PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN

Las teorías evolucionistas se basan en una serie de pruebas que podemos agrupar en 5 grupos:

1. **Pruebas paleontológicas**
2. **Pruebas morfológicas**
3. **Pruebas biogeográficas**
4. **Pruebas embriológicas**
5. **Pruebas bioquímicas.**

1. Pruebas paleontológicas: formas intermedias.

En el estudio del registro fósil, aunque faltan muchas **formas intermedias**, si aparecen otras que parecen tener características intermedias entre dos grupos de seres vivos y que permiten deducir a partir de que organismos han podido derivar otros seres vivos.

Es clásico el ejemplo del ***Archeopterix***, que se considera precursor de las aves actuales y presenta características intermedias entre las aves y los reptiles, tales como presencia de plumas, dientes como los reptiles, garras en las alas etc.

1. Pruebas paleontológicas: series filogenéticas

La **paleontología** estudia los **fósiles** . Mediante la comparación de fósiles de organismos que vivieron en épocas diferentes se pueden saber los cambios que han sufrido las especies a lo largo del tiempo.

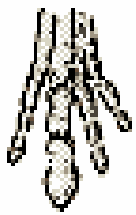
Cuando se analizan los registros fósiles aparecen las llamadas **series filogenéticas** en las que se ordenan determinados órganos de especies próximas para apreciar su evolución. Por ejemplo, podemos observar la **serie filogenética de la extremidad de los équidos**. Su registro fósil conocido comienza hace unos cincuenta millones de años.

El registro fósil muestra con claridad una reducción progresiva del número de dedos, pasando de un animal pequeño de cuatro dedos (perteneciente a una línea evolutiva que dio lugar, además del caballo, los rinocerontes y otros mamíferos), a un animal con un tamaño mayor, que pastaba hierba y tenía las patas formadas por un único hueso terminado en un solo dedo: el caballo moderno.

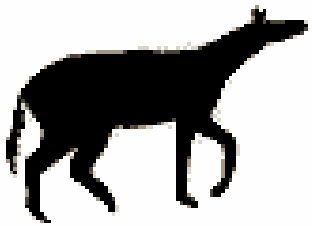
El ***Eohippus***, similar en tamaño y aspecto a un perro, vivió hace 60 millones de años y sus molares carecían de superficies trituradoras grandes para masticar la vegetación carnosa de su hábitat. Con la expansión de las praderas en el Mioceno, hace 25 millones de años, tan solo sobrevivieron aquellos animales cuyos dientes estaban adaptados para triturar el alimento.

Por otro lado, el cambio hacia un clima más árido produjo un endurecimiento del terreno y el dedo medio de ***Merychippus*** se alargó para soportar la tensión de su peso, convirtiéndose en un único dedo en ***Pliohippus***. Las patas robustas del caballo evolucionaron para conseguir alcanzar velocidades lo bastante rápidas como para evitar a sus depredadores.

Eohippus (Eoceno)

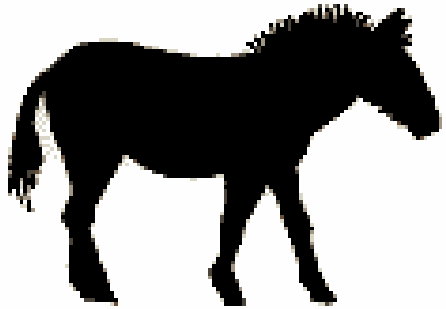


Mesohippus (Oligoceno)



Merychippus (Mioceno)

Pliohippus (Plioceno)



Equus (Pleistoceno)
Caballo moderno

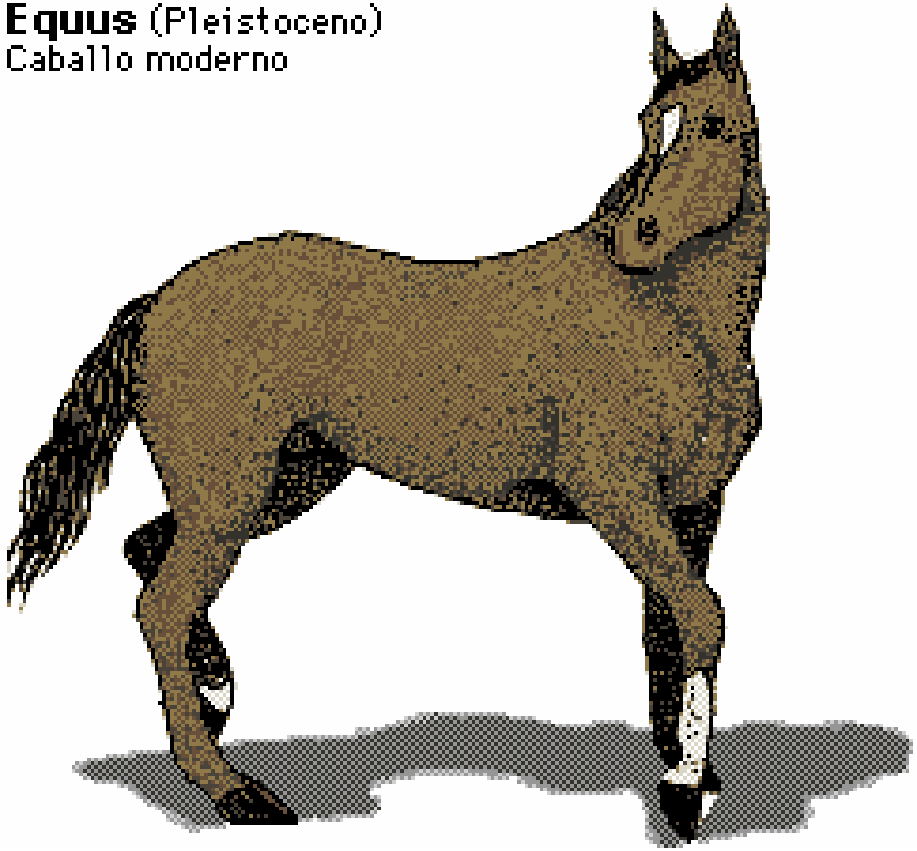


Ilustración de Microsoft

Caballo de raza Burguete.

Larra, karst 3-julio 2005

Fotografía: G. Álvarez

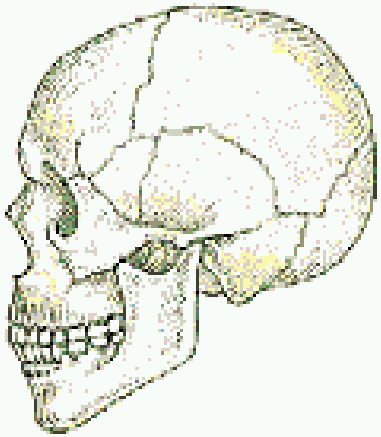
Caballo de raza Burguete.

Larra, karst 3-julio 2005

Fotografía: G. Álvarez

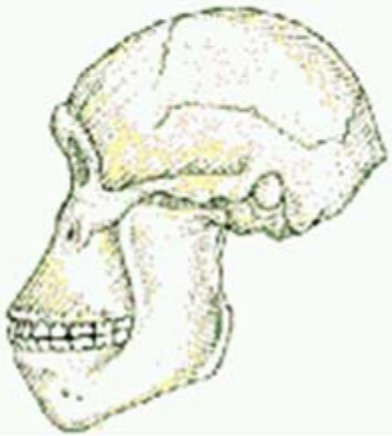
Serie filogenética humana

Homo (sapiens) sapiens
(40.000 años hasta hoy)

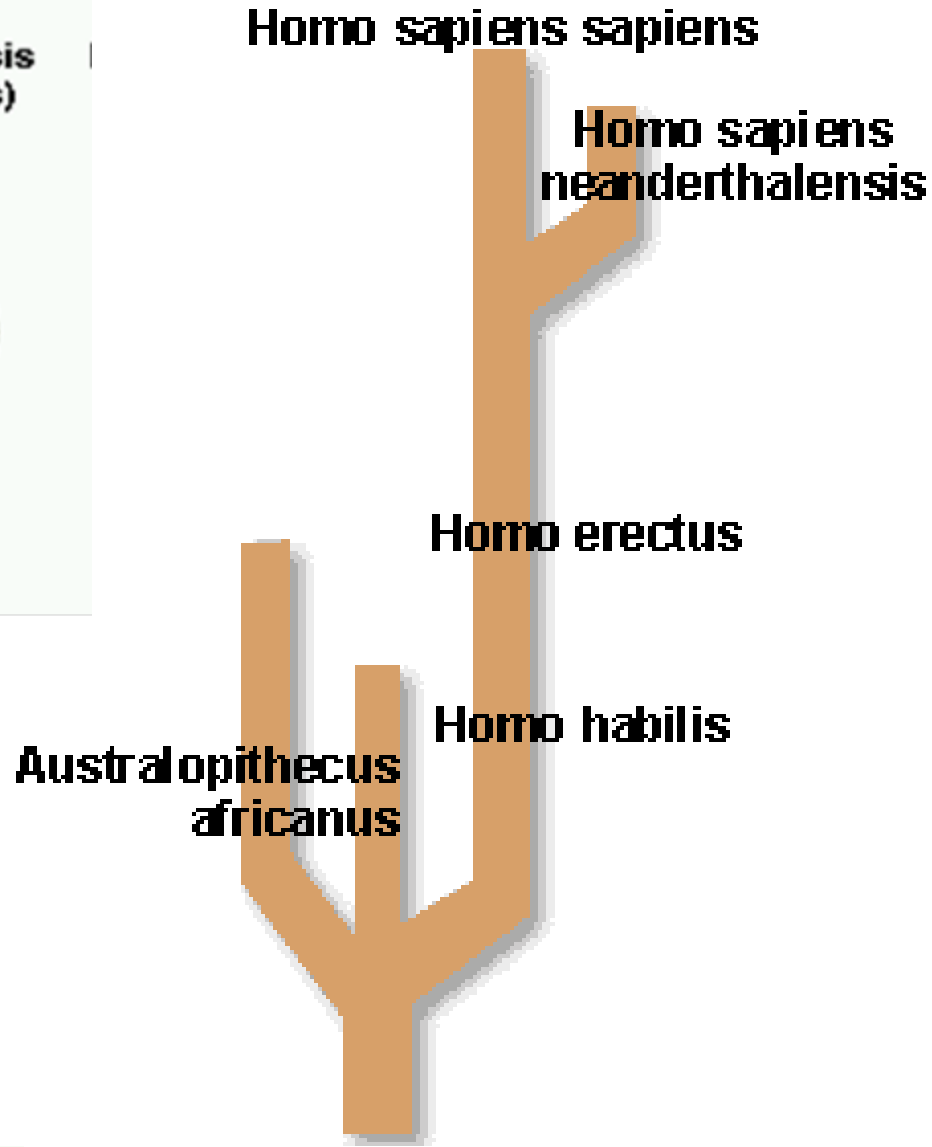


Homo neanderthalensis
(100.000 a 40.000 años)

Australopithecus
(3-2 millones de años)



Homo erectus
(750.000 años)



1. Pruebas paleontológicas: fósiles vivientes

Los fósiles vivientes son organismos que apenas han evolucionado, manteniéndose casi sin cambios a lo largo de millones de años. Algunos de ellos incluso se creían extinguidos porque solo se conocían del registro fósil.

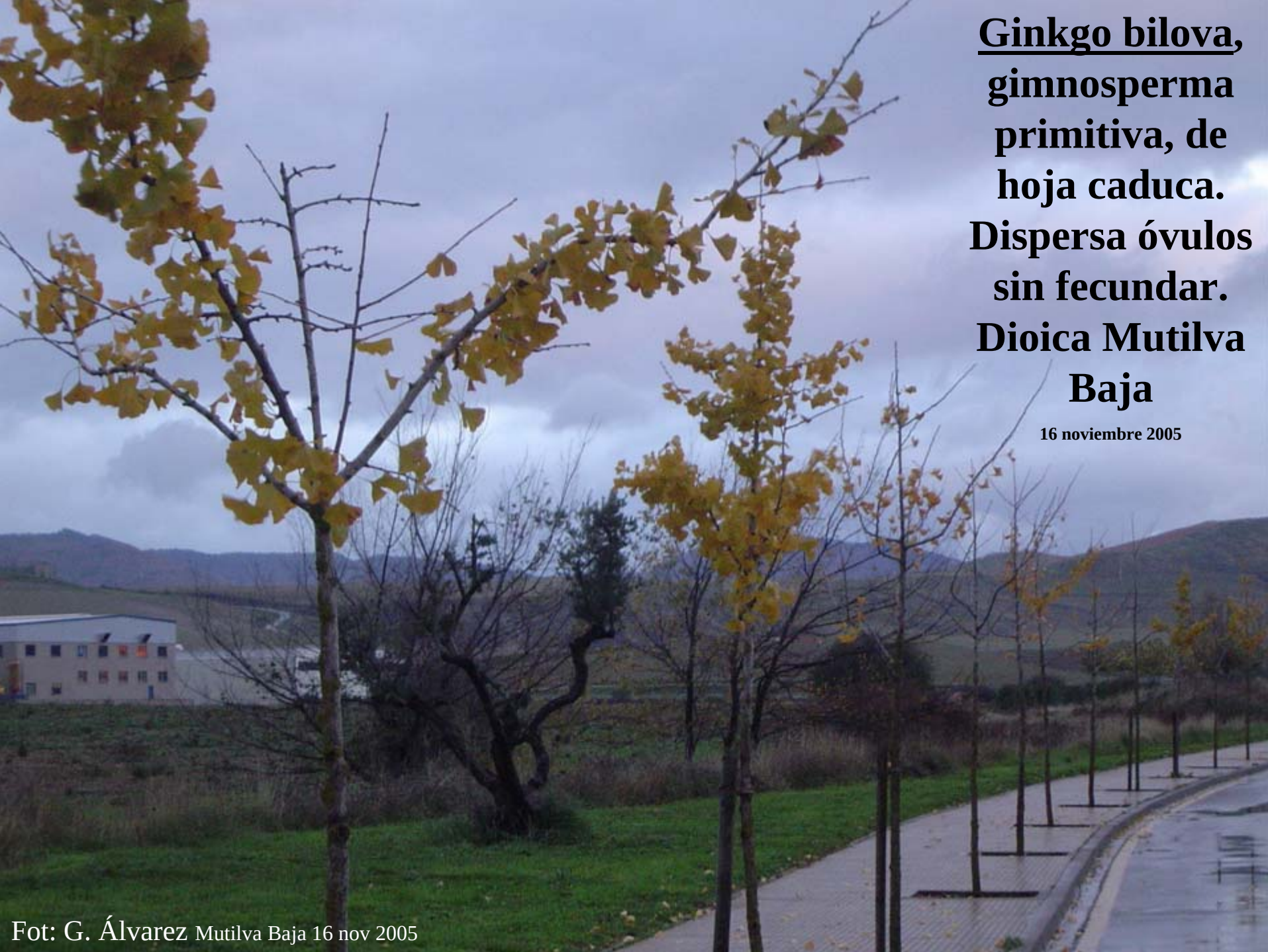
Fósil de *Ginkgo* de 170 millones de años de antigüedad.

Hoja de *Ginkgo biloba* actual

***Ginkgo bilova*, gimnosperma primitiva, de hoja caduca. Dispersa óvulos sin fecundar.**

Dioica (individuos masculinos e individuos femeninos).

Fot: G. Álvarez Universidad Navarra Ed.
Central de granito *8 abril 2006*



Ginkgo bilova, gimnosperma primitiva, de hoja caduca. Dispersa óvulos sin fecundar. Dioica Mutilva Baja

16 noviembre 2005

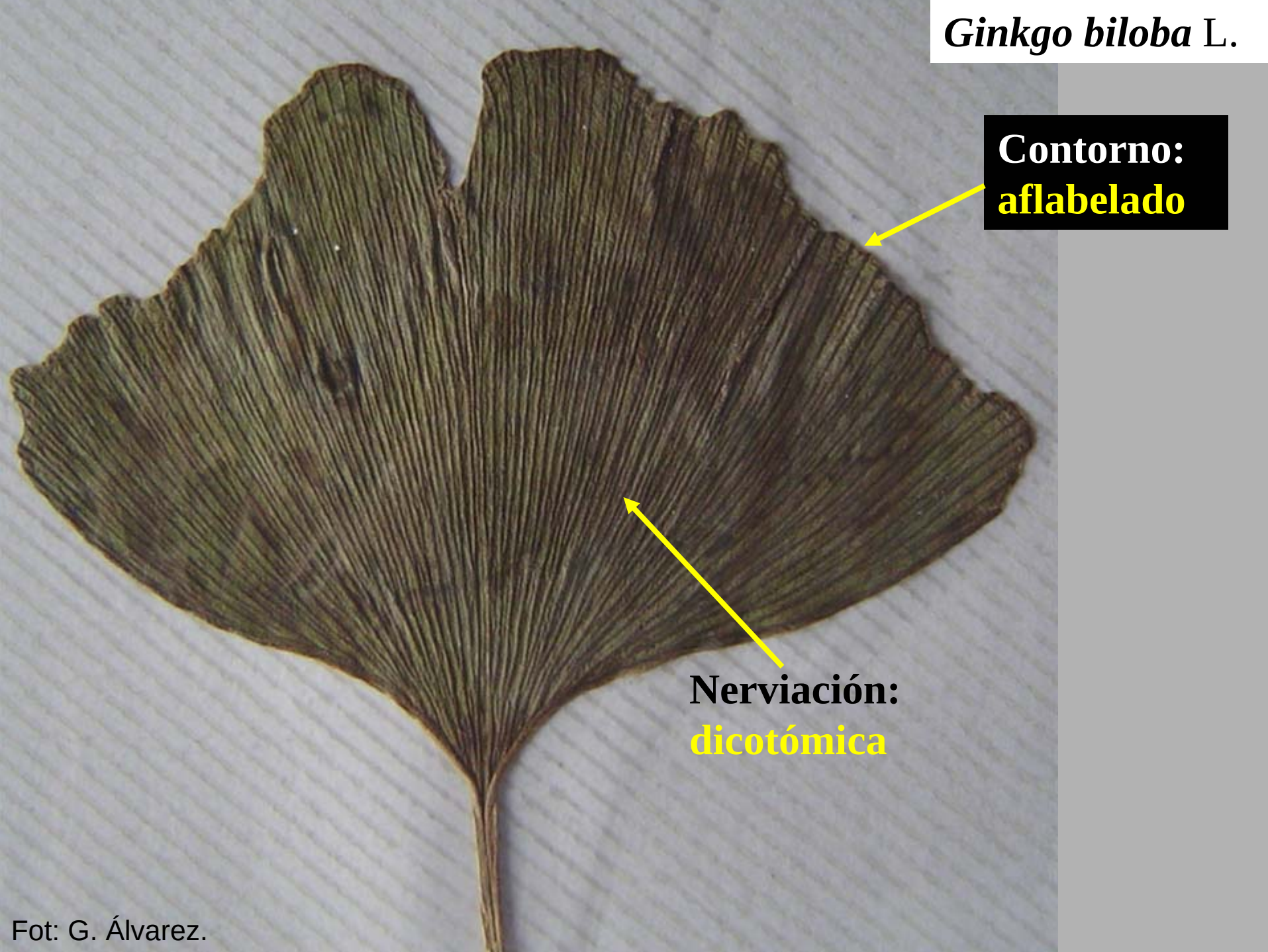
Fot: G. Álvarez Mutilva Baja 16 nov 2005

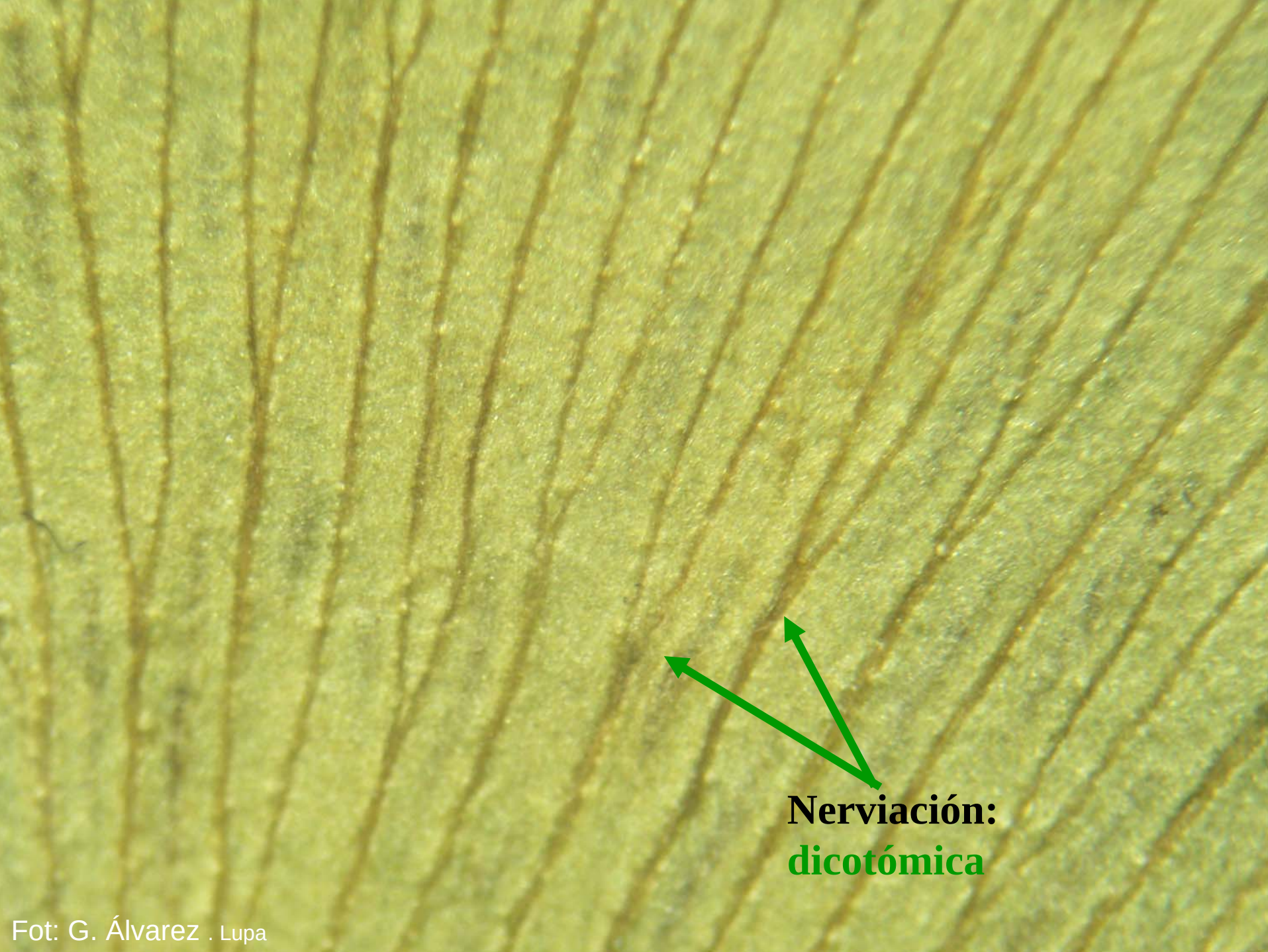
Ginkgo bilova, Gimnosperma primitiva

16 noviembre 2005

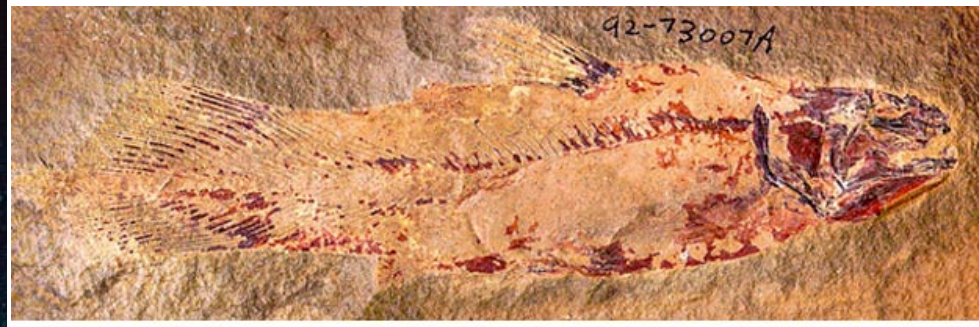
Fot: G. Álvarez Mutilva Baja 16 nov 2005

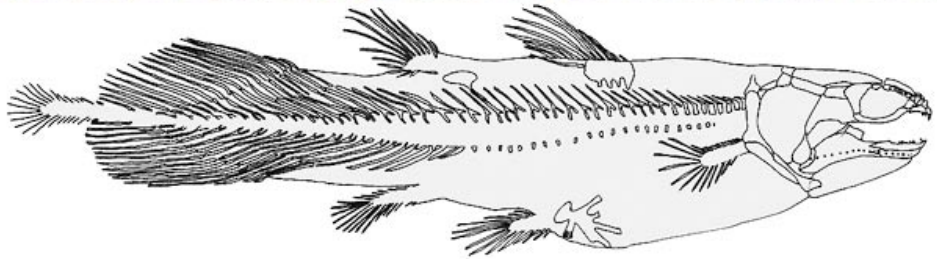
Ginkgo bilova,
Gimnosperma
primitiva
16 noviembre 2005
Fot: G. Álvarez Mutilva Baja 16 nov 2005


Ginkgo biloba L.
Contorno:
aflabelado
Nerviación:
dicotómica
Fot: G. Álvarez.



Fot: G. Álvarez . Lupa





Ejemplar de celacanto: *Latimeria chalumnae*

http://www.youtube.com/watch?v=rYOf2wIoxgo&feature=related

Los celacantimorfos (Coelacanthimorpha) o celacantos son peces de aletas lobuladas (Sarcopterigios) que se creían extintos desde el período Cretácico hasta que, en 1938, un ejemplar vivo fue capturado en la costa oriental de Sudáfrica. Y otra especie que se localizó en Sulawesi (Indonesia) en 1998.

Descubrimiento del género *Latimeria*: El 22 de diciembre de 1938 se descubrió el primer ejemplar contemporáneo de este grupo fósil, 80 millones de años después del último registro fósil en que aparecían ejemplares de este grupo. Fue capturado por pescadores a unos 60 metros de profundidad ante la desembocadura del río Chalumna, en el Sur de África. Medía 1,5 metros de longitud y pesaba unos 50 kg. Fue desembarcado en el puerto de East London, en la República de Sudáfrica.

Ejemplar de celacanto (*Latimeria menadoensis*) atrapado el 20 mayo 2007 en Indonesia

1998
> 10,000 km
1992
1995
1938
Equatrial current
Mozambique current
Comoro
Indonesia
Latimeria chalumnae
Latimeria menadoensis

2. Pruebas morfológicas (anatómicas)

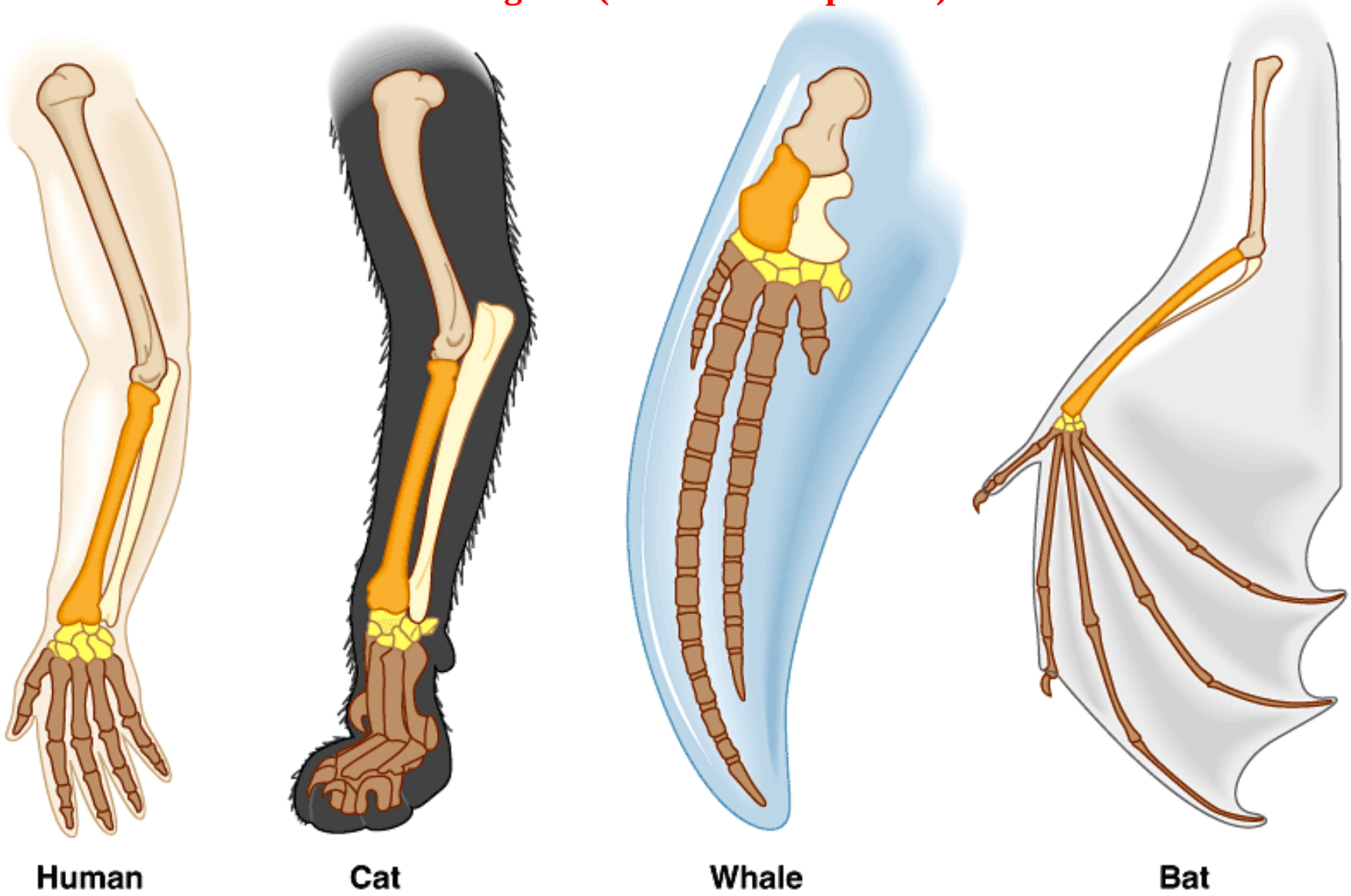
Surgen del estudio comparado de la morfología y anatomía de los seres vivos.

Debemos distinguir entre órganos homólogos y órganos análogos.

Órganos homólogos: presentan un mismo origen embrionario pero realizan funciones diferentes. Por ejemplo, las extremidades de los vertebrados: **las alas de un murciélago, la pata de un caballo, las aletas de las ballenas o los brazos prensiles de los primates**. La homología surge por un proceso de **evolución divergente (radiación adaptativa)**, al adaptarse un mismo órgano a medios diferentes para poder volar, correr, nadar o trepar.

Órganos análogos: presentan un origen embrionario diferente pero realizan funciones semejante, por lo que morfológicamente adquieren un aspecto similar. Por ejemplo, **las alas de un insecto y las alas de un ave**. La analogía surge por un proceso de **evolución convergente (convergencia adaptativa)**, al adaptarse distintos órganos a un mismo medio, en este caso el medio aéreo para poder volar.

Ejemplo de **órganos homólogos**: extremidades de los vertebrados. Presentan una morfología y una función muy diferentes, pero poseen la misma estructura ósea. La homología indica un parentesco evolutivo. **Evolución divergente (radiación adaptativa)**.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Ejemplo de **órganos análogos**: alas de aves e insectos. Presentan un origen muy diferente pero una morfología y una función muy parecida. **Evolución convergente (convergencia adaptativa)**.

Anas platyrhynchos Pareja de patos

Graphosoma lineatum italicum
Chinche rayada.

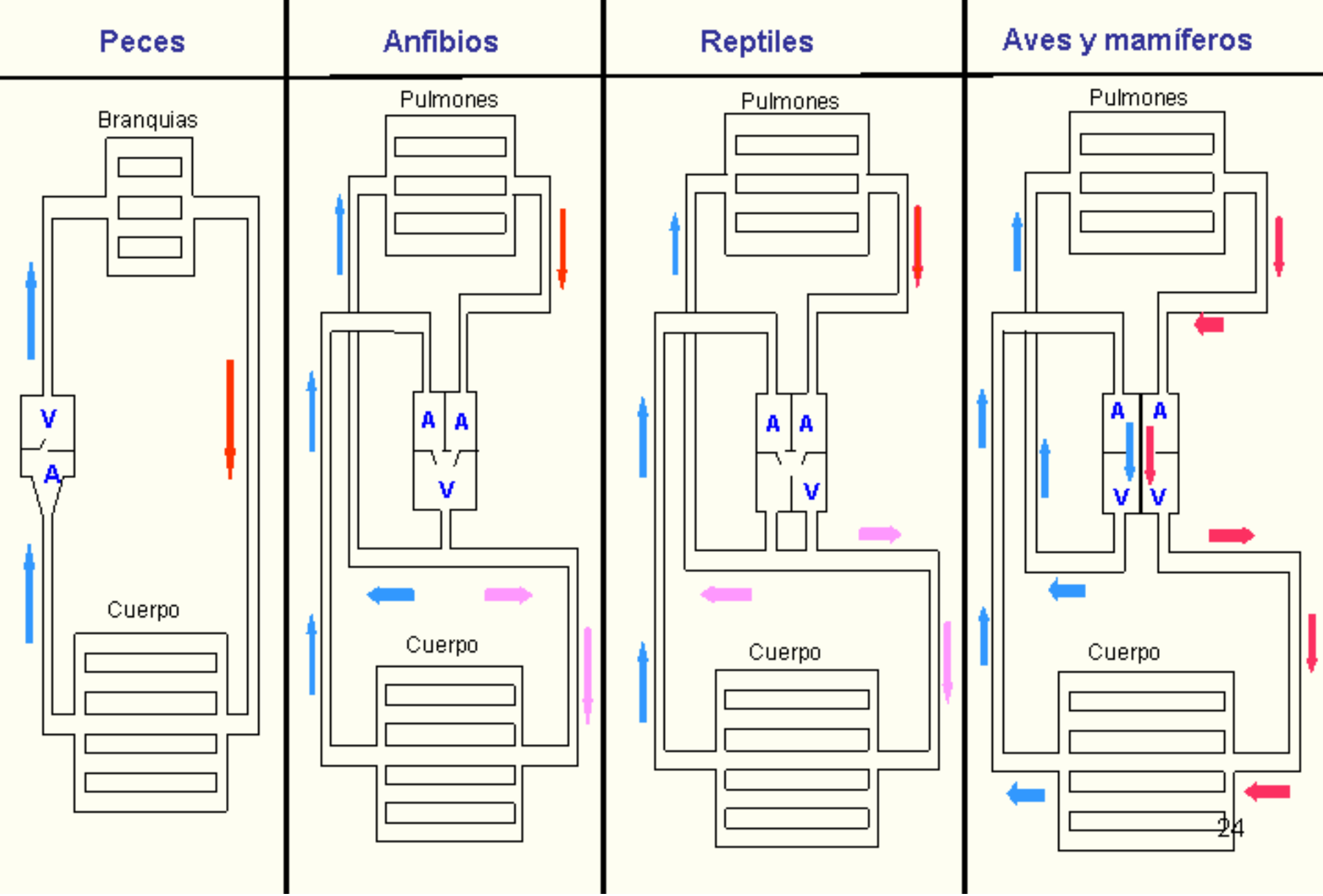
Otra prueba morfológica y anatómica de la evolución surge del estudio de los **aparatos circulatorios de los vertebrados**, en cada grupo se observa una diferencia progresiva con respecto al anterior. Todos los vertebrados poseen un aparato circulatorio cerrado, es decir, la sangre circula siempre canalizada en vasos sanguíneos (en algunos invertebrados el sistema circulatorio es abierto, es decir, la sangre circula sin canalizar, por lagunas del cuerpo.

Peces: poseen un aparato circulatorio **cerrado** y **sencillo** (hay un solo circuito). Ver figuras de la diapositiva siguiente.

Anfibios: aparato circulatorio **cerrado**, **doble** (hay dos circuitos, uno para oxigenar la sangre y otro para el resto del organismo) e **incompleto** (hay mezcla de sangre oxígenada y carbónica a nivel del corazón (órgano propulsor de la sangre), que tiene dos aurículas, pero solo un ventrículo.

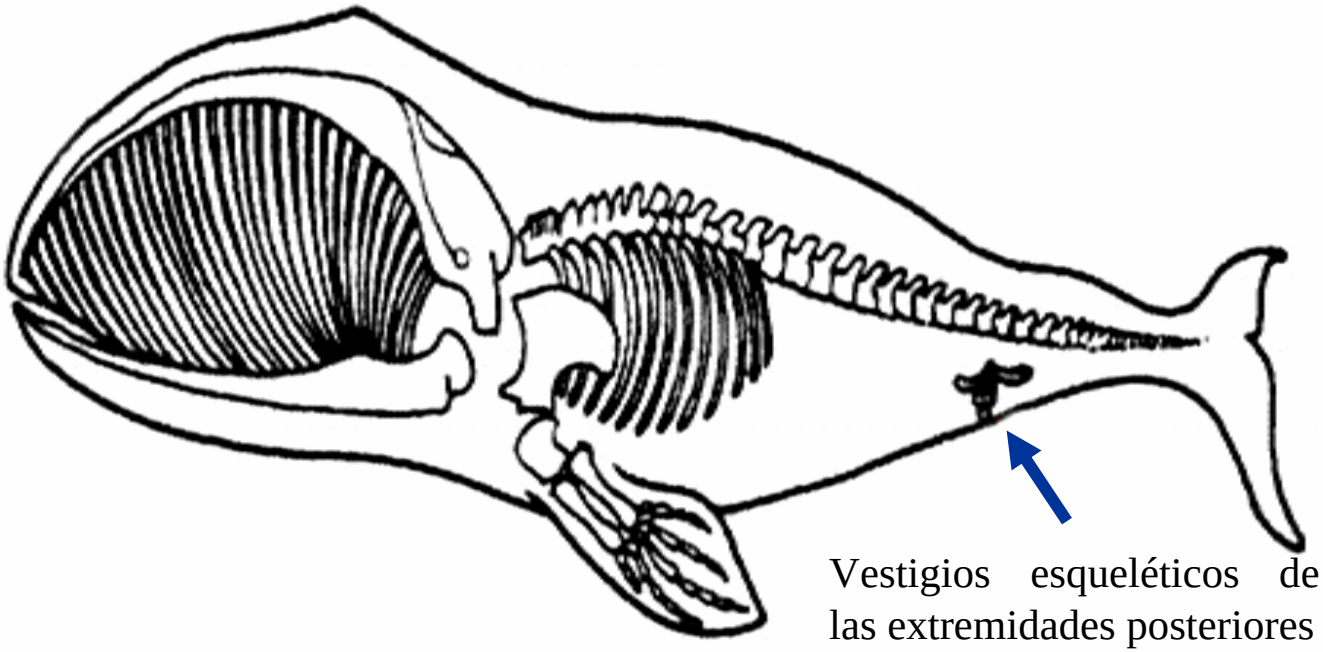
Reptiles: igual que en los anfibios, es decir, aparato circulatorio **cerrado**, **doble** e **incompleto**, pero ya aparece un tabique intraventricular que es completo en los reptiles cocodrilianos, lo que hace que la circulación llegue a ser completa (sin mezclas entre la sangre oxígenada y carbónica).

Reptiles cocodrilianos, aves y mamíferos: circulación **cerrada**, **doble** y **completa**, con un corazón con dos aurículas y dos ventrículos y total separación entre sangre oxigenada y carbónica.


Peces
Anfibios
Reptiles
Aves y mamíferos
Branquias
V
A
Cuerpo
Pulmones
A
A
V
Cuerpo
Pulmones
A
A
V
Cuerpo
Pulmones
A
A
V
V
Cuerpo
Sangre oxigenada.
Sangre carbónica.
Mezcla de sangre oxigenada y carbónica.

Otra prueba morfológica y anatómica de la evolución surge de la observación de **órganos vestigiales**, órganos aparentemente sin función, pero que se interpretan como restos de antiguos órganos que cumplieron su función en antepasados de ese animal y que se han ido atrofiando a medida que se producían los cambios evolutivos.

Un ejemplo son los restos de las **extremidades posteriores en el esqueleto de las ballenas**, lo que parece indicar que sus antepasados poseían las cuatro extremidades funcionales (eran cuadrúpedos).



3. Pruebas biogeográficas

Se pueden observar que determinados seres vivos actuales, en este caso **aves corredoras de gran tamaño**, poseen similitudes en la organización corporal, modo de vida etc…que nos hablan de un pasado común y que ahn surjido a partir de otras aves que se fueron diferenciando al quedar aisladas geográficamente. Ejemplos: el **avestruz de África**, **el ñandú de Sudamérica** **y** **el casuario y el emú de Australia**.

Las coincidencias y diferencias entre estas aves se explican a la luz de las teoría evolutivas y de la Tectónica de placas.

Según estas teorías, hace 100 millones de años el antepasado de estas aves vivía en todo el **continente de Gondwana**. En el continente Nortatlántico o Laurasia no existía esta ave, por eso en la actualidad no existen aves corredoras autóctonas en América del Norte, Europa o Asia.

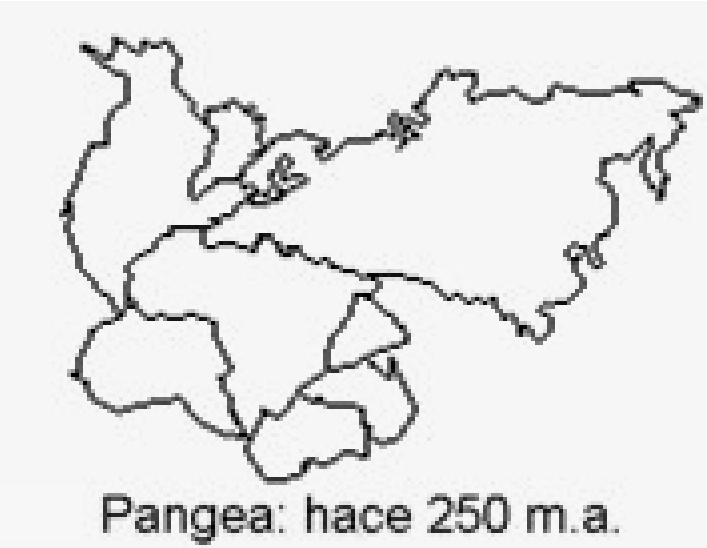
Cuando se fragmentó el continente de Gondwana, diferentes poblaciones de estas aves antecesoras quedaron aisladas evolucionando hasta dar las diferentes especies de hoy en día.

Ñandú americano

Avestruz africano

Emú

Casuario



Pangea: hace 250 m.a.

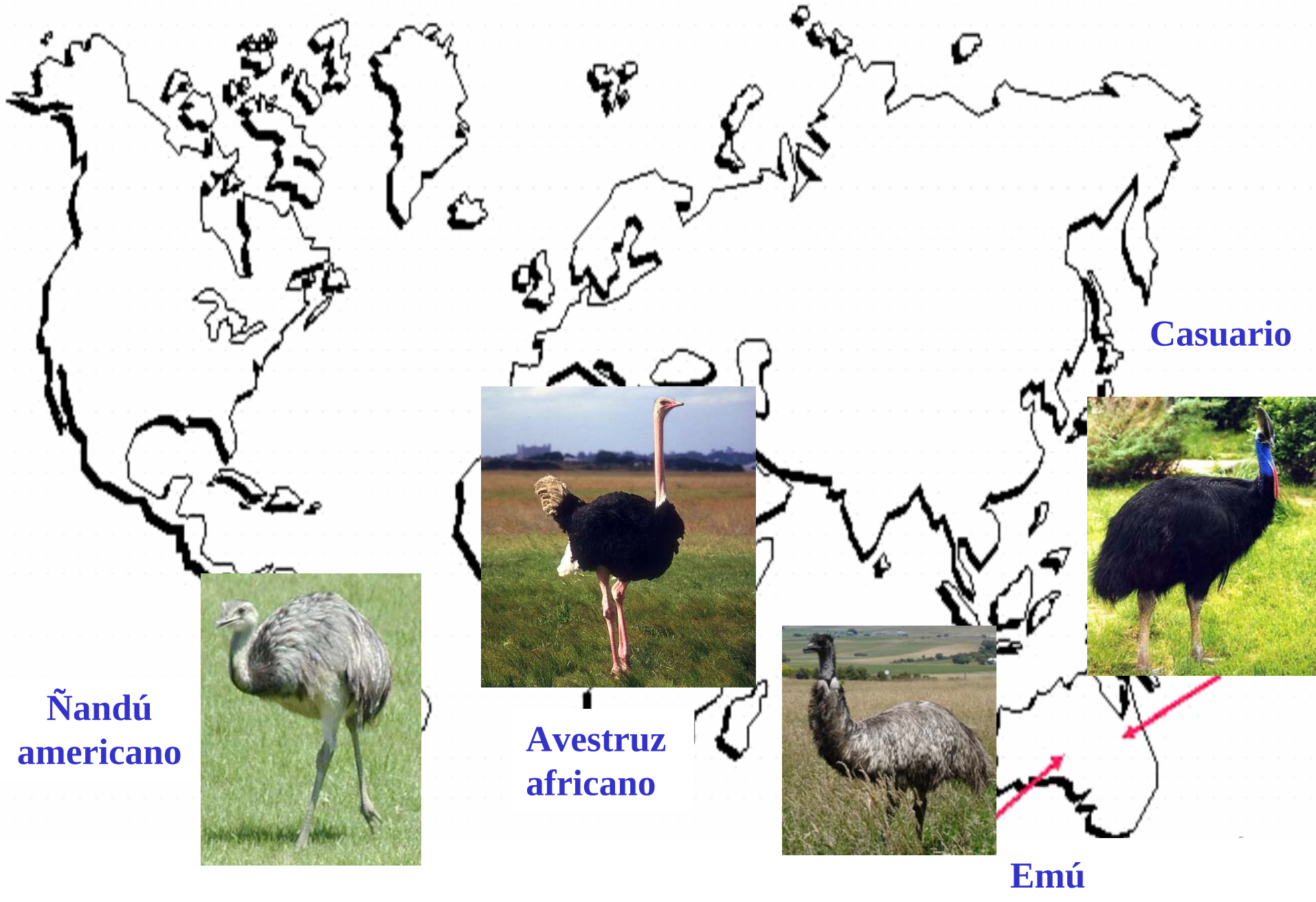
Laurasia y Gondwana:
hace 100 m.a.

Situación actual de la distribución de las grandes aves corredoras.

Ñandú de Sudamérica ///

Avestruz de África ///

Casuario y Emú de Australia. ///



Ñandú americano

Avestruz africano

Casuario

Emú

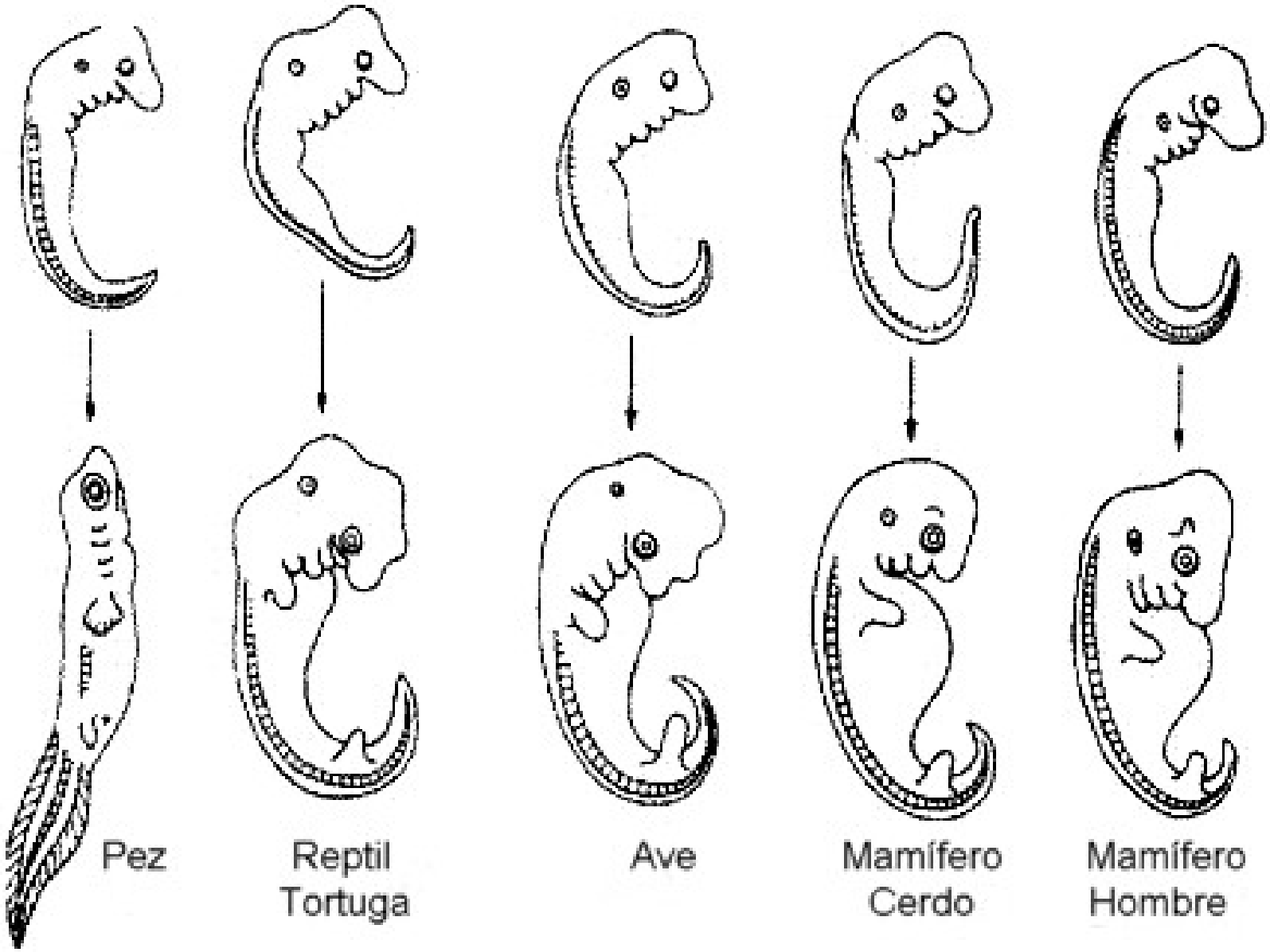
4. Pruebas embriológicas

Mediante el estudio del desarrollo embrionario de los seres vivos, especialmente de los vertebrados, se observa que tienen mayor similitud en el desarrollo embrionario las especies próximas evolutivamente que aquellas más alejadas. Por otra parte en las primeras etapas del desarrollo embrionario se producen coincidencias que hacen pensar en la existencia de antepasados comunes.

Una especie muy evolucionada desde el punto de vista evolutivo, como el hombre pasa por fases embrionarias que recuerdan a las de organismos menos evolucionados. Esto se resume en la frase **"La ontogenia recapitula la filogenia".**

Ontogenia (del griego, *ontos*, ser vivo y *génesis*, formación). Es el desarrollo embrionario de un ser vivo.

Filogenia (del griego, *phylum*, raza y *génesis*, formación). Parte de la biología que se ocupa de las relaciones de parentesco entre los distintos grupos de seres vivos. Origen y desarrollo evolutivo de las especies, y en general, de las estirpes de seres vivos.


Pez
Reptil
Tortuga
Ave
Mamífero
Cerdo
Mamífero
Hombre

5. Pruebas bioquímicas

Del estudio de las **moléculas** que componen los seres vivos, especialmente del estudio del **DNA y proteínas**, se deducen similitudes y diferencias entre distintas especies. Las coincidencias son tanto mayores cuanto mayor es el parentesco evolutivo entre dos especies.

Si comparamos las diferencias en el **DNA** entre primates obtenemos los siguientes resultados:

	Diferencias en el DNA (%)
Hombre-hombre	0,02
Hombre-chimpancé	1,2
Hombre-gorila	1,4
Hombre-orangután	2,4
Gorila-chimpancé	1,2
Gorila-orangután	2,4
Chimpancé-orangután	1,8

En cuanto a las **proteínas** también se encuentran similitudes y diferencias entre distintas especies que nos informan de su parentesco evolutivo.

Si tenemos **suero sanguíneo humano** (plasma sin fibrinógeno, proteína que interviene en la coagulación de la sangre) y se lo **inyectamos a un conejo**, éste (el conejo) fabrica anticuerpos contra las diferentes proteínas humanas.

Si estos anticuerpos fabricados contra proteínas humanas se **mezclan** ahora en un tubo de ensayo **con plasma extraído de diferentes animales**, los anticuerpos van a reaccionar en mayor o menor medida dependiendo del parentesco evolutivo. Cuanto **mayor es el porcentaje de aglutinación** (reacción entre los anticuerpos del conejo y las proteínas sanguíneas de estos animales que actúan como antígenos) **mayor será la coincidencia inmunológica entre ese animal y el hombre**. Esto revelaría un mayor parentesco evolutivo con estas especies que con otras en las que la aglutinación es menor.

Nota: **Sangre**: células sanguíneas más plasma.

Plasma: suero más proteínas, excluyendo las células.

Suero: plasma sin fibrinógeno, proteína que interviene en la coagulación de la sangre.

Plasma de diferentes animales (+ anticuerpos frente a proteínas huma	% de aglutinación
Hombre	100
Chimpancé	85
Gorila	54
Orangután	42
Babuino	49
Buey	10
Ciervo	7
Caballo	2
Marsupial	0

¿CÓMO SE ORIGINAN LAS NUEVAS ESPECIES?

Primero es necesario recordar el concepto de especie. La vida está muy diversificada, por lo que el hombre trata de clasificar a los diferentes seres vivos para su estudio y establece para ello diversas categorías taxonómicas. De todas ellas la única que existe de forma natural es la especie.

- Se define la **especie como un conjunto de individuos que se parecen entre sí, que se cruzan libremente, que tienen descendencia y que su descendencia es fértil**.

En muchas ocasiones no es posible comprobar si existe una barrera de fertilidad y las especies se establecen por caracteres morfológicos. Algún día, cuando sea posible conocer (por técnica y desde el punto de vista económico) los genomas completos de los distintos individuos se definirá la especie como algo así: "Se considera que dos individuos pertenecen a una misma especie si comparten un 99,98 % de su genoma".

Las especies se nombran con la **Nomenclatura binaria o binomial** (o nomenclatura linneana, fue ideada por Linneo). Según esta nomenclatura, cada especie se denomina con 2 nombres latinizados; uno genérico (en mayúscula) y otro específico (en minúscula), seguidos de la inicial o iniciales del primer autor que describió la especie. Este nombre científico se resalta siempre escribiéndolo en cursiva, negrita o subrayado.

Por ejemplo ***Canis lupus*** L. Lobo.

Fagus sylvatica **L.** Haya

Erinacea anthyllis Link (una leguminosa de la alta montaña mediterránea, en Navarra se encuentra en la Sierra de Leyre).

Además de la especie existen otras categorías taxonómicas:

- **Género**: agrupa a especies afines.
- **Familia**: agrupa a géneros afines.
- **Orden**: agrupa a familias afines.
- **Clase**: agrupa a ordenes afines.
- ***Phylum*** (zoología) o **división** (botánica): agrupa clases afines.
- **Reino**: agrupa a *phyla* o divisiones.

Los cambios evolutivos se inician con la aparición en principio de **distintas variedades** dentro de una misma especie. Para ello juegan un papel muy importante, como ya sabemos, la **mutación** y la **selección natural**.

Es conocido el ejemplo de la mariposa ***Biston betularia***. Es una mariposa que constituye parte de la dieta de muchos pájaros insectívoros. Hasta 1850 en Inglaterra solo se conocía la variedad de alas y cuerpo claros, de color similar a la corteza de los árboles sobre los que suelo vivir y posarse. A partir de 1850 y coincidiendo con el **desarrollo industrial** y la proliferación de fábricas que con sus emisiones oscurecían y manchaban el ambiente **empezó a ser más abundante la variedad oscura,** sobre todo en estas zonas industriales, en las zonas agrícolas y no contaminadas seguía siendo habitual la variedad clara.

El predominio de una variedad u otra depende **de su capacidad para camuflarse en el ambiente y no ser advertida por los pájaros insectívoros**, que de esta manera no las comen y pueden reproducirse y perpetuarse.

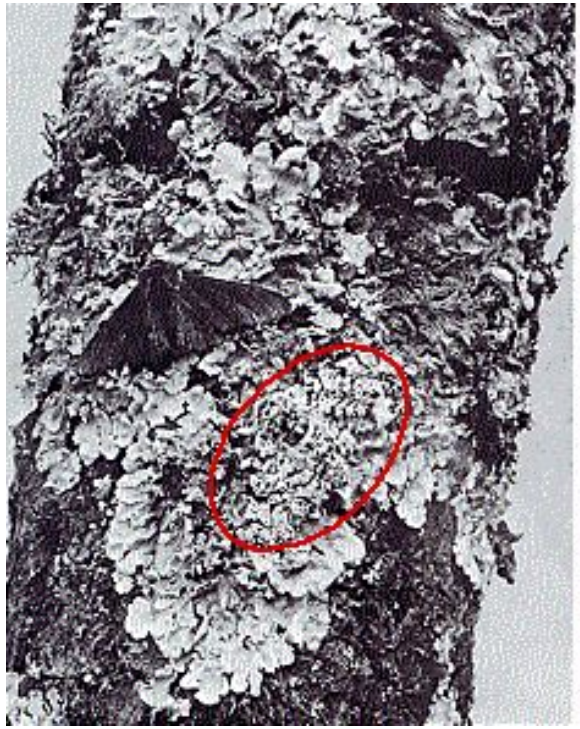
Cuando el ambiente **no está contaminado**, la corteza de los árboles suele ser de color **claro,** de forma natura o por los líquenes epífitos que viven sobre ellas. Por ello la **variedad** que mejor está adaptada y que más sobrevive es la **clara (variedad moteada).** Si aparecen ejemplares oscuros por mutación, las aves los detectan fácilmente y se los comen sin que dejen descendientes.

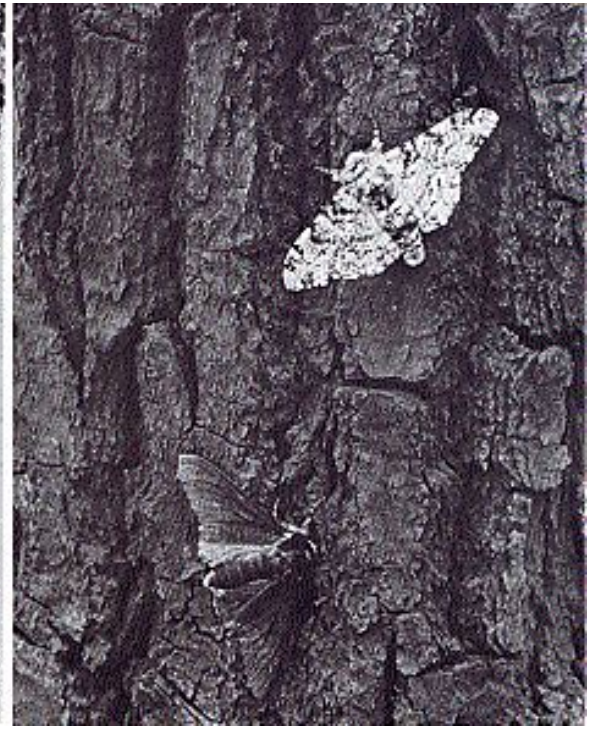
Cuando el ambiente está **contaminado**, se depositan residuos industriales de color **oscuro** sobre las cortezas de los árboles y, además los líquenes mueren, por lo que ahora son los ejemplares claros los peor adaptados y los que sufren la depredación. Cada vez habrá más ejemplares **oscuros (variedad carbonaria)** porque se reproducirán más.

Biston betularia:
variedades claras y oscuras

Tronco de árbol
no contaminado y
con líquenes

Tronco de árbol
contaminado y
sin líquenes



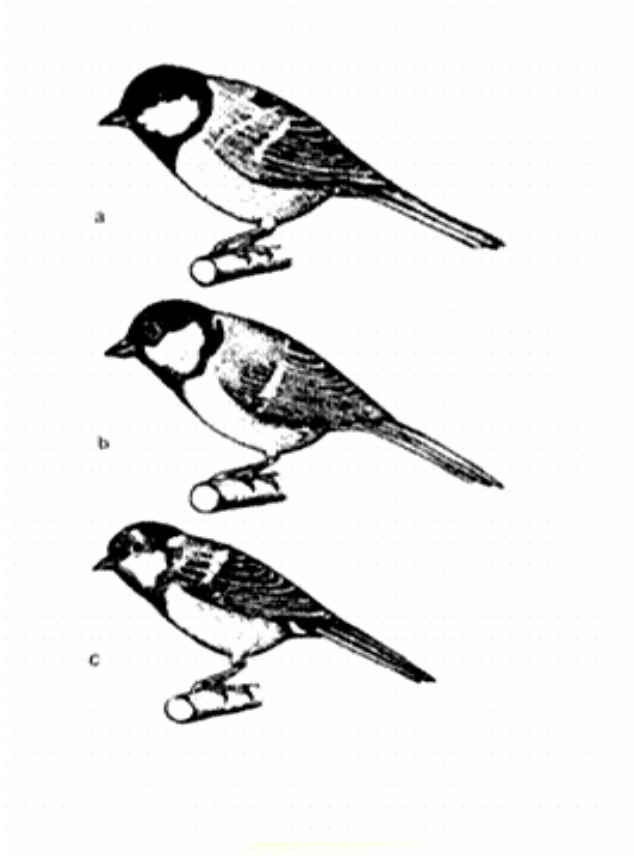


Speckled (*typica*) and melanic (*carbonaria*) pepper moths, *Biston betularia*, on lichen-encrusted (**left**) and poluted (**right**) tree trunks.

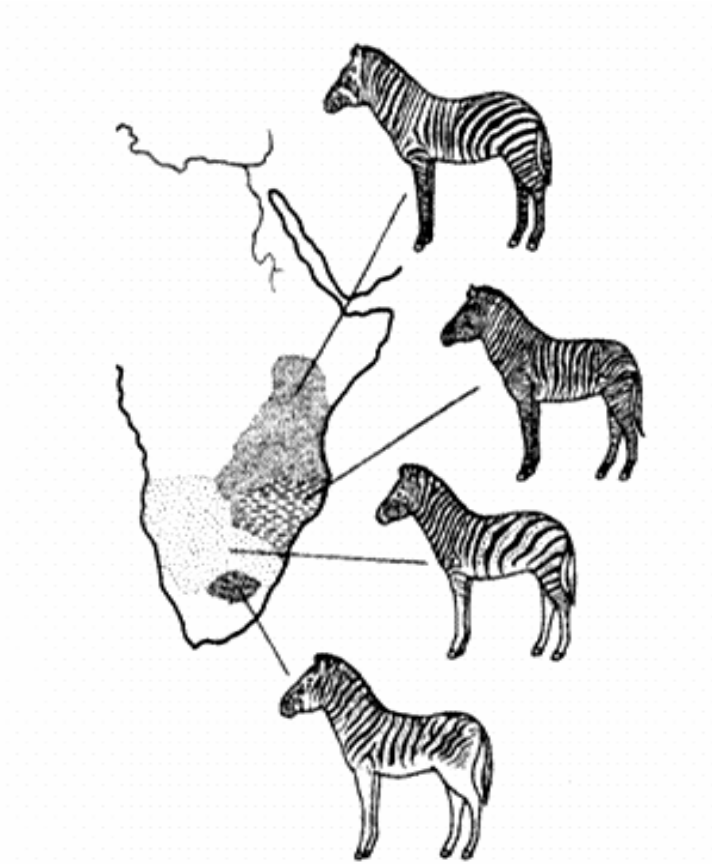
http://bill.srnr.arizona.edu/classes/182/Melanism/Kettlewell.htm

Forma moteada (típica) y melánica (carbonaria) de las polillas de la pimienta, *Biston betularia*, sobre troncos de árbol con líquenes incrustados (izquierda) y contaminados (derecha).

Luego pueden aparecer diferentes **razas**. Aparecen poblaciones de una misma especies con variaciones que las diferencian. Esas variaciones pueden haberse producido por alejamiento entre las distintas poblaciones o por otras causas. Pero los individuos, a pesar de estas variaciones en razas siguen siendo de la misma especie, porque no existe una barrera reproductiva entre ellos.



Razas del carbonero común:
a. europea, b. surasiática,
c. asiática oriental



Razas geográficas de cebras africanas

Para que aparezcan nuevas especies es necesario que, además de producirse cambios genéticos en las poblaciones que originen otras nuevas poblaciones con individuos diferentes, se produzca un **aislamiento** entre esas poblaciones que impida que las nuevas características producidas por mutación pasen a otras poblaciones.

La **especiación (formación de nuevas especies)** puede ser **alopátrica** o **simpátrica**.

Especiación alopátrica (en otro lugar): las distintas poblaciones quedan aisladas por **barreras geográficas** (mares, ríos, desiertos etc). Es una forma muy frecuente de especiación. Es la razón por la cual las Islas (por ej. Las Galápagos), presenta una fauna y una flora muy diferente a la de los continentes.

Especiación simpátrica (en el mismo lugar): los individuos se mantienen en el mismo territorio pero las variaciones genéticas producidas por mutación pueden causar una **incompatibilidad reproductiva** que originará con el tiempo una nueva especie. En realidad cuando aparece esta barrera reproductiva entre dos poblaciones ya se han creado una especie diferentes a partir de cada una de ellas.

Especiación alopátrica.
Aislamiento geográfico.

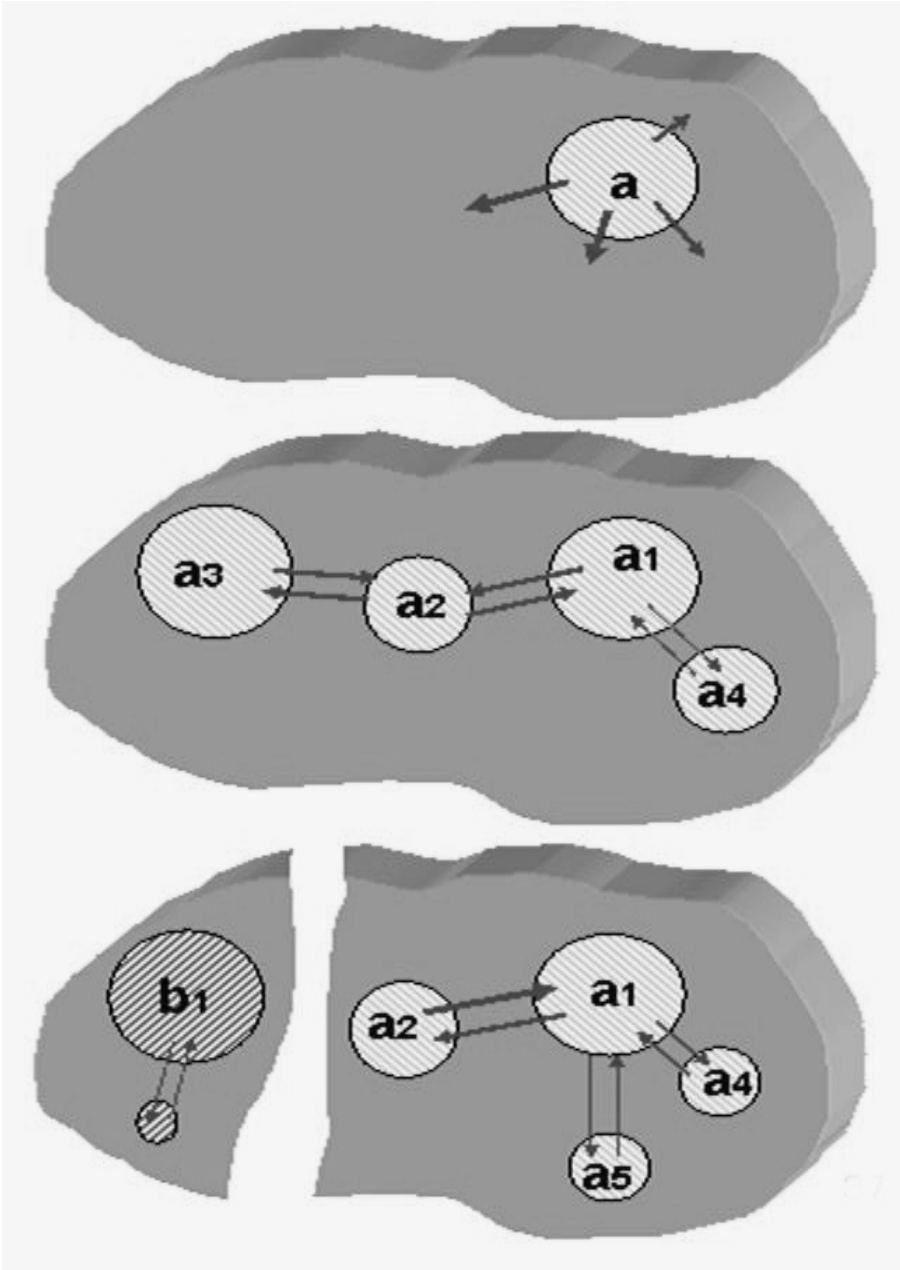
Zonas de aislamiento geográfico en las que es posible que se produzca especiación

Especiación simpátrica.
Aislamiento reproductivo.

Zonas no aisladas entre si que pueden dar lugar a distintas variedades o razas, pero que no originaran nuevas especies a no ser que aparezca una barrera reproductiva.

Especiación alopátrica.
Aislamiento geográfico.

1. Una población original (a) se dispersa por un determinado territorio.

2. En los nuevos territorios se producen cambios por mutación genética que dan lugar a nuevas variedades o razas (a_1, a_2, a_3, a_4).

3. Una de esas poblaciones, perteneciente a una determinada raza, en este caso a_3, puede quedar aislada por una **barrera geográfica**. Con el tiempo se producen más mutaciones que pueden dar lugar a que esa raza presente un aislamiento reproductivo con las otras y de origen a una nueva especie (b_1).