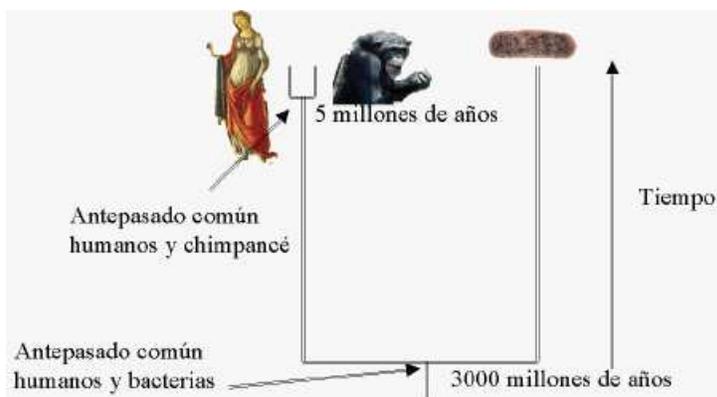


# Nada tiene sentido en biología si no es bajo el prisma de la evolución

Pocas ideas han cambiado tan profundamente nuestra visión de la naturaleza como la misma idea de cambio que implica la evolución de los seres vivos. Los organismos biológicos se agrupan en unidades naturales de reproducción que denominamos especies. Las especies que ahora pueblan la Tierra proceden de otras especies distintas que existieron en el pasado, a través de un proceso de descendencia con modificación. La evolución biológica es el proceso histórico de transformación de unas especies en otras especies descendientes, e incluye la extinción de la gran mayoría de las especies que han existido. Una de las ideas más románticas contenidas en la evolución de la vida es que dos organismos vivos cualesquiera, por diferentes que sean, comparten un antecesor común en algún momento del pasado. Nosotros y cualquier chimpancé actual compartimos un antepasado hace algo así como 5 millones de años. También tenemos un antecesor común con cualquiera de las bacterias hoy existentes, aunque el tiempo a este antecesor se remonte en este caso a más de 3000 millones de años.



La idea de evolución por modificación y derivación de nuevas especies implica la existencia de antepasados comunes para cualquier par de especies. Hay un antepasado común del hombre y el chimpancé, y del hombre y las bacterias.

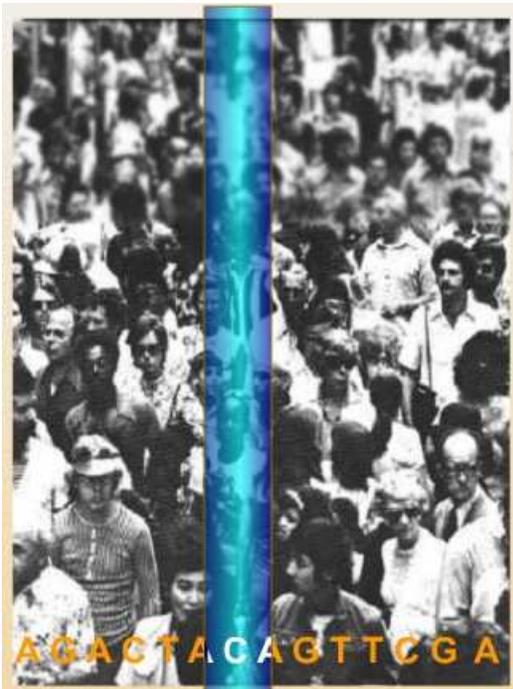
La evolución es el gran principio unificador de la Biología, sin ella no es posible entender ni las propiedades distintivas de los organismos, sus adaptaciones; ni las relaciones de mayor o menor proximidad que existen entre las distintas especies. La teoría evolutiva se relaciona con el resto de la biología de forma análoga a como el estudio de la historia se relaciona con las ciencias sociales.

## El pensamiento poblacional

Hay grandeza en esta concepción de la vida,... que mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de la gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un comienzo tan sencillo, infinidad de formas cada vez más bellas y maravillosas

Charles Darwin

Para imponer su teoría de la evolución y de la selección natural, Darwin tuvo que introducir una nueva forma de entender la variación en la naturaleza: el pensamiento poblacional. En el tiempo de Darwin las especies se consideraban entidades fijas e inmutables; representaban a un tipo platónico, la idea perfecta de la mente de su creador. Las diferencias en la forma, en la conducta, o en la fisiología de los organismos de una especie no eran más que imperfecciones, errores en la materialización de la idea de la especie. En contraste con esta visión esencialista dominante, la variación individual, lejos de ser trivial, es para Darwin la piedra angular de la evolución. La variación en el seno de las especies o poblaciones es lo único real, es la materia prima de la evolución, a partir de la que se va a crear toda la diversidad biológica. Son las diferencias existentes entre los organismos de una especie las que, al magnificarse en el espacio y en el tiempo, producirán nuevas poblaciones, nuevas especies, y por extensión, toda la diversidad biológica.



Bajo la visión darwiniana, la variación es la única realidad de las especies. No hay un color de

piel en la especie humana ideal o arquetípico. Cada individuo con su variación característica es un elemento esencial de nuestra especie

El estudio de la evolución

Los estudios y afirmaciones acerca de la evolución generalmente se refieren a uno de dos aspectos distintos:

- (1) las investigaciones acerca del hecho de la evolución y
- (2) las que se refieren al mecanismo de la evolución.

Las primeras abarcan las disciplinas biológicas, tales como la paleontología, la clasificación, la biología comparada, la biología de poblaciones,... que muestran de manera inequívoca el hecho de la evolución.

Las segundas, las afirmaciones acerca del mecanismo de la evolución, son el objeto principal de estudio de la genética de poblaciones, y nos informan de los factores, fuerzas o procesos que producen el cambio evolutivo, es decir, los mecanismos naturales que causan la descendencia con modificación. Una analogía cotidiana que ilustra esta distinción es la del tiempo meteorológico. Las precipitaciones, los vientos, las gotas frías, los tifones, son las evidencias que constituyen las afirmaciones de hecho del tiempo atmosférico. Ahora bien, si queremos explicar el porqué se dan los diferentes fenómenos meteorológicos, entonces nos tenemos que introducir en el ámbito de las afirmaciones del proceso o de los mecanismos meteorológicos. Debemos proponer los factores, tales como las diferencias de temperatura entre distintas masas de aire, que producen los fenómenos meteorológicos.

La evidencia de la evolución

La evolución que se da en una escala reducida, en el interior de una especie y en el intervalo de unas pocas generaciones, se denomina microevolución. La macroevolución es la evolución a gran escala, y abarca periodos considerables de tiempo, y grandes procesos de transformación; en el caso más extremo comprendería toda la evolución de la vida. Se pueden efectuar experimentos y/o observaciones de poblaciones de especies actuales a pequeña escala y obtener evidencia directa de evolución. Hay muchos ejemplos en los que se detecta la evolución en acción, como el clásico caso del melanismo industrial que se comentará más adelante. La selección artificial efectuada por el hombre en el perro o el caballo son también claros ejemplos que muestran el potencial de modificación de una especie. Por su propia dimensión temporal, no podemos demostrar la macroevolución directamente, exceptuando los casos de creación de nuevas especies de plantas mediante cruzamiento de especies distintas por el hombre. Aunque la evidencia evolutiva que suministra el registro fósil, la biología comparada, y la biología molecular es indirecta, no por ello es menos concluyente a la hora de demostrar la comunidad de origen de todos los organismos.



Las diferentes razas de perro que el hombre ha obtenido por selección artificial ilustran el potencial de cambio que tienen las especies.

### El registro fósil

Los sedimentos que se han ido acumulando sobre la corteza de la tierra durante su historia geológica dejan una huella inestimable, generalmente en forma de huesos o esqueletos duros petrificados, de organismos muertos en el pasado: son los fósiles. El registro fósil es una ventana maravillosa a la historia de la vida. Si no existiera no podríamos inventarlo. Sin él, el vacío acerca de la evolución de la vida sobre la tierra sería insustituible. Podríamos especular, teorizar infinitamente, pero quién podría haber imaginado que la Tierra estuvo dominada durante 150 millones de años por unos reptiles inmensos y fantásticos, los dinosaurios, que desaparecieron en un instante relativo de tiempo, si no hubieran existido fósiles de dinosaurios que nos lo contasen? La desintegración de los elementos químicos radiactivos que hay en las rocas ha permitido estimar que la Tierra se originó alrededor de hace 4600 millones de años. La Tierra, que era una esfera caliente, se enfría gradualmente, iniciándose un periodo de evolución química que culminará con la formación de las primeras células. En Australia y África se han encontrado sedimentos retenidos y fijados por bacterias de hace 3600 millones de años, lo que hace que esta fecha sea una estima mínima de la edad de inicio de la evolución biológica. La magnitud del tiempo en el que ha transcurrido la evolución se escapa completamente a nuestra comprensión, no podemos siquiera imaginar, limitados a la minúscula escala de nuestro tiempo vital, el potencial de transformación que suponen 3600 millones de años de evolución.

### El tiempo geológico

El tiempo geológico se ha dividido en una serie de etapas jerárquicas, las eras, los períodos, y las épocas, que no siguen una cronología lineal, sino que es una crónica de los momentos claves de la historia de la vida. Las transiciones entre las cuatro eras, la Precámbrica, la Paleozoica, la Mesozoica y la Cenozoica representan grandes cambios en las fauna y flora de toda la Tierra. En el primer período de la era Paleozoica, el Cámbrico, hace 570 millones de años, aparecen de golpe en el registro fósil los animales pluricelulares que tienen partes duras, como las conchas, y exoesqueletos,... El final del Paleozoico coincide con la mayor extinción habida en la Tierra, en la que desaparecieron el 96% de las especies. Al final del Mesozoico, en la transición entre el período Cretácico y Terciario, se da la conocida extinción de los dinosaurios, junto a un 70% de las especies existentes.

### Cronología de siete momentos estelares de la evolución

Qué nos enseña el registro fósil sobre la historia de la vida sobre la Tierra? Esta es una lista de los acontecimientos más importantes

\*Origen de la célula procariota 3600 M (M=Millones de años)

\*Origen de la célula eucariota 1400 M

\*Origen de la fauna de animales pluricelulares 650 M

\*Fauna de la explosión cámbrica 570 M

\*Origen de los vertebrados terrestres 360 M

\*Extinción de los dinosaurios. La antorcha pasa de los dinosaurios a los mamíferos 65 M

\*Origen de Homo sapiens 0,1 M.

Si toda la historia de la Tierra la comprimiésemos en una hora, a los 20 minutos aparecerían las bacterias, a los 55 los dinosaurios, los antropoides aparecen a 40 segundos antes del final, y los

humanos al cumplirse la hora.

Hay una coherencia entre el registro fósil y el origen evolutivo de las especies y sus grupos correspondientes. Si la vida se debiera a la creación espontánea e independiente de especies, no tendríamos porqué esperar que el hombre surgiera con los mamíferos, podríamos haber surgido en cualquier momento, cuando aparecieron los peces, o los dinosaurios, o antes de que surgieran los primates.

### **La evolución no tiene dirección**

La historia de la vida es una historia de extinciones y muerte,... con unos pocos supervivientes. El 99,9% de las especies que han existido alguna vez están hoy extintas. Grupos enteros de organismos, como los dinosaurios, los trilobites, los ammonoideos, se han extinguido para siempre sin dejar descendiente alguno.

Como señala el reconocido paleontólogo S. Gould, el registro fósil no es un relato convencional que conduce a los diferentes linajes a más excelencia, más complejidad, más diversidad. La historia de la vida no muestra un rumbo definido, no tiene dirección ni sentido. La evolución es una narración de eliminación masiva seguida de diferenciación en el interior de unos cuantos supervivientes. Es a priori imposible determinar la dirección de la evolución porque la importancia de los acontecimientos concretos, contingentes, como la extinción o no de un grupo de organismos en el caso de una extinción en masa, o la posesión o no de una variante adaptativa adecuada cuando ésta es requerida, son los verdaderos agentes de la historia.

### **Las extinciones en masa**

Hay dos regímenes de extinciones: la extinción normal, que afecta a las especies que dejan de seguir a su ambiente en su lucha diaria por adaptarse, y la extinción en masa, que son más rápidas y devastadoras en cuanto a su magnitud. Al menos han ocurrido cinco extinciones en masa, y han dejado muchos huecos ecológicos que han permitido que sean ocupados por los descendientes de las especies supervivientes. Esta ocupación del bioespacio disponible suele ir acompañada de una rápida y extensa diversificación morfológica que se denomina radiación adaptativa. No se sabe con certeza la causa de las extinciones masivas, aunque las causas físicas como el impacto de asteroides o el cambio climático parecen más probables que las biológicas. Según una hipótesis reciente, hay ciclos de extinción masiva aproximadamente cada 26 millones de años, y el impacto periódico de lluvias de cometas sobre la Tierra podría explicar dicho ciclo.

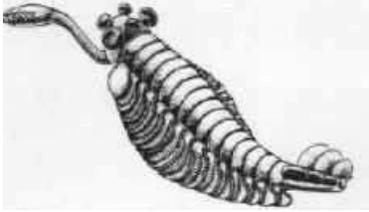
### **La fauna de Burgess Shale**

Si tuviéramos la oportunidad de volver a un momento del pasado, el período previo al Cámbrico sería sin duda uno de los más atractivos. En el Cámbrico, hace 570 M, se produce la gran explosión en el registro fósil de los primeros animales pluricelulares con partes duras. Darwin se preguntaba por qué estos primeros animales eran ya anatómicamente complejos y sin precursores aparentes. La respuesta está en el yacimiento de Burgess Shale, situado en las montañas rocosas canadienses. Debido a condiciones muy especiales de conservación, aquí se encuentra la única fauna de cuerpo blando (sin estructuras duras) que existe de un tiempo inmediatamente anterior a la explosión cámbrica.

La gran sorpresa de Burgess Shale es que las pocas especies analizadas contienen una disparidad de diseños anatómicos que exceden, con mucho, la gama moderna que hay en todo el mundo. En ninguna fauna posterior se repite la riqueza anatómica de este yacimiento. De los 120 géneros analizados, 20 son diseños de artrópodos únicos, y además de estar representados los 4 grupos de animales que hoy existen, hay 8 diseños que no encajan en ningún grupo animal conocido. La época de Burgess Shale parece ser que fue un tiempo asombroso de experimentación, una era de gran flexibilidad evolutiva, que fue seguido de una gran extinción.

## Opabinia: una vida extraña de un remoto pasado

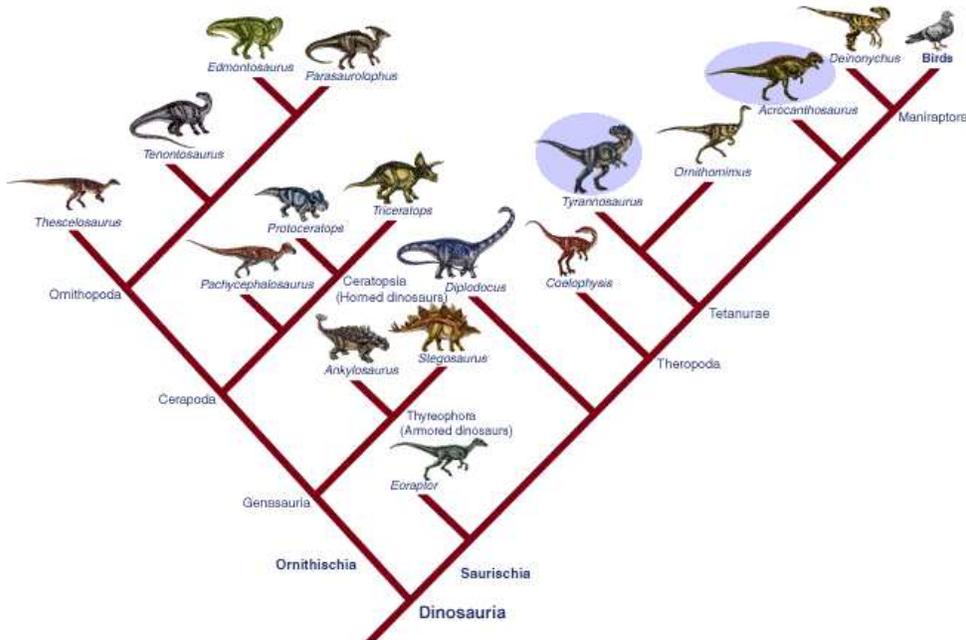
Opabinia fue el fósil de Burgess Shale que reveló la caja de sorpresas que había en este yacimiento. Su diseño singular no pertenece a ningún grupo animal conocido. Tiene 5 ojos!, trompa flexible formada por un tubo cilíndrico estriado, un tubo digestivo en forma de U, un tronco de 15 segmentos, con lóbulos delgados laterales. Los 3 segmentos últimos forman una cola con tres pares de hojas delgadas y lobuladas dirigidas hacia afuera.



Opabinia fue el primer fósil del yacimiento de Burgess Shale que demostró la singularidad morfológica de las primeras formas pluricelulares. Tiene 5 ojos, trompa flexible, tubo digestivo en forma de U, un tronco de 15 segmentos, los 3 últimos forman una cola.

## Los dinosaurios

Durante el periodo Triásico surgen los dinosaurios de una línea de los reptiles e inician una dinastía sobre el medio terrestre que habría de durar 150 M. Se han identificado más de 350 especies de dinosaurios, y se cree que ésta es una estima muy inferior a la de las especies que realmente existieron. Entre los dinosaurios están los animales más grandes que alguna vez hayan vivido sobre la Tierra. El Seismosaurus, el mayor herbívoro conocido, tenía unas 40 metros de longitud. El Tyrannosaurus rex, uno de los mayores carnívoros, tenía 12 m de longitud. Los dinosaurios se dividen en dos grandes órdenes, los de pelvis de lagarto (Saurisquios), que comprenden tanto especies carnívoras como herbívoras, y los de pelvis de ave (Ornistiquios), cuyas especies eran todas herbívoras. Los dinosaurios se extinguieron hace 65 M junto a otras muchas especies. Se ha propuesto que el impacto de un asteroide sobre la superficie terrestre podría ser la causa de la extinción en masa.

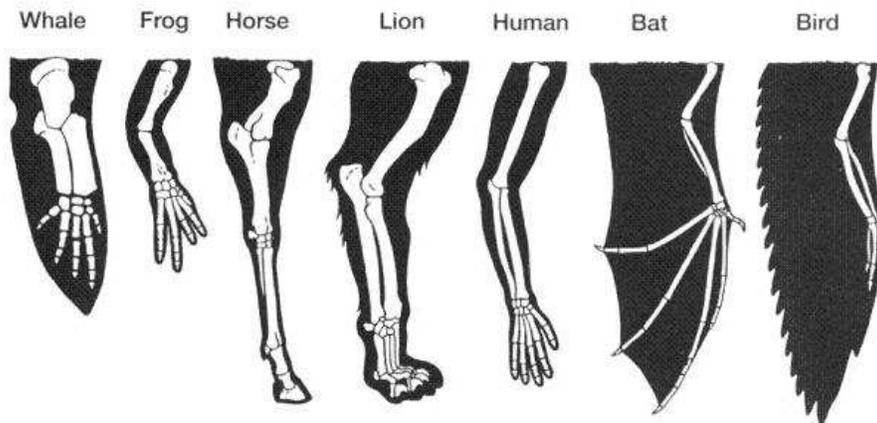


Quien podría haber imaginado que la Tierra estuvo dominada durante 150 millones de años por unos reptiles inmensos y fantásticos, los dinosaurios, que desaparecieron en un instante relativo de tiempo, si no hubieran existido fósiles de dinosaurios que nos lo contasen?

### Biología comparada: homología y analogía

Cuando uno observa similitudes entre especies, se pueden distinguir entre dos tipos de semejanzas, la analogía y la homología. El ala de un ave y el de una mosca forman una extensión plana y tienen un movimiento de aleteo similar; los peces, los delfines, o los pingüinos tienen una sección transversal aplanada que les permite desplazarse por el agua. Estas semejanzas, llamadas analogías, son más bien superficiales y se deben a que estos organismos están sometidos a las mismas restricciones funcionales o adaptativas, y no son debidas a que posean un antepasado común reciente.

En contraste con la analogía, una homología es la similitud que hay entre caracteres de distintas especies debido a que tienen un origen común, y no a la acción directa de una presión funcional. Por ejemplo, todos los tetrápodos (animales vertebrados terrestres con cuatro extremidades) tienen una la extremidad de cinco dedos, y esta se encuentra tanto en las alas de la aves y de murciélagos como en la mano del ser humano, a pesar que estas extremidades representan unos papeles funcionales muy distintos. La razón de esta estructura común es que todos los tetrápodos conservamos la misma estructura básica de la especie ancestral original.



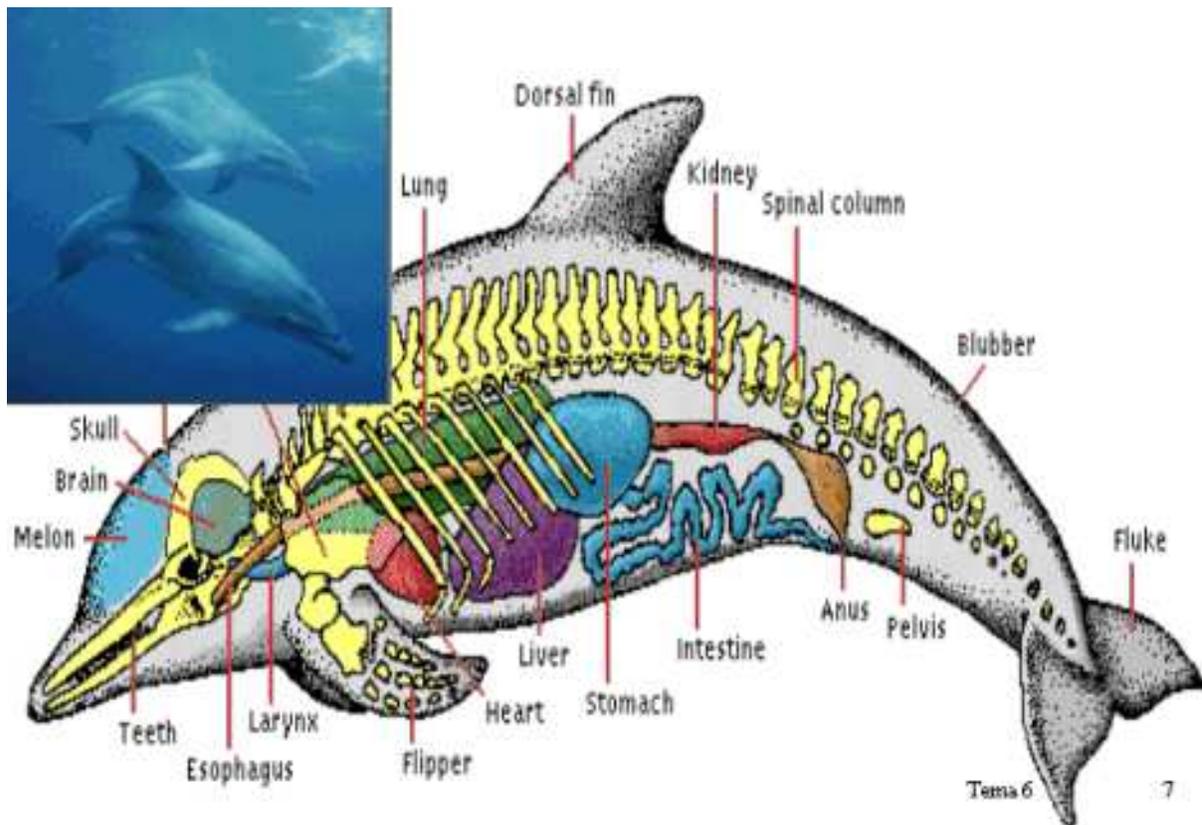
Homología: todos los tetrápodos tienen una extremidad con cinco dedos, aunque tengan diferentes funciones.

### La homología es la base de la clasificación

La clasificación se basa en la comparación de los caracteres de las especies, y los caracteres homólogos son los elementos claves para establecer una clasificación evolutiva. Si las especies proceden de otras especies por evolución, y además no varían tan rápidamente como para perder toda su herencia histórica, se esperaría que los distintos seres vivos compartieran una serie de caracteres homólogos. El análisis de los diferentes caracteres fenotípicos, como la morfología, la conducta, los cromosomas, la anatomía externa e interna, el desarrollo embrionario, el metabolismo, la variación genética y proteica muestran que las especies presentan semejanzas homólogas en todos los niveles del fenotipo. Cuanto más próxima sean las especies, mayor será el grado de semejanza, y lo contrario también es cierto, cuanto más alejada estén menos semejanzas encontraremos. Así, las diferencias que hoy vemos entre las especies se deben a las nuevas variaciones que han adquirido desde su separación del antepasado común. Las similitudes que atribuimos a las homologías no podrían explicarse si las especies se originasen independientemente unas de otras.

### Órganos vestigiales

Un caso especialmente significativo de homología es la de los órganos vestigiales o residuales. La pelvis de los tetrápodos es una estructura ósea cuya función es articular las extremidades posteriores. Las ballenas son tetrápodos cuyos antepasados mamíferos abandonaron la tierra para habitar en el mar. En este nuevo medio las ballenas perdieron sus extremidades inferiores, pero aún conservan como huella acusatoria de su pasado tetrápodo, la serie completa de los huesos de la pelvis. De forma similar, las serpientes presentan vestigios de la extremidad posterior que portaban sus antepasados.



La reducida pelvis de los cetáceos es un órgano vestigial que prueba su origen tetrápodo.

### **Biología molecular y homología**

La biología molecular ha suministrado la evidencia más universal de homología. Todos los organismos vivos compartimos el mismo material hereditario, el DNA, una molécula helicoidal cuya información se encuentra codificada en 4 letras o nucleótidos distintos. Igualmente, el código genético es prácticamente universal, todos los organismos comparten el mismo diccionario que da el significado a la secuencia de DNA. Ambos ejemplos son pruebas muy robustas de la relación íntima que existe entre lo viviente.



El DNA es una molécula helicoidal que tiene información genética codificada a partir de cuatro letras o nucleótidos distintos.

### **El árbol de la vida: filogenia**

Si la historia de la vida es cambio y ramificación por descendencia, entonces su representación sería la de un árbol o filogenia, en la que el tronco y las ramas internas se corresponderían a los antepasados de las especies actuales y los extremos de las ramas externas serían las especies actuales. Como se establece una filogenia? Ordenando las especies actuales atendiendo a la similitud morfológica y/o genética de sus caracteres homólogos.

### **El sistema linneano**

El botánico sueco Carolus Linnaeus (1707-78) ideó el sistema de clasificación que se utiliza, con algunas modificaciones, hoy en día. Hay siete niveles inclusivos de clasificación, que son, de menor a mayor, la especie, el género, la familia, el orden, la clase, el tipo o Phylum y el reino. El nombre científico de cada especie tiene dos partes, el león, por ejemplo, se denomina *Panthera leo*. La primera parte se refiere al género y la segunda a la especie. Consideremos un ejemplo de como se agrupan las especies actuales en las distintas categorías linneanas. El león, la pantera, el tigre, pertenecen al género *Panthera*, que junto al género *Felix* (el gato doméstico) y otros se agrupan en la familia de los felinos. Los felinos, con los cánidos y úrsidos, constituyen el orden de los carnívoros. Primates, roedores, carnívoros, ... se reúnen en la clase mamíferos. Estos organismos comparten características como el amamantar a sus crías con leche, gestarlas en el útero mediante un órgano complejo, la placenta. Su piel está protegida por pelaje o pelos. Mamíferos, aves, reptiles, anfibios, y peces se reúnen en un solo tipo o phylum, porque todos

tienen columna vertebral, un máximo de cuatro miembros, y sangre roja con hemoglobina, son los cordados. Los insectos, las arañas, los crustáceos, y los ciempiés, se clasifican en otro tipo, los artrópodos. Las almejas, caracoles y calamares se agrupan en los moluscos, y así sucesivamente. El tipo cordado, artrópodo, molusco y otros forman el reino Animal. El árbol de la vida se ordena siguiendo divisiones que van de características generales a aspectos más específicos.



El botánico sueco Carolus Linnaeus (1707-78) creó el sistema de clasificación que se utiliza hoy en día.

### **Significado de los niveles jerárquicos de clasificación**

Por qué se ordena la diversidad biológica en diferentes niveles jerárquicos? Los rasgos de las divisiones más generales corresponderían a adaptaciones básicas o principales que surgieron en los momentos iniciales de la evolución de los especies progenitoras de estos grupos. Por ejemplo, hay cinco grandes reinos, las moneras, los protistas, los hongos, las plantas y los animales, que se corresponden con las cinco diferenciaciones principales de la vida sobre la Tierra. El Phylum o tipo es la siguiente unidad básica de diferenciación entre reinos, y podrían entenderse como proyectos básicos fundamentales de anatomía. En el reino Animal estos planos fundamentales serían las esponjas, los anélidos (gusanos), los artrópodos (insectos, crustáceos,...), los cordados, .... A partir de estas adaptaciones principales surgen posteriormente nuevas variaciones o subadaptaciones diversas, que por tener un menor tiempo de evolución, tienen un rango clasificatorio menor.

### **La clasificación de la diversidad biológica es una prueba de la evolución**

El hecho que la diversidad de la vida esté jerarquizada es un fuerte argumento en favor de la evolución. El que las especies compartan estructuras anatómicas y adaptaciones básicas puede explicarse fácilmente si suponemos que las especies actuales compartieron antepasados, pero no esperaríamos dicho patrón si las especies hubieran sido creadas independientemente.

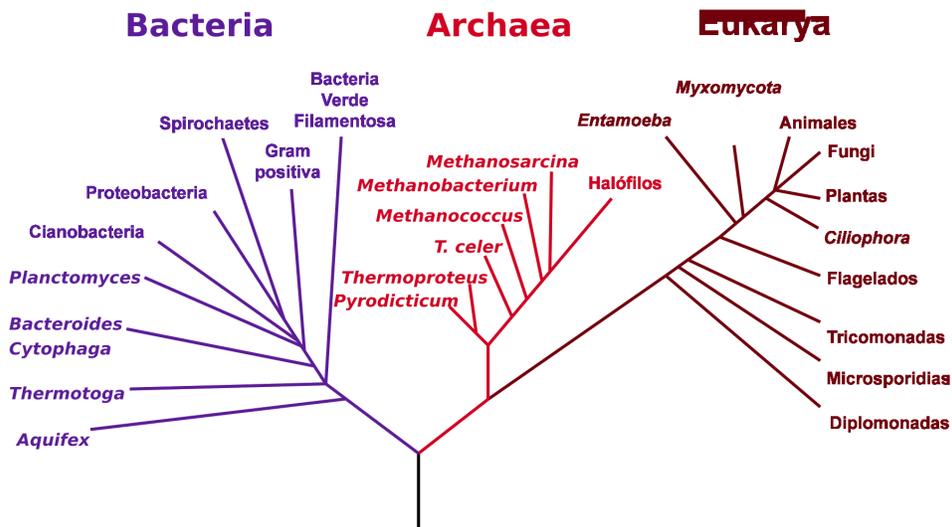
### **Filogenia molecular**

La universalidad de la molécula portadora de la información genética hace que el DNA sea un carácter muy apropiado para el estudio comparativo y filogenético de las especies. Morfológicamente no es posible comparar una bacteria con un hombre, sin embargo sí que es posible establecer una comparación con moléculas de DNA de ambos organismos, ya que están formadas por el mismo lenguaje de bases. Con datos de secuencias podemos comparar cualesquier grupo de organismos, por distantes que sean. Los datos moleculares tienen otras propiedades adicionales que todas juntas los convierten en el carácter ideal de estudios filogenéticos. Muchos trabajos obtienen y analizan las secuencias de genes y proteínas de diferentes especies para resolver cuestiones todavía dudosas de relaciones entre organismos. Los datos moleculares han demostrado que nuestra especie está mucho más cerca del chimpancé y el gorila de lo que creíamos.

## Árbol filogenético Universal

El análisis molecular de secuencias también nos ha enseñado que hay una división en la raíz misma del árbol de la vida que es más fundamental que la división de 5 reinos que se enseña normalmente. En lugar de los dos tipos celulares canónicos, los procariotas y eucariotas, hay tres tipos principales de células, las arqueobacterias, las eubacterias y los eucariotas. Este nuevo árbol recibe el nombre de árbol filogenético universal.

# Árbol Filogenético de la Vida



El árbol filogenético parece decirnos que nuestro último ancestro común puede haber sido similar a los organismos amantes del calor que utilizando energía química viven en los tubos hidrotérmicos del fondo de los mares.

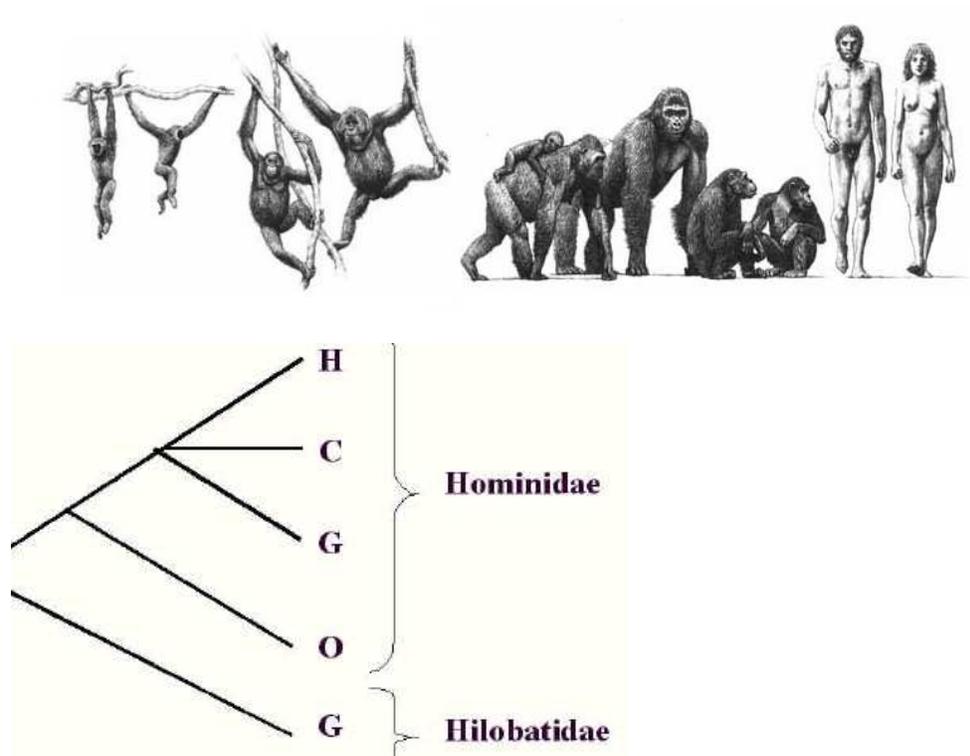
## La sexta extinción en masa

El destino natural de cada especie es su extinción. Pero la vida continúa porque muchas especies dejan especies descendientes antes de morir. La diversidad biológica es un proceso dinámico que resulta del equilibrio entre la extinción y la producción de especies. Ninguna de los dos puede predominar por mucho tiempo. Una extinción que fuese superior a la producción de especies durante muchas generaciones conduciría a la pérdida de la vida sobre la Tierra, mientras que una situación inversa llevaría al agotamiento de los recursos y por tanto a la extinción. Actualmente desaparece una especie cada 15 minutos. El crecimiento desmesurado de la especie humana ha aumentado en mil veces la tasa normal de extinción, creando una situación que es análoga a la de una gran catástrofe. Estamos frente a la sexta, y quizá definitiva, gran extinción de la Tierra.

## Evolución humana

Las semejanzas morfológicas, bioquímicas, y genéticas sitúan al ser humano en el orden de los primates de la clase mamíferos. Dentro de los primates, son el chimpancé, el gorila y el orangután, sus parientes más próximos. Los datos de comparación de secuencias muestran que hay una similitud del 98,5% entre el DNA humano y el del chimpancé. Esta semejanza es mayor que la que existe entre el chimpancé y el gorila o el gorila y nosotros, por lo que el chimpancé y los humanos compartimos un antecesor común más reciente que ambos con los gorilas. Esta cercanía, que se ha estimado en 5M de años, es mucho mayor de lo que se había inferido sólo con datos morfológicos, y muestra la capacidad de los datos de DNA para desvelar relaciones de pa-

rentesco. En la evolución humana existen dos grandes adquisiciones, la marcha bípeda, y el desarrollo extraordinario del cerebro. El registro fósil nos muestra que la postura erguida precedió al desarrollo cerebral y que África es la cuna de la humanidad. El Australopithecus, de una antigüedad de 1,5-5M de años es el primer mono antropoide de marcha bípeda. Su capacidad craneal era similar a la del chimpancé y gorila actual. El Homo habilis y el Homo erectus son las líneas que siguen cronológicamente hasta la llegada de nuestra especie, Homo sapiens, hace 100.000 años.



Filogenia actual del humanos y antropomorfos modernos que integra los datos moleculares y morfológicos. H: hombre, C: Chimpancé, G: Gorila, O: Orangután y G: Gibón.

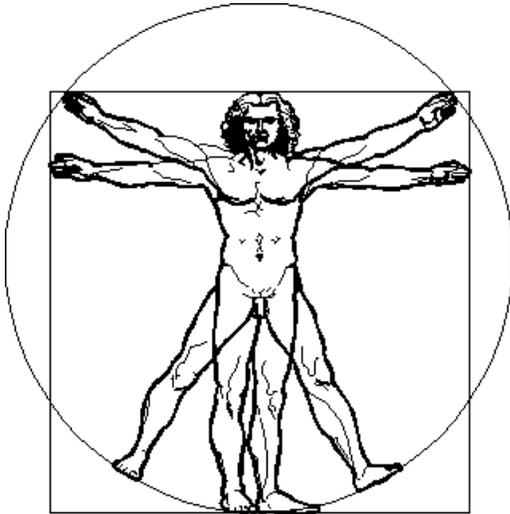
### DNA del hombre de Neandertal

En 1997 se publica la secuencia de un trozo del DNA del primer fósil que se encontró del hombre de Neandertal, una subespecie extinta de la especie humana. Es la primera vez que se obtiene la secuencia molecular de un fósil humano. Cuando la secuencia se comparó con secuencias homólogas de DNA humano actual se dedujo que el antepasado común de nosotros y el hombre de Neandertal vivió hace 500.000 años, de lo que se concluye que el hombre de Neandertal se extinguió sin mezclarse con el hombre actual.



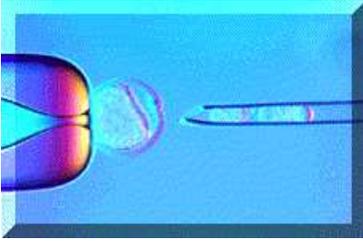
El análisis reciente de un trecho de la secuencia de DNA del hombre de Neandertal indica que esta subespecie humana no se mezcló con nosotros.

## El futuro de la evolución



Con la aparición del cerebro humano se produce el hecho singular del surgimiento de la conciencia objetiva en la biósfera. Somos chispas de conciencia en un Universo que hasta nuestra irrupción era ciego y sordo a su devenir. Por primera vez, y en un sentido recursivo, el universo se piensa a sí mismo cuando descubrimos su existencia de igual forma que nosotros nos pensamos y descubrimos con nuestro cerebro. Esto constituye el momento más trascendental de toda la evolución. El pensamiento científico que resulta de la actividad de mentes que trabajan en colaboración para entender la realidad física, biológica y mental de nuestro universo nos conduce a niveles de conciencia superiores. Como señala Mosterín (2005), nos dirigimos hacia a una conciencia cósmica, donde se alcanzarán planos superiores de empatía, alegría y lucidez.

La evolución científica y cultural no se limita a las leyes de la selección natural y la herencia genética. Sigue un proceso de transmisión horizontal (entre individuos de una generación) y vertical (entre generaciones) que es mucho más veloz que los procesos de evolución biológica típicos. El ser humano está en el umbral de poder dirigir la evolución en la dirección que el crea conveniente. Podrá limitar enormemente los azares de la mutación y de la segregación genética y unión de gametos. Genes mutados que causan graves enfermedades a la especie humana podrán ser sustituidos por sus contrapartidas no deletéreas (que no alteran la función),... Pero paradójicamente la humanidad se enfrenta hoy a los retos de su propio éxito evolutivo. El crecimiento explosivo de su población, con las necesidades de espacio y recursos que genera, provoca la eliminación o reducción hasta tamaños insostenibles de los hábitats de las especies. La tasa de extinción actual no es sostenible. Es posible que el ser humano pueda mantener la diversidad biológica en forma de semillas o células congeladas, e incluso que pueda compensar la pérdida de especies con la creación de nuevas mediante ingeniería genética. Pero la reducción drástica de espacios naturales limitará inevitablemente la diversidad. Los grandes retos de la humanidad son el control del crecimiento de la población, la eliminación de las desigualdades socioeconómicas, el mantenimiento de un desarrollo sostenido y viable y la conservación de hábitats naturales y de especies. El éxito frente a tales desafíos precisa del desarrollo de una conciencia ética universal basada en el respeto a la diversidad de pueblos y culturas de nuestra especie. Dicha conciencia debe extenderse hasta abarcar a la totalidad de la vida, al conjunto precioso de formas orgánicas que nos han acompañado, desde la primera célula antecesora común, en este fascinante periplo singular e irreplicable que es nuestra historia biológica.



La humanidad pronto podrá substituir genes mutados deletéreos por sus contrapartidas sanas

## Pruebas de la evolución

Primer prueba:

### LOS FÓSILES

Se denomina fósil a cualquier evidencia reconocible de vida en el pasado. Los fósiles son fragmentos de la historia de la vida que se han preservado de diferentes formas, ya sea como restos de organismos casi completos o en partes. Son también fósiles las impresiones de seres vivos en las rocas, antes o después de muertos. Huesos, huevos, dientes, troncos, hojas, huellas de pisadas, etc. Pueden llegar a nuestros días en forma de fósiles.

### LA IMPORTANCIA DE LOS FÓSILES

Además de la importancia practica que adquirieron los fósiles para el mapeo geológico de la corteza terrestre, se constituyeron como prueba del hecho evolutivo en base a los siguientes argumentos:

\* No todas las especies que vivieron en el pasado son las que actualmente vemos. Muchas se extinguieron sin dejar representantes vivos.

\* Los fósiles son contemporáneos con los estratos que los contienen, eso implica que los más jóvenes suprayacen a los más antiguos. Dada la similitud morfológica entre algunas especies fósiles y algunas especies actuales, se pueden establecer relaciones de parentesco entre las mismas.

La posible relación entre ellos se reinterpreto como una relación de parentesco en la cual los fósiles de los estratos superiores son descendientes de algunos de aquellos que se encuentran en los estratos inferiores.

De esta forma, los fósiles nos permiten tener un panorama de los cambios que acontecieron durante la historia de la vida y son, por lo tanto, documentos inapreciables de que la evolución ocurre.

Segunda prueba:

### LA ANATOMIA Y FISILOGIA COMPARADA

Con las teorías transformistas empezó a considerarse que las estructuras similares de los organismos era el resultado de la transmutación, donde las nuevas especies que se formaban conservaban estructuras de sus antecesores.

Con Darwin y la explicación del mecanismo evolutivo, esta prueba tomó todavía más importancia. Por ejemplo, el hecho de que todos los mamíferos, desde una jirafa hasta un ratón tuvieran siete vértebras en la zona correspondiente al cuello (vértebras cervicales), pudo ser interpretado como que todos provenían de un ancestro común donde esta estructura se había conservado casi sin modificaciones a lo largo de toda la serie.

De la misma forma, el estudio detallado de los huesos que forman el ala de un ave, la aleta de una ballena, la pata anterior de un caballo y el brazo humano, revelan un origen común aunque cumplen funciones muy diferentes. Son estructuras homologas aquellas que tienen un origen común independientemente de la función que cumplen.

El estudio de las homologías puede extenderse desde el análisis de estructuras anatómicas hasta comportamiento similares o formas de la respiración, tipo y funciones de la sangre, etc.

Los estudios comparados aportan importantes argumentos a favor de la evolución biológica.

## ANALOGIA Y HOMOLOGIA

Cuando se realizan estudios de anatomía comparada con el fin de establecer parentescos evolutivos, las estructuras que deben ser consideradas son aquellas denominadas estructuras homologas. Por el contrario, hay otras estructuras que aunque cumplen la misma función, como las alas de los insectos y de las aves, no revelan un origen común cuando son analizadas detenidamente.

Este fenómeno se llama convergencia adaptativa, en la cual organismos de muy distinto origen filogenético desarrollan estructuras muy parecidas en su forma y función, como las aletas de peces y cetáceos, por ejemplo.

Tercera prueba:

## LA EMBRIOLOGIA COMPARADA

Al observar embriones de diversos organismos, todos ellos vertebrados se puede ver el evidente parecido. Si la comparación la hacemos con embriones de la misma clase dentro de los vertebrados, el parecido será aún mayor.

Cuarta prueba:

## LA SELECCIÓN ARTIFICIAL

Tempranamente Darwin se había dado cuenta de que el hombre podía producir artificialmente nuevas variedades de animales domésticos y plantas cultivadas. Cruzando durante varias generaciones determinados organismos se obtenían nuevas formas que no se encontraban en la naturaleza.

Darwin experimentó con palomas caseras. Las crió de todas las variedades que puedo conseguir e hizo diversas cruzas entre ellas seleccionando las que más se acercaban al tipo silvestre.

Asimismo, recogió datos sobre los antiguos cultivos y obras de domesticación llevados a cabo en las culturas milenarias de Mesopotamia, Egipto, India y China.

Todos estos datos fueron finalmente publicados con el nombre de La variación de los animales y de las plantas bajo la acción de la domesticación. Esta fue una evidencia que Darwin utilizó para inspirarse para postular el mecanismo de selección natural.

Quinta prueba:

## LAS PRUEBAS DE CARÁCTER GENETICO

Los experimentos de Mendel mostraron que existían factores hereditarios que determinan, por ejemplo, las características físicas de una planta (color de flor, largo de tallo) pero no daban una explicación sobre donde se ubicaban estos factores y como trabajaban. Con el desarrollo de la genética durante el siglo XX, no solo se pudo ubicar donde residen estos factores, llamados genes, sino también su naturaleza.

Los genes son fragmentos de una gran molécula denominada ADN que se ubica en el núcleo de las células. Un trozo de ADN puede incluir cantidades variables de genes según su longitud. El conjunto de genes de un organismo (genoma) contiene toda la información necesaria para la "construcción" y funcionamiento de ese organismo.

Todas las especies del planeta comparten un mismo lenguaje genético basado en la molécula de ADN. Esto constituye una de las pruebas más importantes del parentesco evolutivo entre todas las especies.

Los biólogos han desarrollado varias técnicas que permiten comparar directamente los genes entre organismos diferentes. De estas comparaciones surgen similitudes y diferencias que solo pueden ser explicadas considerando diferentes grados de parentesco entre los grupos estudiados.