

La Biodiversidad a la luz de la Evolución

La propiedad manifiesta de la vida es la diversidad de las formas que adopta

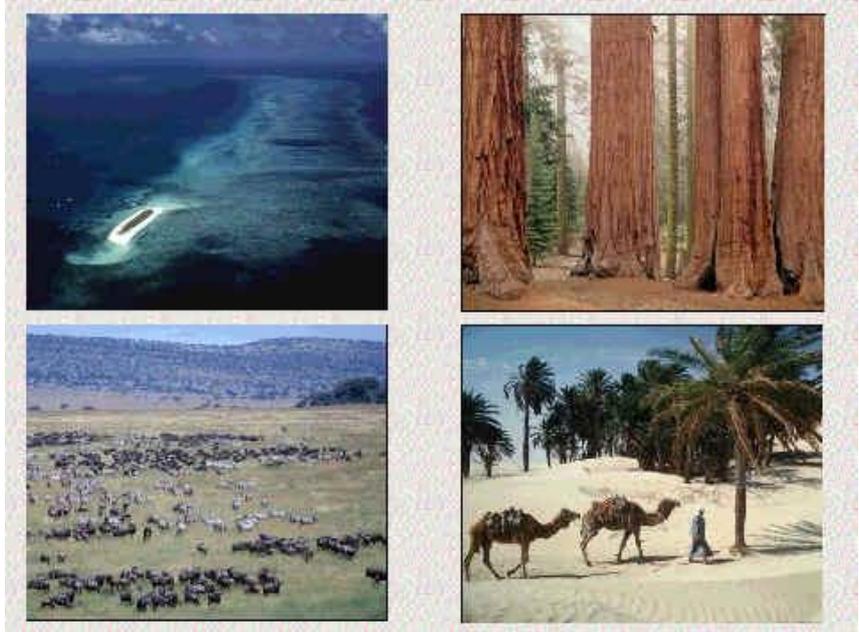
Difícilmente puede haber un mayor contraste entre las imágenes de un paisaje marciano, como las capturadas recientemente por la sonda *Path Finder* al posarse sobre la superficie marciana, y un paisaje terrestre. Un vista desolada, monótona, salpicada por rocas y colinas arenosas, la de Marte, es el paisaje característico de un lugar donde la vida está ausente. Compárese con la selva



tropical, con un arrecife coralino, con el bosque rojo de secoyas californiano,... Es en la Biosfera, esa minúscula película de la superficie terrestre que es nada respecto a la inmensidad del Universo, donde se encuentran las entidades más curiosas e interesantes del Universo conocido: los seres vivos, la vida. Y la vida se manifiesta como diversidad a todos los niveles que uno considere, molecular, celular, orgánico (el humilde escarabajo es el paradigma de la diversidad en todo su esplendor), en especies, en comunidades, en ecosistemas. Todos los que estamos aquí celebramos y vindicamos la singularidad de nuestro planeta, que alberga la vida con toda su biodiversidad. Nos emocionamos ante la belleza inherente a la diversidad inmensa y fantástica que vemos en la naturaleza.

¡Hay grandeza en esta visión de la vida!

Paisajes terrestres



Los escarabajos son el paradigma de la diversidad

Diversidad morfológica en caracoles hawaianos



Pero, ¿por qué la diversidad? ¿Por qué la vida se presenta de tantas maneras y no en una única forma como en un monocultivo? O, ¿por qué no hay una diversidad casi infinita como en una colección de museo? ¿Cuántas especies hay en la naturaleza? ¿Cuánta diversidad hay? ¿Cómo se genera la diversidad? ¿Cuál es la historia de la diversidad sobre la Tierra? ¿Hay un límite a la diversidad? ¿Qué dirige la diversidad? Vamos a tratar, con la necesaria brevedad que exige una charla, estas cuestiones.



Monocultivo de girasoles



Coleccion de especies de saltamontes de Costa Rica

La revolución darwiniana: el pensamiento poblacional

Cómo no, fue ese viejo señor llamado Charles Darwin quien solucionó el problema del por qué de la diversidad. La diversidad es un subproducto de la evolución de la vida sobre la Tierra, y por tanto, no puede ser entendida sino es a la luz de la evolución. An-

tes de Darwin las especies se consideraban unidades fijas e inmutables y separadas sin solución de continuidad, reflejaban el *eidos* o la idea platónica de la mente de Dios. No había otra forma de explicar la diversidad sino era acudiendo al acto de creación divina o a la generación espontánea de las nuevas especies.

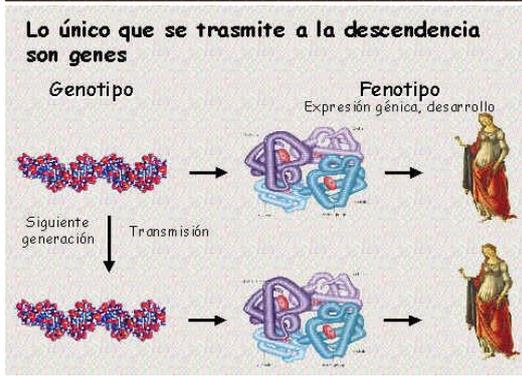
La variación de los individuos dentro de una especie era ruido, accidentes en la materialización de las ideas perfectas de Dios. Pero Darwin da un vuelco conceptual al modo de considerar la variación y allana de forma inmediata el camino hacia la comprensión de la evolución y la diversidad. Para Darwin, la variación en el seno de las especies, lejos de ser trivial, es la piedra angular del cambio evolutivo. Son las variantes genéticas que hay en las poblaciones o especies la materia prima de la evolución, con las que va a construirse toda la diversidad. Pues son estas diferencias individuales, las que al amplificarse en el espacio y en el tiempo, generarán toda la diversidad biológica. No hay una forma, un color, un aspecto arquetípico de una especie: todos los individuos con todas sus variantes constituyen la única realidad. En las poblaciones se forja, por lo tanto, la evolución. Hay un continuo, no una separación esencial, entre la variación dentro de las poblaciones y la variación entre las especies. Desde la perspectiva darwiniana, la diversidad no es un problema en absoluto, es una consecuencia natural del proceso de evolución.

<p>EL PENSAMIENTO POBLACIONAL:</p> <p>la variación en el seno de las poblaciones es la materia prima de la evolución</p> 	<p>Población de una especie</p> <p>Conjunto de individuos intercrucables que comparten un acervo genético común</p> 
---	---

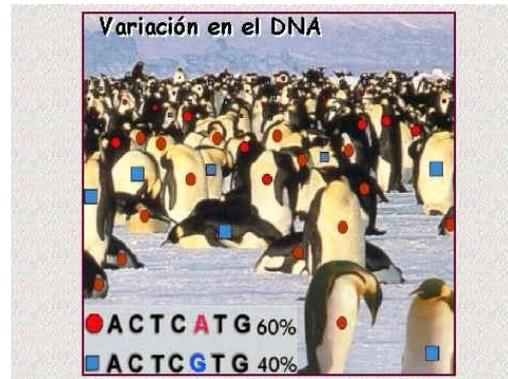
Pensamiento poblacional

Población mendeliana

Pero, ¿cuál es la variación que evoluciona? La evolución es en último término variación en la composición *genética* de las poblaciones. Pues es el material genético, la molécula de DNA, lo único que se transmite a la descendencia. En este sentido, podemos entender la evolución de un modo reduccionista y considerar a los organismos, a la manera de R. Dawkins, como mera máquinas de supervivencia creada por nuestros genes para su autoperpetuación. S. Butler ha expresado la misma idea más poéticamente: *una gallina es el medio que usa un huevo para hacer otro huevo.*



Sólo se transmiten los genes



La variación genética

La generación de la diversidad biológica

Ahora bien, y concretando, *¿cómo se origina, como se forja la diversidad biológica?*

En cada instante, en cada momento, en el día a día de las poblaciones de cada especie, ahora, afuera, mientras hablo aquí, se está generando diversidad.

Toda diversidad se inicia con una mutación del material genético de la célula reproductora de un individuo. Este es un cambio accidental, no previsto, contingente, un simple error "tipográfico" en la transmisión de la información genética. El destino habitual de una mutación es su pérdida. Sin embargo puede verse sometida a dos agentes amplificadores que hacen que ese momento inicial y menor de variabilidad pase a convertirse en diversidad en mayúscula: son *la selección natural* y *el aislamiento reproductivo*. Veamos como:

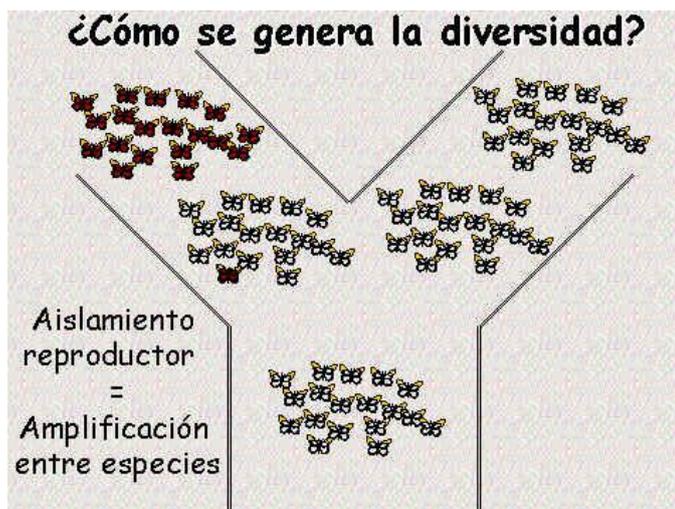
La selección natural es el primer factor amplificador de una mutación individual, pues permite que la mutación invada y se fije como única variante en la población en la que aparece. Para que así sea estas mutaciones deben contribuir al éxito reproductivo de los organismos que la portan. O sea, los organismos con dicha mutación deben ser en promedio más eficientes en dejar descendientes, por lo que aumentarán su representación (y la de la mutación que portan) en la siguiente generación. Ahora bien, la selección natural sólo promueve la amplificación de la variación dentro de una población, no de nuevas especies. Para ello se requiere un segundo mecanismo de amplificación, el aislamiento reproductivo.



La selección natural amplifica las variantes individuales

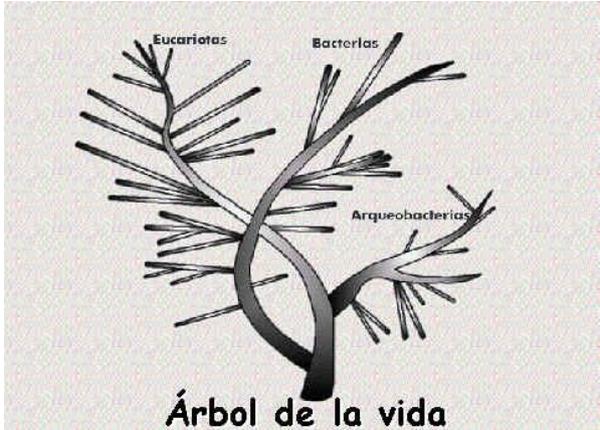
El aislamiento reproductivo, la imposibilidad de dejar descendientes entre dos o más poblaciones de organismos, constituye un momento crucial en el origen de la diversidad, pues es un punto final sin retorno que acaba con la fuerza cohesiva que es el flujo reproductor entre los organismos. El aislamiento reproductivo permite que grupos previamente homogéneos diverjan de modo irreversible, pues la mutación y la selección natural actúan como fuerzas centrífugas que hacen divergir más y más a las poblaciones aisladas reproductivamente.

El aislamiento reproductivo permite la divergencia de las poblaciones



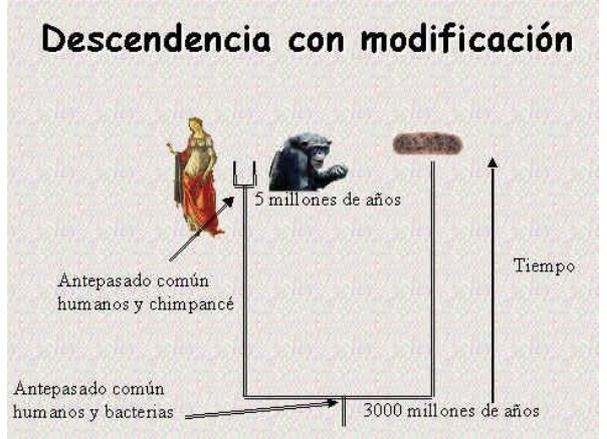
Si a los tres componentes, la mutación, la selección natural y el aislamiento reproductivo, le añadimos tiempo, entonces obtenemos la diversidad orgánica. Así, partiendo de una primera forma de vida han surgido nuevas especies que se alejan unas de otras, generando una topografía que nos es familiar, un árbol (o arbusto) de la vida. El árbol de la vida es la representación canónica, arquetípica, de la historia de la vida. Hay una metáfora que me gusta particularmente, es la que considera la evolución de la vida como la expansión del Universo. Según ésta, las estrellas que se han ido produciendo desde la explosión original (el *Bing Bang*) se van alejando unas de otras conforme el Universo se expande. Del mismo modo, a partir de una forma de vida inicial, se han producido más y más especies que se alejan gradualmente unas de otras (esto se puede medir hoy comparando las diferencias en el DNA de las especies). Otra implicación romántica es que todos los organismos están conectados por antepasados comunes. Nosotros y cualquier chimpancé actual compartimos un antepasado hace algo así como 5 millones 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. Y una observación no menos fascinante: Muchos, la inmensa mayoría de las especies han muerto por el camino. Estamos en la punta de las ramas del árbol, somos "expertos" (o "afortunados") de la supervivencia. ¡Nunca en nuestra línea de ascendencia desde la primera forma que existió, se ha cortado la corriente de vida de más de 3500 millones de años! O sea, nunca una piedra mató a nuestro padre, abuelo, bisabuelo, o

nuestra bacteria ancestral..., ni fueron depredados, ni les cayó un meteorito,... antes de que dejaran descendientes. ¡Que afortunados somos!



Árbol de la vida

Descendencia con modificación



El árbol es la representación canónica de la historia de la vida
 Todos los organismos están conectados por antepasados comunes
¡Hay grandeza en esta concepción de la vida!

¿Cuántas especies se han creado durante la evolución de la vida?

No tenemos ni idea ni del orden de magnitud. Cuando se observa el tapiz de la diversidad se concluye que lo pequeño domina el mundo, es el nanohábitat. Si el espacio biológico tiene un carácter fractal, entonces los pequeños hábitat son muchos más abundantes que los grandes. Estudios recientes de diversidad de microorganismos señalan a las bacterias como el agujero negro de la taxonomía. Posiblemente son los organismos con mayor diversidad del planeta.

¿Cuánta de la diversidad que se ha creado durante la Evolución existe hoy en la Tierra?

Consideremos estimas de diversidad para calcular la cantidad de nucleótidos de DNA que serían necesarios para especificar toda la información genética de las especies actuales.

- Diversidad de especies: 100 millones (10^8).
- Número promedio de nucleótidos de DNA por especie: mil millones (10^9).
- Diversidad en contenido de ADN en el conjunto de las especies:
 10^8 especies por 10^9 pares de bases/especie = 10^{17} nucleótidos, es decir,

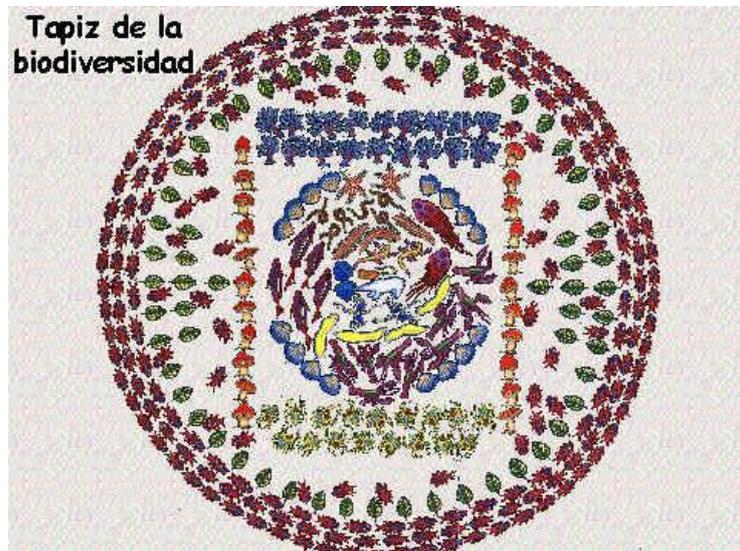
100000000000000000 nucleótidos especifican la diversidad genética completa de las especies que pueblan la Tierra.

Pero las especies son un cúmulo de diferencias a nivel del organismo que no está incluida en esta estima. Así, 5 de cada 1000 nucleótidos son distintos entre los individuos de una misma especie, lo que añade una dimensión mucho mayor a la diversidad individual.

Esta inmensa diversidad constituye una auténtica biblioteca de Babel Borgia, el producto exquisito de una línea continua de vida de 3500 M de evolución. Es una información funcional, una extraordinaria librería que sirve como proyecto para la vida actual y futura, pues del mismo modo que cuantos más libros distintos haya en una librería mayor probabilidad tenemos de solucionar un problema que

se nos plantee, cuanto más información genética más probabilidad hay de sobrevivir a nuevos retos. Es una Biblioteca de los secretos de la naturaleza en la que la mayoría de los libros están sin leer, y que posiblemente, si seguimos así, nunca leeremos. En ellos están escritos grandes dramas, tragedias y triunfos épicos.

¡Hay grandeza en esta concepción de la vida!



La historia de la vida = la historia de la biodiversidad

El registro fósil es una ventana maravillosa a la historia 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 nunca dispondríamos de evidencia con la que probar nuestras hipótesis más atrevidas. ¿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? Siento un respeto reverencial hacia el registro fósil.

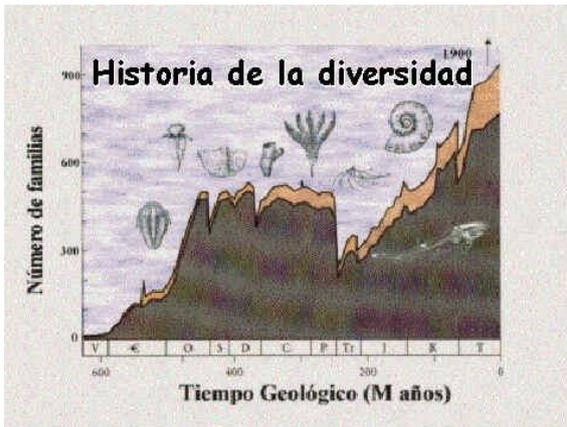
Cronología de siete momentos estelares de la evolución

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

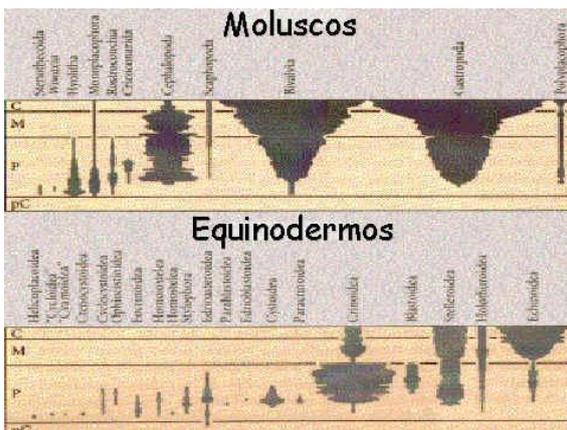
- Origen de la célula procariota 3600 M (M=Millones de años)
- Origen de la célula eucariota 1400 M
- Origen de la fauna de animales pluricelulares 650 M

- 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.

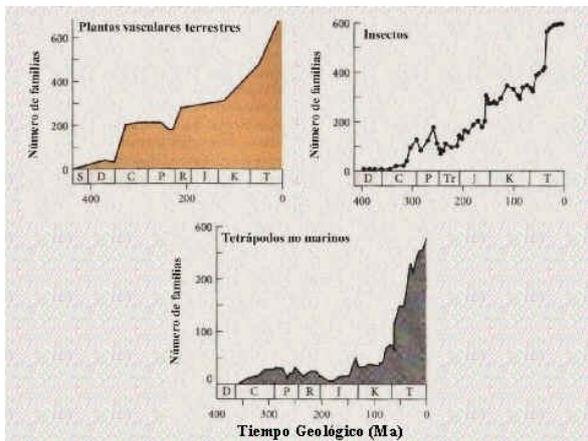
Historia de la diversidad de los grupos principales



Historia de la diversidad marina desde el Cámbrico



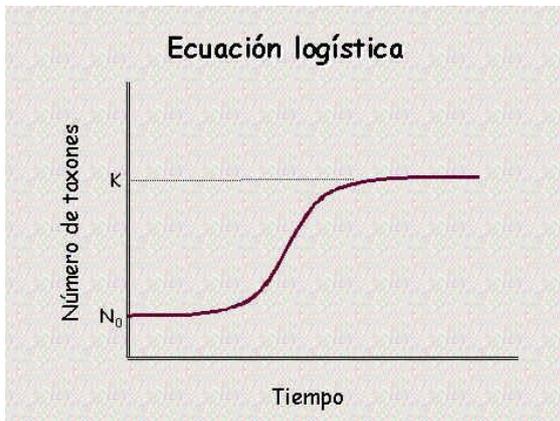
Historia de la diversidad en moluscos y equinodermos



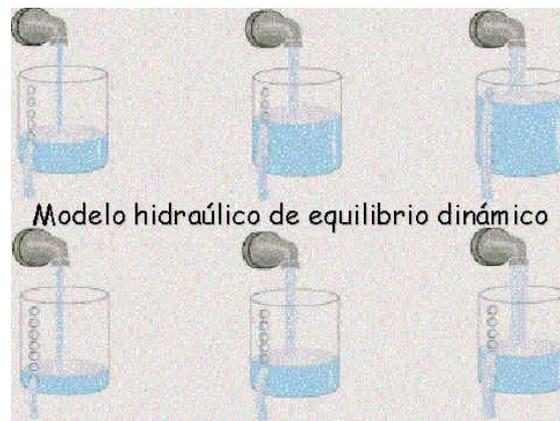
Diversidad en insectos, plantas y tetrápodos no marinos

Lecciones que se extraen de la historia de la vida:

- Las extinciones masivas existen. Se dan y resultan en grandes recambios de la diversidad.
- A las extinciones masivas les suelen seguir grandes radiaciones adaptativas, debido probablemente a la ausencia de competencia. Es el patrón típico de crecimiento dado por la curva sigmoidea, al crecimiento exponencial le sigue la aproximación al equilibrio.
- No hay patrones definidos de diversidad en los distintos taxones. Cada historia es única.
- No toda la diversidad tiene el mismo significado. Hay taxones muy antiguos con muy pocas especies, que están en el clímax de un esplendor pasado por lo que tienen una información más singular que otras especies pertenecientes a taxones en pleno éxito evolutivo. Así, el Panda gigante es el único miembro del género *Ailuropoda*, el celacanto del género *Latimeria* y la Tuatara del género *Sphenodon*.



Ecuación logística

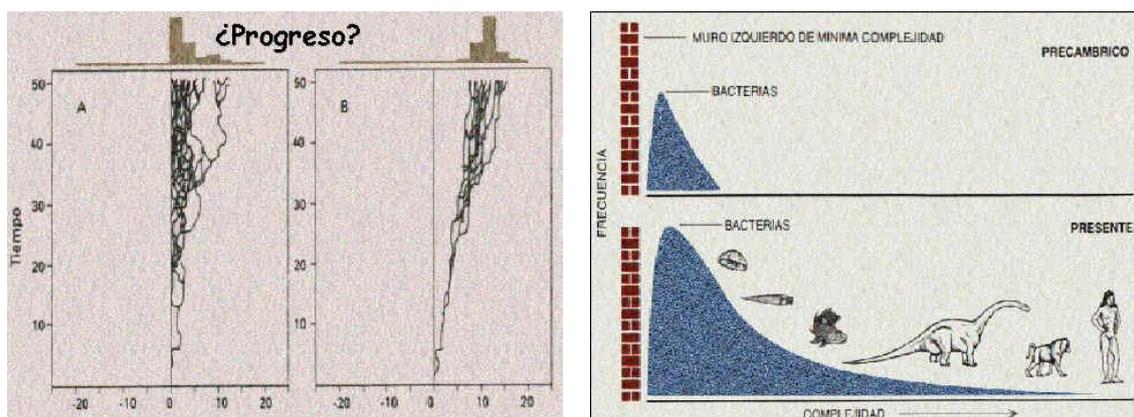


Modelo hidráulico de equilibrio dinámico

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 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.



No hay una ley de progreso en la evolución
 El aparente progreso en la evolución resulta de un sesgo
 en la valoración de la diversidad

Conclusión

Como conclusión, nada mejor que la lectura de la frase final del Origen de las especies, donde Darwin compara las leyes inalterables de la física con el carácter creativo de la evolución de la diversidad sobre la Tierra:

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

Agosto 1999

*

nombre / name: Antonio Barbadilla Prados
 titulación / title: Doctor
 categoría / category: Profesor Titular / Associate Professor
 centro / center: Facultad de Biociencias / Faculty of Bioscience
 e-mail: antonio.barbadilla@uab.es
 dirección / adress: Dpt. Genètica i Microbiologia,

UAB, 08193 Cerdanyola (Barcelona), Spain

Autor: Antonio Barbadilla

| Evolución biológica

| Genética poblaciones

| Creación vs Evolución

| Selección natural I

| Selección natural II

| Biodiversidad-Evolución

| Reseña histórica

| Links