que hoy constituye el fundamento de la genética moderna. El interés por conocer esos principios partió de su experimentación con siete características diferentes de variedades de guisantes puras. Mendel observó que se obtenían híbridos, si cruzaba una variedad de tallo corto con otra de tallo largo; estos descendientes conservaban el parecido con los ascendientes de tallo alto.

Los estudios de Mendel se basaron en cuatro aspectos:

- estudiar la transmisión de caracteres aislados;
- contar el número de descendientes de cada tipo;
- cruzar cepas o razas puras; y

- d) elegir una planta en la cual el origen de los gametos podía ser controlado.

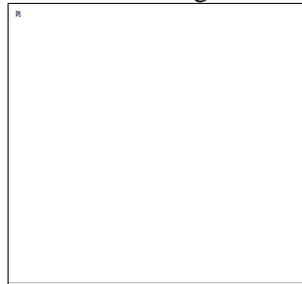
En primer lugar cruzaba dos individuos puros que diferían en la manifestación de uno de los caracteres. Los descendientes del primer cruzamiento eran híbridos. A continuación cruzaba estos híbridos entre sí. La primera generación era la llamada *paterna* P, o F₀; la segunda, la *primera generación filial* o F₁, la tercera, la *segunda generación filial* o F₂.

Sus principales experimentos, llevados a cabo sobre más de 27.000 plantas de distintas variedades del guisante oloroso, concluyeron y fueron resumidos en leyes, las de la dominancia y la segregación de caracteres. En 1865 presentó los resultados ante la Sociedad de Ciencias Naturales de Brünn, los cuales fueron publicados al año siguiente. Sus estudios no fueron valorados hasta 1900, al ser redescubiertos por Hugo de Vries, Karl Frich Correns y Erich Tschermack.

Las tres leyes de Mendel se enuncian así:

Primera ley, o ley de uniformidad de la primera generación filial

Si se cruzan dos individuos (P) homocigóticos para un solo par de alelos, pero con distinta expresión, todos los descendientes de la primera generación, que se denominarán híbridos F₁, son idénticos. Expresado de una forma más clara: cuando se realiza el cruzamiento entre individuos de la misma especie pertenecientes a razas puras, todos los híbridos de la primera generación filial son iguales.



Descendencia en un monohibridismo con dominancia P-Padres razas puras, F1-Híbridos iguales, F2-Razas puras

Estos híbridos manifiestan enteramente el carácter de uno de los progenitores (*carácter dominante*), mientras que el carácter del otro progenitor no se muestra, como si estuviera oculto o desaparecido (*carácter recesivo*), o bien los híbridos muestran un carácter intermedio entre los dos padres (*codominancia*).

Mendel llamó "factores" a los responsables de la herencia biológica. Hoy día a estos "factores" se les denomina *genes*, los cuales se encuentran ubicados en lugares específicos de los cromosomas llamados *locus*.

Los cromosomas homólogos tienen los mismos genes, de tal forma, que se corresponden exactamente punto por punto; por tanto, cada célula no tiene uno, sino dos genes para regir un carácter determinado.

Así pues, cualquier carácter hereditario estará determinado por dos genes, uno procedente del padre y otro de la madre. A estos genes que rigen un carácter se les llaman *alelos*. Si estos alelos son iguales, al individuo se le denomina *homocigótico* o puro, y si son distintos, *heterocigótico* o híbrido.

Al conjunto de los genes de un individuo se le denomina *genotipo*, y al conjunto de características de dicho individuo *fenotipo*.

Segunda ley, o de la segregación (o disyunción) de los genes antagónicos

Al cruzar entre sí los híbridos de la generación F₁ se obtienen en la F₂ distintos tipos de descendientes, parte de los cuales son como los individuos de P. Los genes que han constituido pareja en los individuos de la F₁, se separan al formarse las células reproductoras de éstos. Así, al cruzar los híbridos de la F₁ entre sí, obtenemos el desarrollo mostrado en los gráficos, que corresponde exactamente a lo observado por Mendel. En la F₂, las 3/4 partes de los individuos obtenidos presentaban semillas lisas, y el 1/4 restante, rugosas.





Descendencia en un monohibridismo intermedio 1-Razas puras, 2-Híbrido intermedio

Tercera ley, o ley de la recombinación de los genes (transmisión independiente de los genes)

Mendel efectuó también cruces con plantas que diferían en dos características (*dihibridismo*): por ejemplo, guisantes de semilla lisa y amarilla a un tiempo con otros de semilla verde y rugosa. De esta forma obtuvo la tercera ley, que dice:

Si se cruzan razas que difieren en uno o más alelos, los alelos son independientes o ligados y siguen las dos primeras leyes de Mendel. Es decir, cada uno de los caracteres hereditarios se transmite a la progenie con total independencia de los restantes.

La proporción obtenida por Mendel fue de 9 plantas de semilla amarilla y lisa; 3 plantas de semilla amarilla y rugosa; 3 plantas de semilla verde y lisa; y 1 planta de semilla verde y rugosa. Por tanto, 9:3:3:1. Las posibles combinaciones entre los gametos masculinos y femeninos se describen mediante los llamados *tableros de Punnett*.