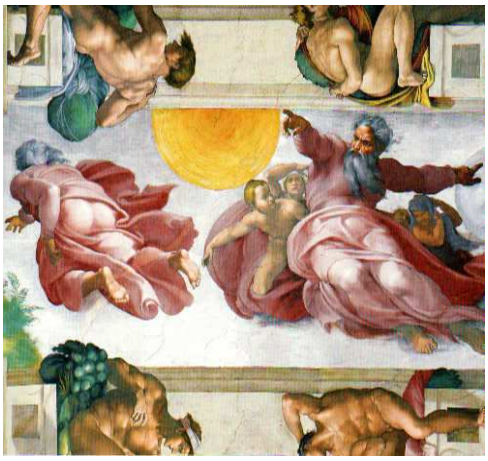
3 L'EVOLUCIÓ

1. LES TEORIES FIXISTES: CREACIONISME I CATASTROFISME



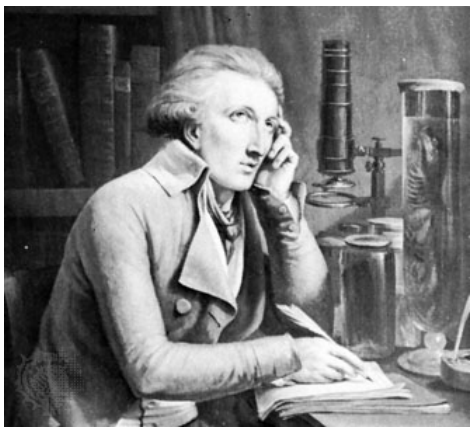
Fins al segle XVIII, la civilització occidental creia totalment en la creació descrita a la Bíblia. Es creia, doncs, que totes les espècies van ser creades per Déu tal i com ara les coneixem i que, per tant, no han experimentat canvis al llarg del temps, segueixen invariables (fixes). Aquesta teoria-creença s'anomena **creacionisme**, i va ser acceptada per la immensa majoria de científics fins ben entrat el segle XVIII i encara avui segueix molt viva en algunes cultures, com per exemple, la nord-americana.

Totes les fonts de coneixement en aquella època es trobaven a la Bíblia; d'aquesta manera, per exemple, l'arquebisbe Ussher, un especialista de les Sagrades Escriptures, va calcular l'edat de la Terra a partir de la informació del llibre del Gènesi: la Terra va ser creada l'any 4.004 aC, el 25 d'octubre a les nou del matí!

Durant el segle XVIII hi va haver un gran desenvolupament de la geologia, i particularment de l'estudi dels fòssils. Sempre s'havien trobat pedres amb formes d'organismes, però es pensava que eren capricis de la natura. Més endavant, veient la gran similitud amb alguns organismes vius, es van considerar com a restes d'éssers vius.

El naturalista francès **George Cuvier** (1769-1832) es va interessar pels fòssils. Els seus estudis el van fer considerar que la gran majoria d'organismes fossilitzats no existeixen en l'actualitat i que, per tant, malgrat que els éssers vius romanen immutables des de la creació, les catàstrofes naturals en la història de la Terra (terratrèmols, inundacions, etc.) han provocat la desaparició de moltes espècies. Segons Cuvier, després d'una catàstrofe desapareixien una gran quantitat d'espècies, però n'apareixien de noves, com a conseqüència d'un acte creador. Aquesta teoria se la coneix com el **catastrofisme**.





Els defensors de la teoria de Cuvier van calcular que, en la història de la Terra, hi havien hagut entre 50 i 100 creacions especials, posteriors a les catàstrofes.

Tot i que el fixisme, en el sentit més pur, nega que mai res no ha estat diferent de com és ara, els defensors del catastrofisme van considerar que les dues teories eren compatibles.

2. LES TEORIES EVOLUCIONISTES

2.1. EL TRANSFORMISME

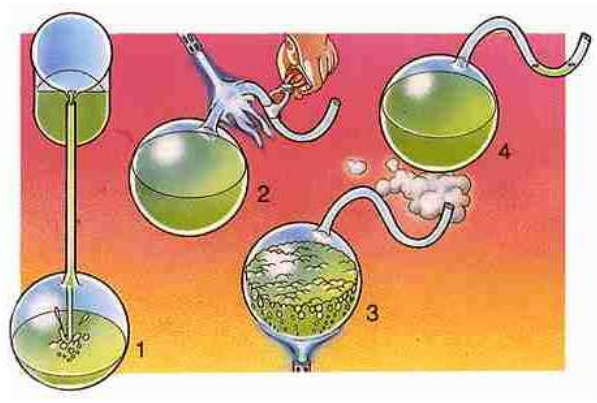
Durant el segle XVIII, en convivència amb el fixisme, es van alçar les primeres veus a favor de l'evolucionisme. El naturalista francès Georges-Louis Leclerc, comte de **Buffon** (1707-1788), creia en la generació espontània, com molts dels seus contemporanis. També pensava que la natura era capaç de construir i encadenar processos ella sola. Creia que les espècies semblants podien haver-se originat per transformació, a partir d'un avantpassat comú més perfecte, producte de la creació.

2.2. LA GENERACIÓ ESPONTÀNIA

El científic francès **Louis Pasteur** (1822-1895) va duu a terme uns experiments que van demostrar la falsedat de les teories sobre la **generació espontània** de la vida.



Des de feia força temps, es pensava que determinades formes senzilles de vida podien sorgir espontàniament de la matèria inert, del no-res. Per exemple, si es deixava un tros de carn a l'aire lliure, al cap de poc temps naixien uns cucs diminuts. Moltes persones pensaven que aquells cucs havien aparegut d'una manera espontània.



Pasteur va preparar un experiment que actualment es considera un clàssic de la biologia. Va agafar dos matrassos i els va omplir d'aigua. Va fer bullir l'aigua de tots dos fins a assegurar-se que qualsevol microbi existent estigués mort, i els va deixar en un mateix prestatge, però només en va tapar un.

Al cap d'un temps, el científic va observar que, mentre que a l'aigua del matràs obert hi havia microbis, a l'altre matràs no s'havia desenvolupat cap forma de vida. Pasteur va arribar a la conclusió que els microbis del matràs obert provenien d'altres microbis, presents a l'aire, que s'havien introduït al matràs i n'havien contaminat l'aigua.

L'investigador va desmuntar amb aquesta afirmació l'antiga creença de la generació espontània. Avui resulta fàcil afirmar que l'aparició de cucs a la carn és deguda al fet que una mosca que volava pels voltants s'hi va posar i hi va pondre els ous. **Cap ésser viu no prové del no-res, sinó que tots provenen d'altres éssers vius**.

2.3. EL LAMARCKISME: L'HERÈNCIA DELS CARÀCTERS ADQUIRITS



L'any 1809, el zoòleg francès Jean-Baptiste Monet, cavaller de **Lamarck** (1744-1829), fou el primer naturalista que, oposant-se a la idea de la invariabilitat de les espècies, va desenvolupar una teoria general de l'evolució que n'explicava els possibles mecanismes. Va mantenir l'opinió que la naturalesa havia produït gradualment els diversos grups d'éssers vius, des dels més simples als més complexos. Les premisses en què va basar la seva teoria d'evolució són les següents:

- **Ús i desús dels òrgans.** Durant la vida d'un organisme es produeixen canvis físics a causa de la seva activitat. Si un òrgan s'utilitza molt, es desenvolupa més. És el cas d'un jugador professional de futbol, que després d'uns quants anys de jugar, arriba a tenir unes cames amb un gran desenvolupament muscular. De forma complementària, si un òrgan no es fa servir, s'afebleix, i fins i tot pot acabar per desaparèixer.

- **La funció crea l'òrgan.** En el cas que els canvis ambientals originen necessitats noves, en un organisme es poden desenvolupar, com a resposta, òrgans també nous.

- **Herència dels caràcters adquirits.** Els descendents hereten les característiques adquirides durant la vida dels seus progenitors, de manera que tots aquests trets adquirits passen a la generació següent, produint l'evolució de l'espècie.

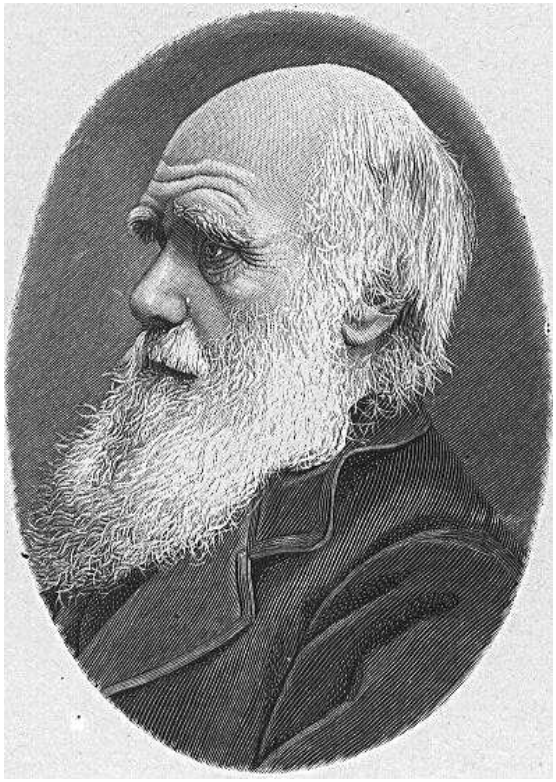
Lamarck proposà diversos exemples. El més conegut és el de les girafes, que segons ell tenen el coll molt llarg, perquè generació rere generació les girafes han anat estirant el coll per tal d'arribar a les fulles dels arbres dels quals s'alimenten.

Segons Lamarck, els organismes més senzills s'originen per generació espontània i tots els organismes tenen un impuls interior que els fa canviar per millorar cap a formes més perfectes. D'aquesta manera, els organismes senzills, apareguts per generació espontània, poden arribar a formar, després de moltes generacions, una planta o un animal molt més complex.

Aquestes idees tan imaginatives van assolir una gran difusió i van tenir una influència enorme en tot el pensament biològic. No obstant això, si bé es tracta d'una teoria atractiva i fàcil d'acceptar intuïtivament, és **TOTALMENT FALSA**. Tots els intents que s'han fet per demostrar l'herència dels caràcters adquirits, punt clau de la teoria, han fracassat rotundament.

Avui sabem que les respostes d'adaptació dels organismes al medi ambient no es poden enregistrar, de cap manera, als gens i, per tant, **no es transmeten a la descendència**. També sabem que **la necessitat no crea l'òrgan**.

2.4. LA TEORIA DE L'EVOLUCIÓ DE DARWIN



El naturalista anglès Charles Robert **Darwin** (1809-1882) és considerat el pare de l'actual concepció de l'evolució.

Quan tenia 21 anys, Darwin va deixar els seus estudis de teologia i es va embarcar com a naturalista en el vaixell H.M.S. Beagle, que va salpar l'any 1831 amb la missió de cartografiar diverses illes i zones costaneres de l'hemisferi sud, principalment a l'Amèrica del Sud i a l'Àfrica. El viatge va durar 5 anys i va permetre a Darwin recollir un gran nombre de dades que, més endavant, li van ajudar a elaborar la seva teoria evolutiva.

Les observacions i dades recollides van fer pensar a Darwin que totes les espècies s'originaven a partir de la **modificació d'altres espècies existents**.

Les aportacions de dos científics contemporanis de Darwin, Thomas Malthus i Charles Lyell, van ser fonamentals per a l'elaboració de la teoria de Darwin.

L'any 1858 Darwin va presentar els fonaments de la nova teoria evolutiva a Londres, conjuntament amb **Alfred Russell Wallace** (1823- 1913), un naturalista anglès, contemporani de Darwin, que havia arribat a conclusions similars. La presentació va tenir, però, poc ressò.

Un any més tard, Darwin va publicar *L'origen de les espècies*, un llibre on formulava i justificava amb exemples la innovadora teoria. Aquesta obra sí que va tenir molt ressò en la comunitat científica. Wallace també va continuar escrivint, però mai no se li va donar el reconeixement que va aconseguir Darwin, ja que Darwin va presentar més evidències en favor de la teoria.

Sintèticament, la teoria de Darwin-Wallace es fonamenta en els punts següents:

- **Les característiques s'hereten.** Els progenitors transmeten la majoria de les seves característiques als descendents.
- **A les poblacions hi ha variabilitat.** A qualsevol població d'organismes hi ha individus diversos, amb característiques prou diferents. Moltes d'aquestes característiques són heretables. Les diferències entre els individus d'una mateixa espècie són causades en gran part per la diversa informació hereditària que tenen els individus.
- **Hi ha un excés de descendents.** Els organismes tendeixen a tenir molta més descendència de la que poden mantenir. El nombre de naixements en una generació determinada és molt més elevat que no pas el nombre d'individus de la població.
- **La selecció natural actua.** Cada individu té unes determinades característiques que, segons l'ambient on visqui, són més o menys favorables per poder sobreviure i reproduir-se. El procés de selecció natural fa que sobrevisquin i es reprodueixin els individus amb característiques més favorables. Com que algunes d'aquestes característiques són heretables, a la propera generació es produiran amb més freqüència.
- **L'origen de les espècies.** Després de molt de temps, la selecció natural pot provocar que una població acumuli força canvis, suficients per determinar l'aparició d'una nova espècie.

D'aquesta manera, la suma d'avantatges assolits per la selecció natural, generació rere generació, dóna lloc a les diverses adaptacions dels organismes al seu medi. Tot això té sentit si les variacions són hereditàries. Aquesta va ser la dificultat més gran amb què va topar la teoria de la selecció natural, ja que en aquell temps es desconeixia el mecanisme de l'herència biològica (genètica mendeliana, cromosomes, gens, ADN...).

Les crítiques

La teoria de Darwin-Wallace rebé diverses crítiques dels científics contemporanis, entre les que destaquen les tres que ara exposarem.

- **Falta d'explicació de l'origen de la variació:** Darwin no sabia quins eren els mecanismes que provocaven l'aparició de noves característiques en la població, necessàries perquè hi hagués una variació sobre la que pogués actuar la selecció natural. A més, com hem dit abans, a l'època de Darwin encara no es coneixien els mecanismes de transmissió de l'herència que, més endavant, descriví Gregor Mendel. Es creia que en els fills es barrejava l'herència rebuda dels pares. Això feia pensar que, si apareixia una nova característica més favorable, aviat desapareixeria, ja que s'aniria barrejant amb la informació prèviament existent a la població.

- **Manca d'esglaons evolutius:** Molts contemporanis de Darwin deien que, si totes les espècies provenen d'espècies anteriors, hi havia d'haver moltes més formes intermèdies fòssils que les que s'havien trobat fins aleshores. Darwin replicà que el

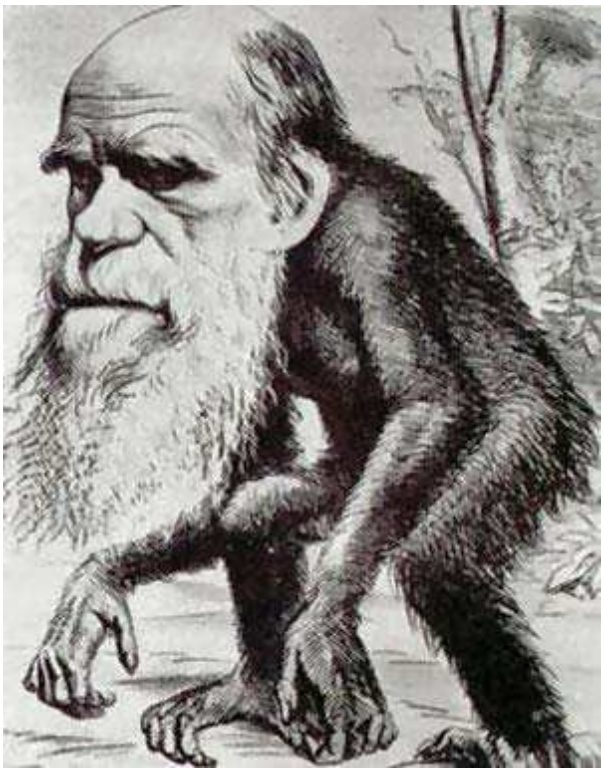
problema era que encara no s'havien fet prou estudis paleontològics. El temps li donà la raó, ja que des de la publicació dels seus treballs s'han trobat moltes formes de transició que no han fet sinó que confirmar la seva teoria de l'evolució.

- **L'aparició d'òrgans complexos:** L'aparició d'òrgans altament especialitzats fou una altra de les crítiques a Darwin. Com es podia arribar a formar un òrgan tan complex com, per exemple, un ull? De quina forma es podien anar seleccionant durant generacions i generacions petites característiques favorables que acabessin comportant la formació d'un ull? Darwin proposà com a resposta la **preadaptació**, un mecanisme segons el qual les primeres etapes de la formació d'un òrgan determinat podien ser explicades per una funció diferent a la qual finalment assoleix l'òrgan. Un exemple de preadaptació són les plomes dels ocells que, abans de servir per volar, podien haver servit com aïllant tèrmic.

La teoria de l'evolució de Darwin va suposar un pas transcendental en la cultura moderna. Darwin estén la noció que tots els fenòmens naturals poden ser explicats segons lleis naturals, sense necessitat d'imaginar agents sobrenaturals.

La publicació, el 1859 de *L'origen de les espècies*, va provocar un gran impacte en la societat del seu temps: la suposició de que l'home provenia dels micos era ofensiva i inacceptable.

El 1860 la *British association* va promoure un debat sobre l'evolució on van participar T. H. Huxley, "el bulldog de Darwin" i el bisbe Wilberforce "Sam el melós". El bisbe, amb brillant eloqüència es va dirigir cap a Huxley i li va preguntar si es considerava descendent de la mona per línia paterna o materna. Huxley li va respondre: "si hagués d'elegir per avantpassat entre un pobre mico i un home magníficament dotat que utilitza la seva intel·ligència per ridiculitzar una discussió científica i per desacreditar els que busquem humilment la veritat, no dubtaria en decidir-me pel mico".



Caricatura feta a Darwin per ridiculitzar-lo.

El 1925 a Dayton (Tennessee) es va jutjar John Scope, professor d'escola que ensenyava les teories darwinianes. Els membres del jurat popular, d'acord amb les lleis de Tennessee, van decidr que el professor era culpable i va haver de pagar 100 dòlars de multa.

El 1973 l'estat de Tennessee va promoure mesures restrictives contra l'ensenyament de l'evolució a les escoles primàries, fet que continua actualment en alguns estats.

Diferències entre el darwinisme i lamarckisme

Entens les diferències entre les teories de Darwin i Lamarck?

La gran diferència entre aquestes dues teories evolucionistes és que, mentre Lamarck creu que els descendents hereten les característiques adquirides durant la vida dels seus progenitors (de forma que tots aquests trets adquirits passen a la generació següent, produint l'evolució de l'espècie), Darwin diu que, a partir de la diversitat d'organismes existents, el procés de selecció natural fa que sobrevisquin i es reprodueixin els individus amb característiques més favorables.

Agafem, per exemple, el cas del gran desenvolupament del coll de les girafes.

Segons el lamarckisme, les girafes tenen el coll molt llarg perquè generació rere generació han anat estirant el coll per tal d'arribar a les fulles dels arbres dels quals s'alimenten. El fet d'estirar el coll provoca que s'allargui una mica. Aquest petit canvi es pot heretar, de manera que la descendència té ja de bon començament el coll una mica més llarg. Si això es va repetint durant moltes generacions, s'aconsegueix que el coll esdevingui molt llarg. AIXÒ NO ÉS CORRECTE.

Segons el darwinisme, originàriament hi havia girafes amb el coll més llarg i girafes amb el coll més curt (1). En èpoques de sequera o de molta competència pel menjar, les girafes amb el coll més llarg podien arribar a les fulles més altes i per tant tenien accés a més menjar. Les girafes amb el coll més curt no podien arribar a les fulles més altes i morien de fam (2). Això feia que només es poguessin reproduir les girafes de coll llarg i, per tant, a la següent generació les girafes tendissin a tenir el coll més llarg (3). Tanmateix, hi continuaria havent variabilitat de mides de coll, per la qual cosa el procés de selecció es podria continuar produint. Després de moltes generacions, la selecció natural aconseguiria que el coll de les girafes fos molt més llarg que no pas originàriament.



1 **2** **3**

Avui dia no hi ha cap dubte que l'evolució es produeix seguint els mecanismes descrits pel darwinisme.

3. LES PROVES DE L'EVOLUCIÓ

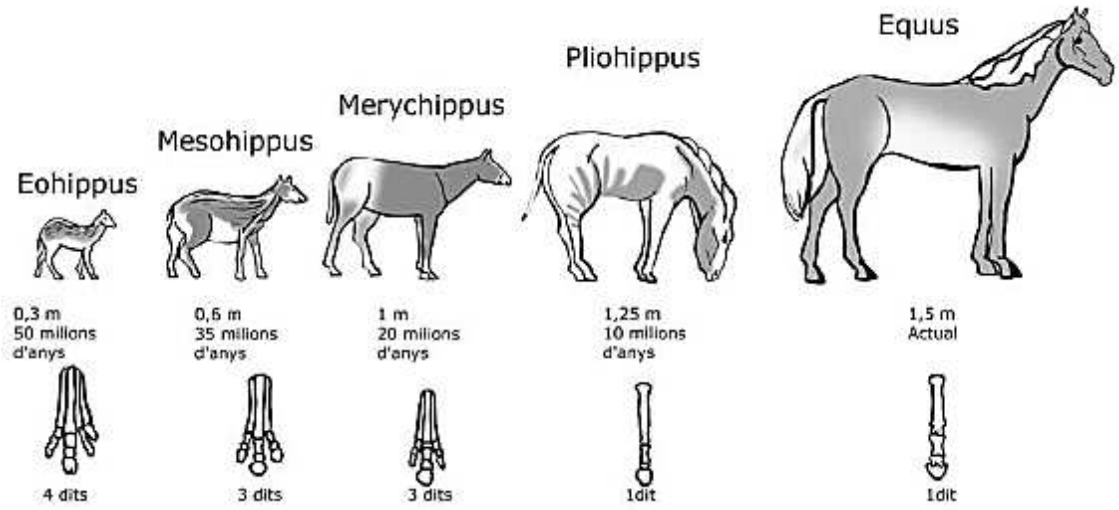
Hi ha una gran quantitat d'evidències que demostren que l'evolució biològica és un fet inqüestionable. Fem ara un repàs de les principals proves de l'evolució, des de les més clàssiques fins a les més modernes, fruit de la utilització de les noves tecnologies.

3.1. REGISTRE FÒSSIL

El registre fòssil (conjunt de fòssils) ha estat sempre el gran argument de l'evolució, ja que és un procés que intenta descriure els fets passats. El seu estudi ens aporta les dades següents:

- La majoria d'organismes fòssils presenten suficients semblances amb organismes vivents per poder-hi establir relacions de parentesc.

- Es poden establir cadenes evolutives entre diversos fòssils, amb progressius canvis morfològics, fins a arribar a relacionar-los amb una espècie actual. En general, com més antic és un fòssil, més diferent és de l'espècie actual amb el qual se'l relaciona.



- El descobriment progressiu de formes de transició o **baules perdudes** ha anat aportant indicis sobre les relacions evolutives entre els organismes. Un dels casos més espectaculars és el de l'*Archaeopteryx lithografica*, que constitueix la prova més coneguda sobre l'origen rèptil dels ocells, ja que presenta característiques intermèdies entre aquests dos grups.



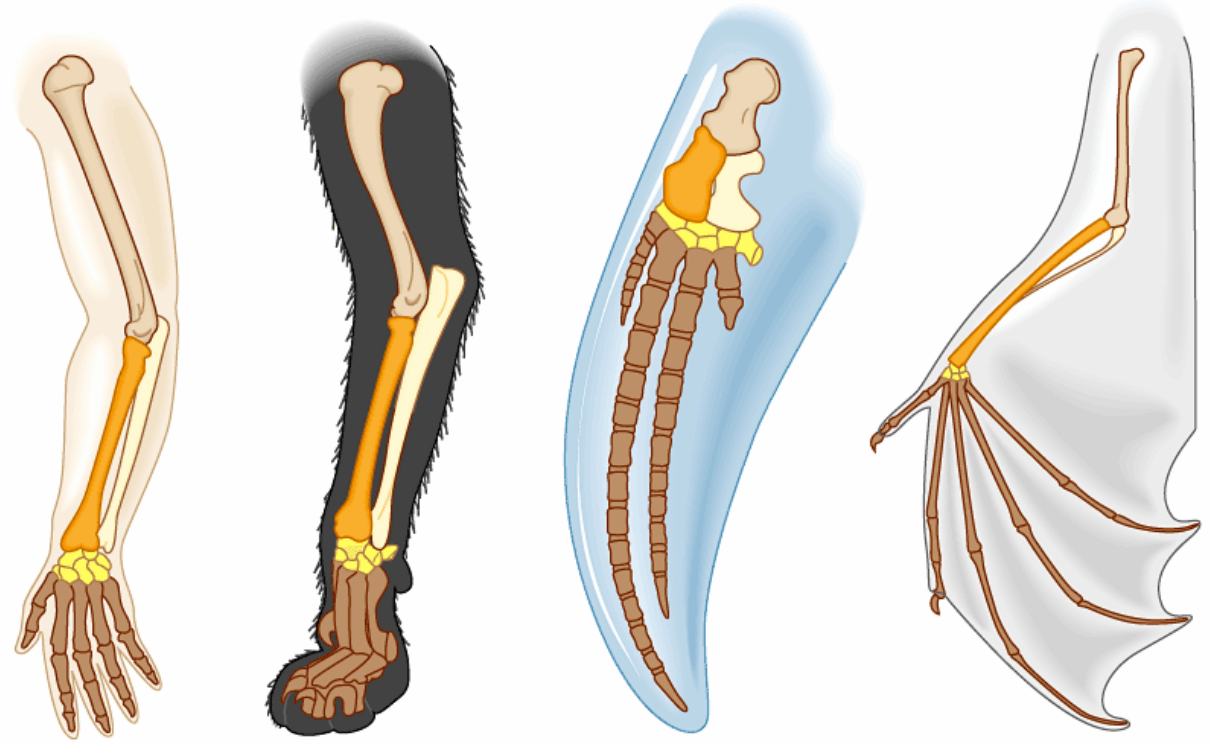


3.2. ANATOMIA COMPARADA

L'estudi comparat de la forma corporal i les estructures anatòmiques dels organismes permet trobar-hi similituds suficients per establir-hi relacions evolutives. En aquest sentit és important la presència d'estructures homòlogues i anàlogues, i d'òrgans vestigials.

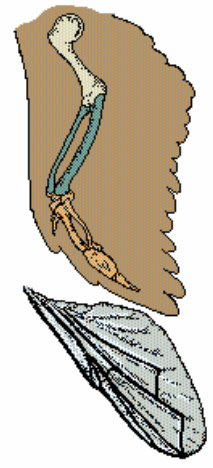
Estructures homòlogues: són les que tenen un origen estructural comú, malgrat que hagin pogut arribar a formes i funcions prou diferents.

Aquest és el cas de les **extremitats anteriors dels vertebrats** on s'hi pot reconèixer una estructura òssia similar, que fa pensar que tots els vertebrats provenen d'un avantpassat comú. Aquest cas és un exemple de **divergència evolutiva**.



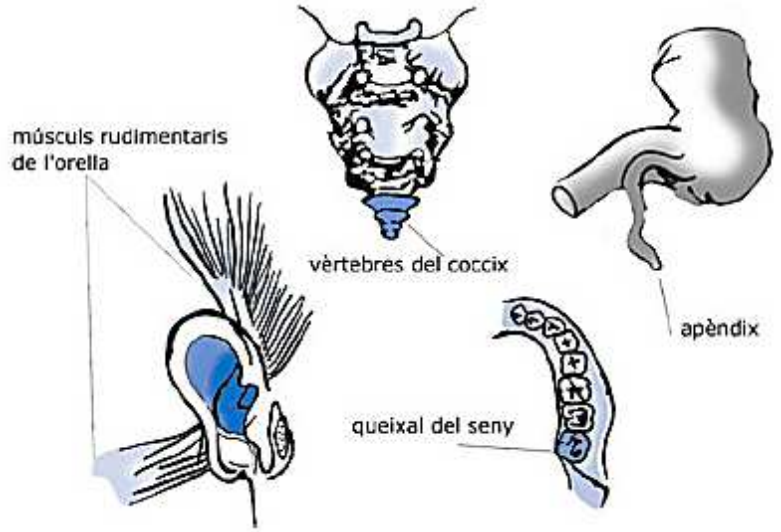
Braç humà **Pota de gat** **Aleta de balena** **Ala de rat-penat**

Estructures anàlogues: són les que, malgrat tenir formes i funcions similars, tenen un origen estructural diferent. Les estructures anàlogues no signifiquen cap lligam evolutiu.



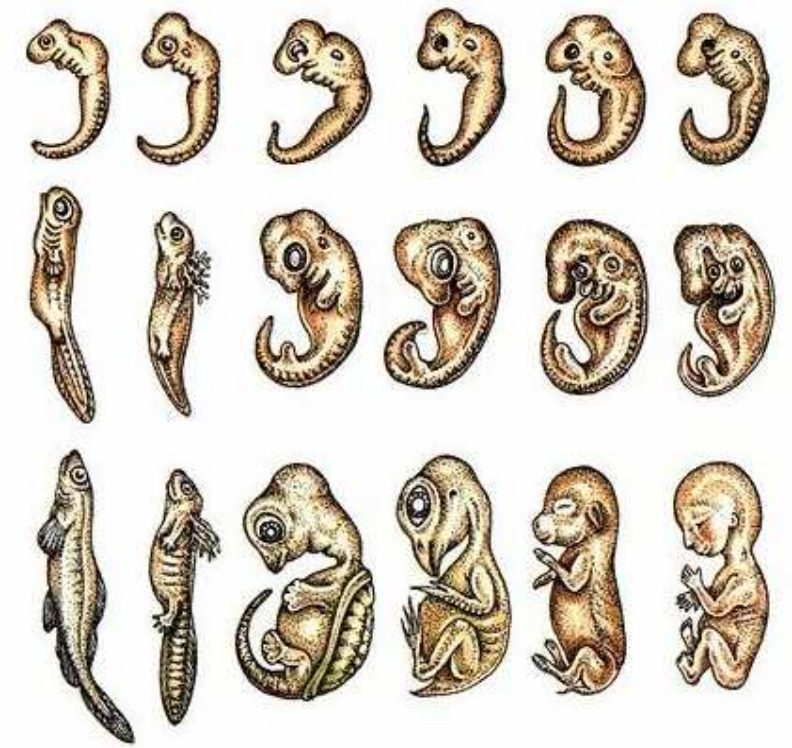
Per exemple, les **ales d'animals vertebrats** (ocells i rat-penats) són modificacions de les seves extremitats anteriors mentre que **les ales dels insectes** són expansions de la seva paret corporal (les seves ales no estan formades per ossos). Un altre exemple el tenim en **els ulls d'un pop i els d'un mamífer**. Aparentment semblen molt semblants, tot i ser estructures que sorgeixen embriològicament de teixits diferents. Aquests casos són exemples de **convergència evolutiva**.

<u>Òrgans vestigials</u>: són estructures rudimentàries, sovint sense cap funció clara, que tenen molts organismes. Ens donen informació sobre el seu passat evolutiu. Hi ha molts exemples: ales dels estruços, dents de les balenes; en humans, vèrtebres del coccix, apèndix dels humans, músculs de les orelles, queixals del seny, etc.



3.3. EMBRIOLOGIA COMPARADA

El desenvolupament embrionari presenta moltes similituds entre animals força diferents, sobretot durant les primeres fases. El grau de similitud del procés embriològic ens informa del grau de proximitat en el procés evolutiu. Com més similars són els desenvolupaments embriològics, més gran és el parentesc, és a dir, hi ha un avantpassat comú més proper.

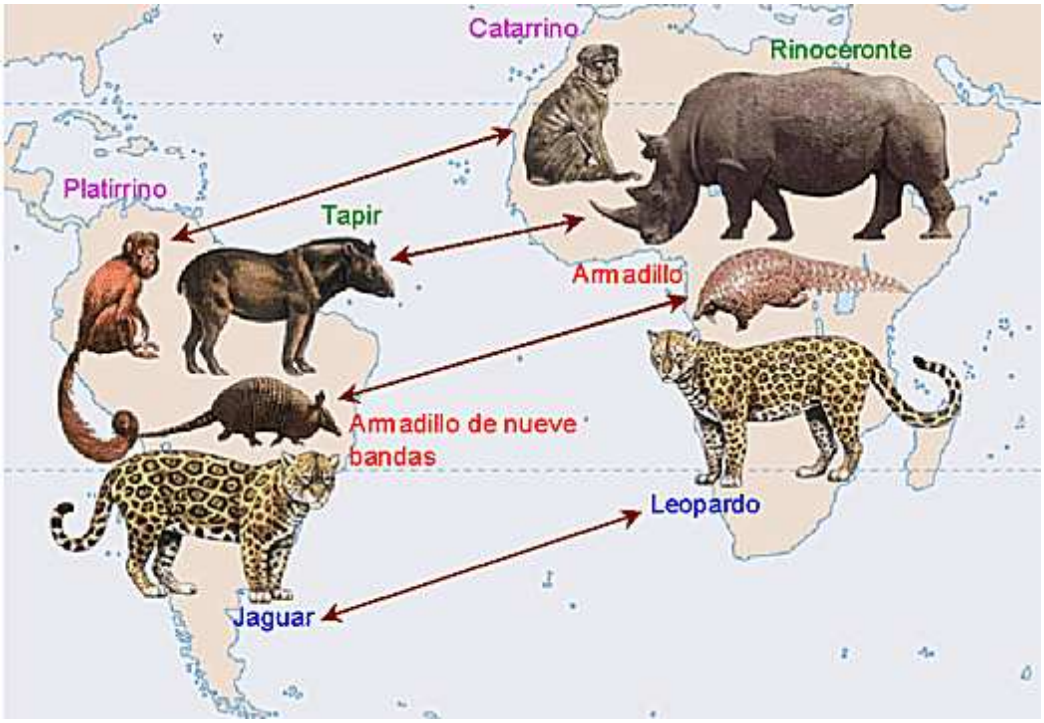


Peix Salamandra Tortuga Pollastre Conill Humà

3.4. DISTRIBUCIÓ GEOGRÀFICA

Els organismes més semblants, evolutivament més propers, acostumen a tenir una clara relació pel que fa a la seva distribució geogràfica. Aquest és el cas dels pinsans estudiats per Darwin a les Illes Galápagos, tots ells similars i tots ells habitants de zones geogràfiques properes.

L'existència de dues aus corredores molt similars, com l'estruç a l'Àfrica, i el nyandú a Amèrica del Sud, ens indica que en el passat aquestes dues zones geogràfiques estaven comunicades. A l'esquema següent es poden veure més exemples:



En el continent australià, que ha estat aïllat de la resta del món des de fa milions d'anys, hi ha una flora i una fauna peculiars. Hi viuen poblacions de *mamífers monotremes*, com l'ornitorinc i el equidna, i de *marsupials*, com els cangurs, que no s'han trobat enlloc més del planeta. *Els mamífers placentaris* van aparèixer posteriorment a la separació del continent australià i van anar substituint els monotremes i els marsupials en altres zones de la Terra. Per això, a Austràlia els mamífers primitius no van haver de competir amb els placentaris i actualment encara hi perduren.



3.5. BIOLOGIA MOLECULAR

La tecnologia actual ens permet determinar el grau de similitud entre els ADN o les proteïnes dels organismes, la qual cosa ens aporta molta informació sobre el grau de parentesc evolutiu. Com més similitud, més parentesc evolutiu. Aquests estudis han servit per confirmar els estudis clàssics, fets a partir de les semblances morfològiques.

- La uniformitat en la composició química i en els processos metabòlics de tots els éssers vius revela l'existència d'avantpassats comuns. La matèria orgànica que forma tots els éssers vius està constituïda pels mateixos components i el carboni és el fonamental.
- El llenguatge utilitzat per l'ADN és el mateix per a tots els éssers vius. Això indica un origen comú.
- Comparar seqüències de nucleòtids d'ADN d'espècies diferents pot proporcionar informació sobre el seu parentesc evolutiu.

Podem comparar una seqüència de nucleòtids dels cinc grups de primats: humans, ximpanzés, goril·les, orangutans i gibons. El resultat, pel mateix ordre, és el següent:

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
GTT	AAC	CCT	AAC	AAA	AAA	AAC	TCA	TAC	CCC	CAT	TAT	GTA	AAA	TCC	ATT	GTC	GCA	TCC	ACC	TTT	ATT
ATT	AAC	CCT	AAC	AAA	AAA	AAC	TCA	TAT	CCC	CAT	TAT	GTG	AAA	TCC	ATT	ATC	GCG	TCC	ACC	TTT	ATC
ATC	AAT	CCT	AAC	AAA	AAA	AGC	TCA	TAC	CCC	CAT	TAC	GTA	AAA	TCT	ATC	GTC	GCA	TCC	ACC	TTT	ATC
ATT	AAC	CCC	AAC	AAA	AAA	AAC	CCA	TAC	CCC	CAC	TAT	GTA	AAA	ACG	GCC	ATC	GCA	TCC	GCC	TTT	ACT
ATT	AAC	CCC	AAT	AAA	AAG	AAC	TTA	TAC	CCG	CAC	TAC	GTA	AAA	ATG	ACC	ATT	GCC	TCT	ACC	TTT	ATA

Quin primat et sembla més pròxim als humans?



4. EL NEODARWINISME: TEORIA SINTÈTICA DE L'EVOLUCIÓ

La conjunció del darwinisme amb els nous descobriments biològics, fonamentalment els relatius a la paleontologia i la genètica, va donar origen al **neodarwinisme** o **teoria sintètica**, el representant de la qual és Theodosius **Dobzhansky** (1900-1975).

Les bases d'aquesta teoria són les següents:

- La unitat sobre la que actua l'evolució no és l'individu, sinó la **població**, conjunt d'individus d'una mateixa espècie que viuen junts en una determinada zona.
- L'existència de la variabilitat genètica, és a dir, la presència d'una amplia gamma de genotips obtinguts a l'atzar a partir del fons genètic d'una població.
- La variabilitat genètica de les poblacions ve causada per l'aparició de **mutacions** i, en major grau, la **recombinació gènica** relacionada amb la **reproducció sexual** (meiosi). Aquests processos són aleatoris.
- La selecció natural fa que els genotips més favorables deixin més descendència i, per tant, que augmenti la freqüència estadística en la població d'uns gens determinats.

El desenvolupament de la genètica molecular ens durà al naixement de noves teories que discrepen parcialment del neodarwinisme:

Teoria neutralista	**Teoria de l'equilibri puntuat o saltacionisme**	**Teoria del gen egoista**
El matemàtic japonès **M. Kimura** proposa que, ja que la majoria de mutacions en l'ADN són adaptativament neutres (ni perjudiquen ni beneficien els organismes), part de la variabilitat genètica no està sotmesa a la selecció natural, sinó que és neutra, des del punt de vista selectiu. Alguns gens poden difondre's en una població, sense tenir cap avantatge evolutiu respecte dels altres.	El paleontòleg americà **S. Gould**, proposa, a partir de nombroses dades paleontològiques, que el canvi evolutiu podria donar-se no sempre de manera gradual i per acumulació lenta de la variabilitat, sinó a salts. Aquests salts representen l'aparició de noves espècies o la desaparició sobtada d'espècies preexistents. Es basen en el fet de l'aparent mancança d'evolució gradual en el registre fòssil.	Aquesta teoria, defensada per **R. Dawkins**, proposa que els gens són la unitat bàsica de l'evolució i utilitzen els organismes com a màquines per la seva supervivència. Els individus són efímers, mentre que els gens romanen, de manera que els individus, de fet, són concebuts com a instrument de supervivència dels gens.

5. EL PROCÉS D'ESPECIACIÓ

L'especiació és el mecanisme evolutiu mitjançant el qual sorgeixen noves espècies a partir d'unes altres. Recordem que **espècie** és el conjunt d'individus que presenten característiques semblants i que són capaços de reproduir-se i de donar descendència fèrtil. Aquest concepte biològic d'espècie la contempla com una unitat aïllada des del punt de vista de la reproducció, és a dir, limitat a la capacitat d'intercanviar informació genètica.

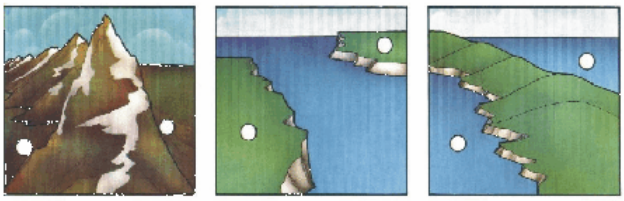
El procés d'especiació és un procés dinàmic, gradual i lent pels darwinistes i neodarwinistes, o ràpid i brusc segons els seguidors de la teoria de l'equilibri puntuat. Segons les causes, es distingeixen dos tipus d'especiació: especiació per aïllament o gradual i especiació quàntica o ràpida.

5.1. ESPECIACIÓ PER AÏLLAMENT

L'especiació per aïllament es produeix quan un grup d'individus d'una espècie queda aïllat de la resta d'individus de la seva espècie. Llavors no hi ha flux de gens entre les dues poblacions, i cada una evoluciona de forma diferent fins a arribar a constituir-se com espècies diferents.

L'aïllament pot produir-se per:

- **Barreres geogràfiques** (un riu, una glacera, un mar originat per l'ascens del nivell de l'aigua, una fractura deguda a la deriva continental, etc.). Per exemple, les sargantanes de l'illa de Cabrera no es poden aparellar amb les de Mallorca perquè el mar fa de barrera.



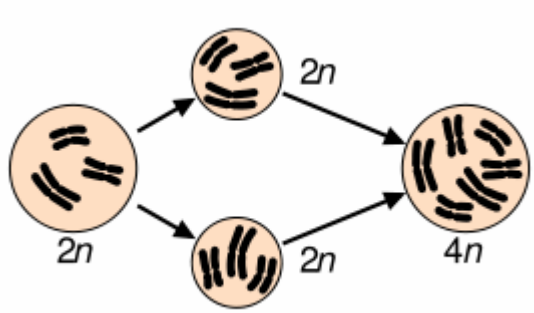
Barreres geogràfiques

- **Barreres biològiques**, és a dir, impediments perquè la reproducció es realitzi correctament entre els individus de l'espècie (que uns individus floreixin en una època de l'any i d'altres en una altra, que uns individus facin moviments per atreure a les femelles i d'altres facin altres moviments que no són reconeguts per tots, que uns individus siguin massa grans per a l'aparellament, que els gàmetes d'uns no puguin sobreviure al cos d'algunes femelles, etc...).

Una vegada es produeix l'aïllament entre dos grups d'individus, les poblacions aniran canviant al llarg del temps, ja que sobreviuran i es reproduiran els individus més ben preparats pel nou ambient. Amb el temps, totes dues poblacions poden haver acumulat tantes diferències que sigui impossible que dos individus de les dues poblacions s'aparellin, suposant que la barrera desaparegui. Són, ara, dues espècies diferents.

5.2. ESPECIACIÓ QUÀNTICA O RÀPIDA

L'**especiació quàntica o ràpida** es produeix a causa de les mutacions en el nombre de cromosomes de l'espècie. Per exemple: si en una planta diploide apareixen per mutació gàmetes 2n, després de la fecundació apareixeran organismes 4n, que ja no es podran creuar amb els anteriors.



6. L'ORIGEN DE LA VIDA

Les teories evolucionistes expliquen com s'ha originat la gran diversitat d'éssers vius que acull el planeta Terra. Hi ha però una pregunta que no troba resposta en aquestes teories: com es va formar la primera cèl·lula, mare de tots els organismes que ara existeixen?

Diversos científics han treballat i treballen per trobar una resposta a aquest enigma. Cada cop es va aconseguint saber més coses de com va poder-se originar la vida a la Terra, però encara estem lluny de tenir certeses.

6.1. LA TERRA PRIMITIVA

La Terra primitiva era molt diferent de l'actual. Fa uns 4.600 milions d'anys, just després de la seva formació, la Terra estava a **grans temperatures**. Hi havia **gasos** i matèria fosa. A poc a poc, la Terra es va anar refredant. L'escorça terrestre, la zona més externa, va començar a solidificar-se fa uns 4.300 milions d'anys, i el **vapor d'aigua** va condensar-se per formar els oceans.



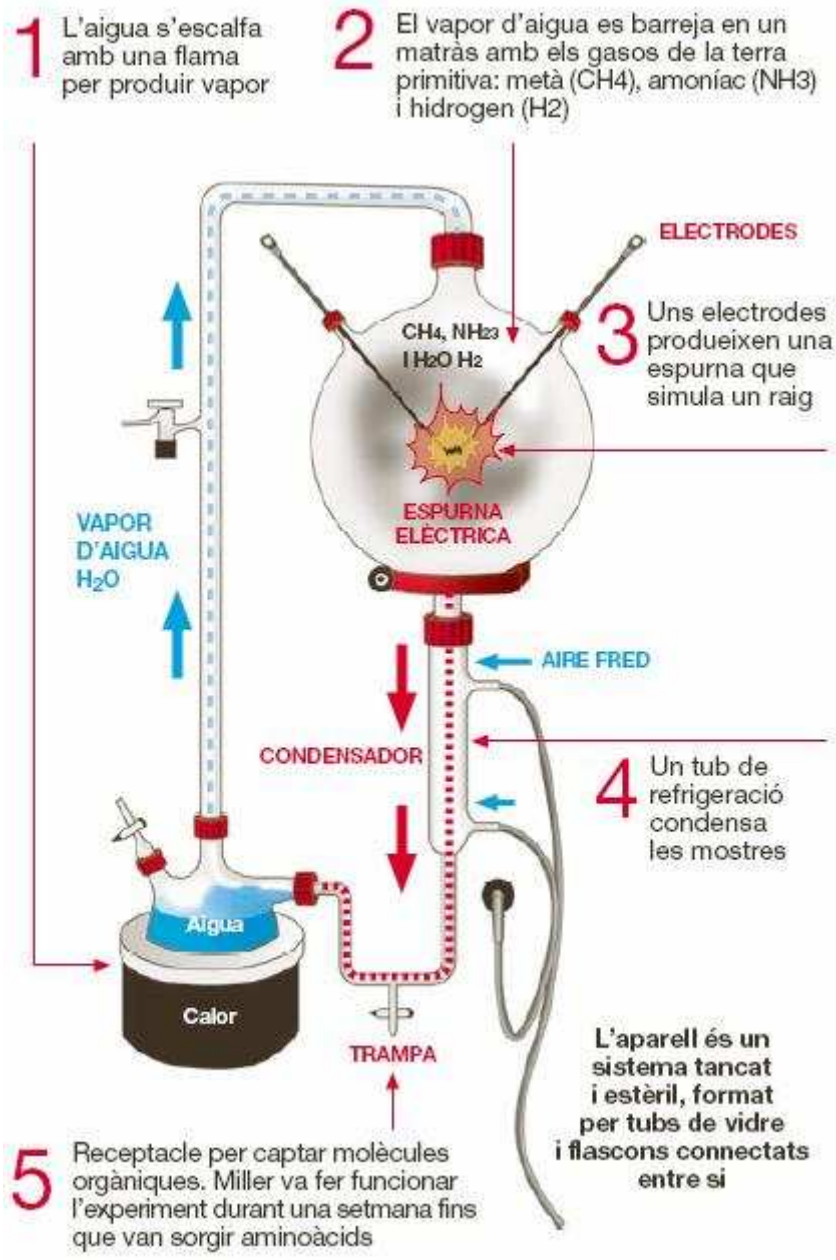
L'atmosfera d'aquesta Terra primitiva era rica en vapor d'aigua, nitrogen, hidrogen, amoníac i metà, entre altres gasos. Era una atmosfera **sense oxigen**, una atmosfera que, a nosaltres, no ens permetria viure-hi.

A més, a la Terra hi arribava un elevat nombre de **radiacions**, ja que no hi havia cap capa protectora com la d'ozò que tenim ara. També hi havia molta activitat tempestuosa i volcànica, amb gran emissió de gasos.

Com pots veure, la Terra primitiva no era un lloc ideal per viure-hi, oi? Potser no era un bon lloc per viure-hi nosaltres, però sí un lloc perfecte per generar vida.

6.2. LA FORMACIÓ DE MATÈRIA ORGÀNICA

L'any 1953, el científic nord-americà **Stanley Miller** va reproduir en un laboratori les condicions de la Terra primitiva: pluges, descàrregues elèctriques, radiacions i diversos gasos (vapor d'aigua, nitrogen, hidrogen, amoníac, metà, diòxid de sofre, etc). Després d'uns quants dies, Miller va comprovar que s'havien format molècules orgàniques (les que conformen la matèria característica dels éssers vius). Entre la matèria orgànica formada hi havia dos aminoàcids, les molècules que formen les proteïnes.



Sabem doncs que les condicions de la Terra primitiva eren les idònies perquè es formés matèria orgànica. Tanmateix aquesta matèria orgànica no tenia vida, no creixia i no es reproduïa per perpetuar-se.

6.3. L'APARICIÓ DE LA PRIMERA CÈL·LULA

Possiblement, la concentració de matèria orgànica es va fer més gran als petits llacs, on les molècules es van anar ajuntant fins a formar molècules més complexes: proteïnes, lípids i àcids nucleics. Aquests processos van necessitar molts milions d'anys per desenvolupar-se.

Segons Oparin, un cop es van formar molècules orgàniques complexes, van aparèixer els **coacervats**, unes estructures formades per l'associació de molècules orgàniques amb molècules d'aigua.

El següent pas fou l'aparició de membranes per protegir els coacervats i donar- los més fermesa. Les primeres membranes eren, probablement, senzilles estructures lipídiques.

Quedava un pas molt important per formar la primera cèl·lula: l'aparició de les cadenes d'**àcids nucleics**. Aquestes molècules tenen capacitat per autoreplicar- se i, per tant, duplicar de forma exacta la seva estructura. Això possibilità la reproducció cel·lular. La vida havia començat. D'això fa uns 3.600 milions d'anys.

6.4. L'EVOLUCIÓ DE LES PRIMERES CÈL·LULES

Les primeres cèl·lules havien de ser **heteròtrofes**: s'alimentaven de matèria orgànica, perquè és el que hi havia a disposició, ja que durant milions d'anys s'havia anat acumulant a la Terra, com ja hem explicat. A més, havien de fer **fermentació**, (procés **anaerobi,** que es produeix sense la participació d'oxigen). Recorda que l'atmosfera primitiva no tenia oxigen.

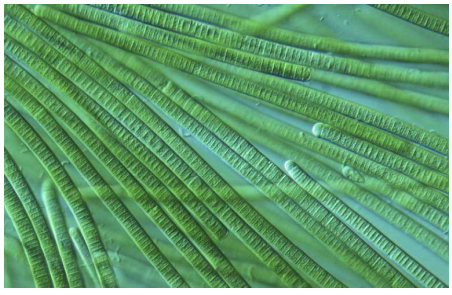
Aquests primers organismes unicel·lulars devien ser molt semblants a alguns dels actuals bacteris. Eren organismes d'**estructura procariota**, és a dir, cèl·lules sense nucli ni gairebé orgànuls cel·lulars.



▲ ***Arqueobacteris (primers bacteris)***

Milions d'anys més tard, la matèria orgànica començava a ser escassa. Això provocà, fa uns 2.000 milions d'anys, l'aparició d'una nova estratègia: captar l'energia solar per tal d'utilitzar-la per sintetitzar matèria orgànica. Havien aparegut els organismes **fotosintetitzadors**, els organismes anomenats **autòtrofs**, amb capacitat per sintetitzar matèria orgànica a partir de matèria inorgànica, amb l'ajut de l'energia solar. Ja no calia trobar matèria orgànica per sobreviure.

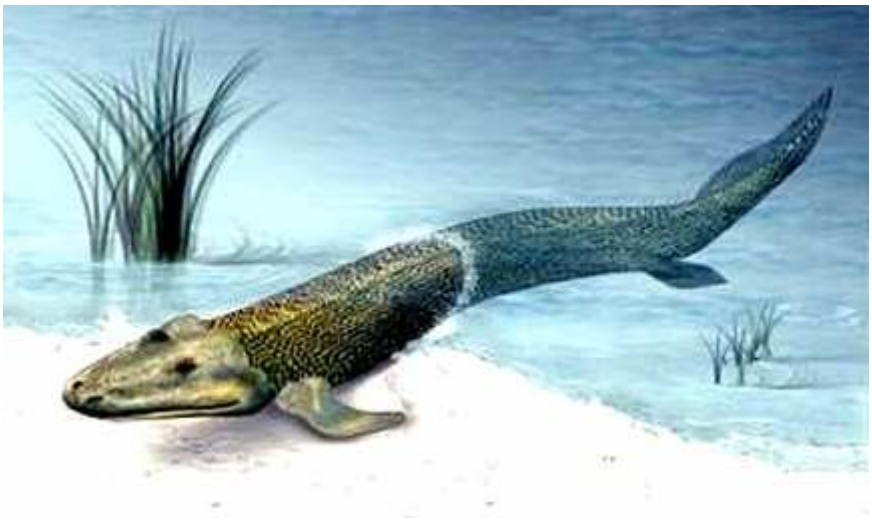
▶ ***Cianobacteris (primers bacteris fotosintetitzadors)***



Tot el que hem descrit fins ara es va produir dins l'aigua, ja que fora de l'aigua el medi era molt hostil, a causa de la manca de protecció contra les radiacions ultraviolades, molt nocives per a la vida.

La fotosíntesi comporta la formació de gas **oxigen** que és expulsat a l'atmosfera. Aquest gas és un potent verí que, probablement, va causar l'extinció de moltíssimes espècies primitives. Tanmateix, algunes cèl·lules estaven preparades per viure amb oxigen (podien aprofitar-lo per fer **respiració** i així aconseguir molta més energia que amb les fermentacions i poder multiplicar les possibilitats de sobreviure), però el preu que vam haver de pagar va ser car: la mort per oxidació. Des de llavors, per molts organismes, vida i mort són cares d'una mateixa moneda, l'una no pot existir sense l'altra.

A les capes altes de l'atmosfera, part de l'oxigen (O_2) de la fotosíntesi es va convertir en **ozó** (O_3), un gas que evita que passin la major part de les radiacions ultraviolades. Aquest fet possibilità que els éssers vius poguessin iniciar, fa uns 400 milions d'anys, la **colonització dels continents**. Fins aleshores els continents eren grans deserts per a la vida.



Fa uns 1.400 milions d'anys, va aparèixer la **cèl·lula eucariota**, un tipus cel·lular més especialitzat, amb orgànuls específics per a cada una de les activitats metabòliques, la qual cosa el fa molt més eficient. Tot i que els primers éssers eucariotes van ésser unicel·lulars, aviat van començar una nova estratègia evolutiva: la col·laboració entre organismes unicel·lulars per tal de formar un únic ésser amb diferents funcions vitals realitzades per grups de cèl·lules especialitzades. Així aparegueren els éssers **pluricel·lulars**, que aviat van començar a diversificar-se.

activitats proposades

1 ***Explica el significat de la frase*** **"l'evolució no és una escala jeràrquica".**

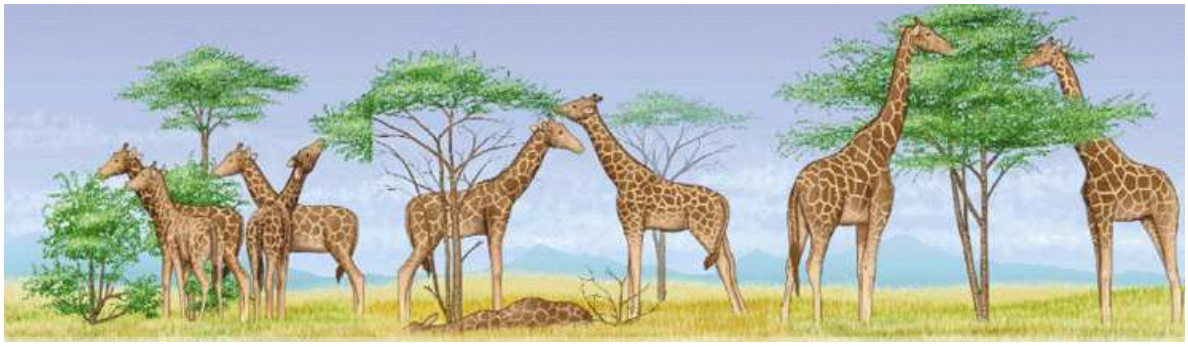
2 ***Les premisses de partida de Darwin per explicar l'evolució de les espècies són:***

A. En una població, els individus presenten variacions heretables.

B. Neixen més individus dels que poden sobreviure.

C. Algunes variants hereditàries proporcionen avantatges per la supervivència i els individus que les posseeixen deixen una descendència més nombrosa.

Aplica aquestes premisses per explicar l'origen de les girafes actuals.



A	B	C

3 ***En el seu ambient natural, els flamencs tenen les plomes de color rosa gràcies a unes algues microscòpiques que mengen. En canvi, les plomes dels flamencs en captivitat no són de color rosa. Es tracta d'una variació ambiental o heretada?***

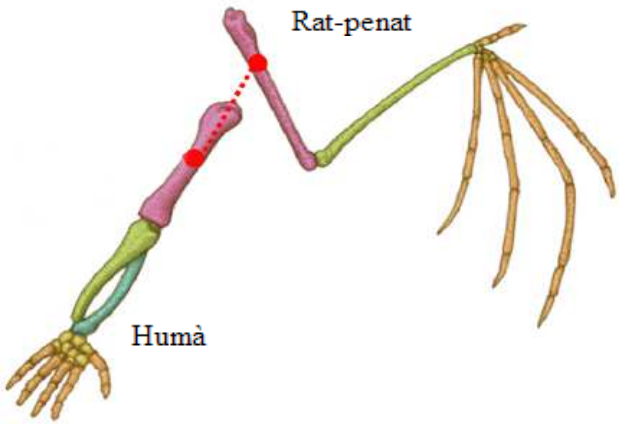
4 ***Quines són les causes de l'evolució?***

5 ***Com s'origina la variabilitat en les poblacions?***

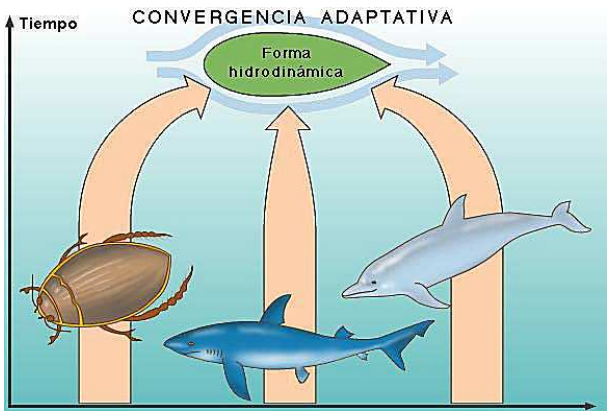
6 ***Resumeix el mecanisme evolutiu descrit per Lamarck. És acceptable científicament?***

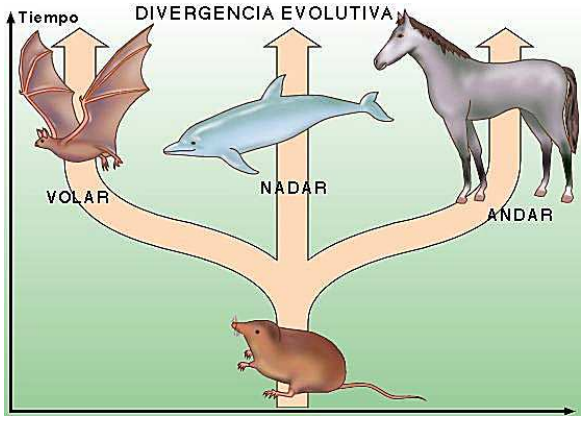
7 ***L'extremitat anterior dels humans i la dels rat-penats tenen funcions i formes ben diferents. No obstant això, estan formades pels mateixos ossos i tenen el mateix origen embrionari.***

Explica com s'anomena el tipus de relació que existeix entre aquests dos òrgans i quin és el seu significat evolutiu.

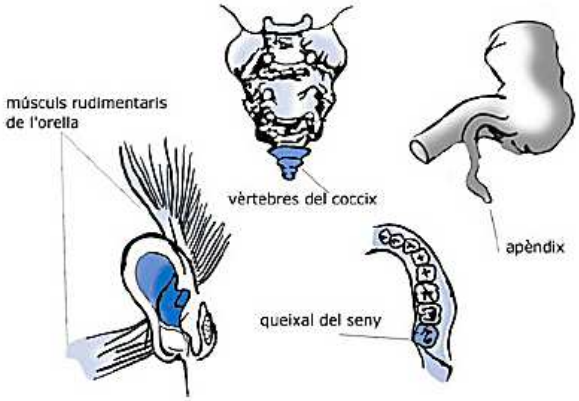


8 ***Fixa't en els esquemes següents i intenta explicar els conceptes de*** **convergència adaptativa *i* divergència evolutiva.**





9 ***Observa els òrgans dibuixats a continuació i contesta:***



a) Què nom reben aquests òrgans des del punt de vista evolutiu?

b) Què ens indiquen aquest tipus d'òrgans sobre l'evolució de les espècies?

10 ***Quines proves evolutives aporta el registre fòssil?***

11 ***Charles Darwin va presentar en el seu llibre*** **L'origen de les espècies per selecció natural** ***(1859), algunes idees inèdites fins aquell moment:***

- ***L'elevat potencial de reproducció.***
- ***La variabilitat intraespecífica.***
- ***La lluita per a l'existència.***

a) Llegeix el següent text. Després identifiqueu quin paràgraf del text il·lustra cadascun dels conceptes anteriors. Respon a la taula i explica, en la darrera columna, la teva resposta.

A *S'ha observat que hi ha bacteris resistents a antibiòtics com l'estreptomicina. No és un fet freqüent ja que en un cultiu amb 2.000 milions de bacteris, esperaríem que hi hagués 20 bacteris resistents a l'estreptomicina.*

B *Si s'afegeixen unes gotes d'aquest antibiòtic a un cultiu de bacteris, es destrueixen tots els microorganismes, excepte els resistents.*

C *Aquests bacteris supervivents començaran a reproduir-se immediatament i, en unes hores, n'obtindrem 2.000 milions, però ara tots resistents a l'estreptomicina.*

Concepte	***Paràgraf (A, B, C)***	***Explicació***
Elevat potencial de reproducció		
Variabilitat intraespecífica		
Lluita per l'existència		

b) Sens dubte la idea més potent de l'obra de Darwin va ser la de la selecció natural. Explica aquest concepte breument a partir de la situació descrita en el text anterior.

12 ***Fragment adaptat de "El naturalista", de E.O. Wilson:***

"Els mascles i les femelles de la granota Pseudacris nigrita *s'atreuen entre ells amb un cant molt característic.*

Una nit, vam anar a buscar la zona en la que es pensava que la subespècie del nord Pseudacris nigrita triseriata*, es trobava i es creuava amb la subespècie del sud,* Pseudacris nigrita nigrita*; ambdues subespècies tenen un cant força diferent.*

Poc abans de sortir el sol, vam arribar a la zona fronterera, on es troba el límit entre les dues suposades subespècies, la qual resultà molt abrupta, accidentada i seca...".

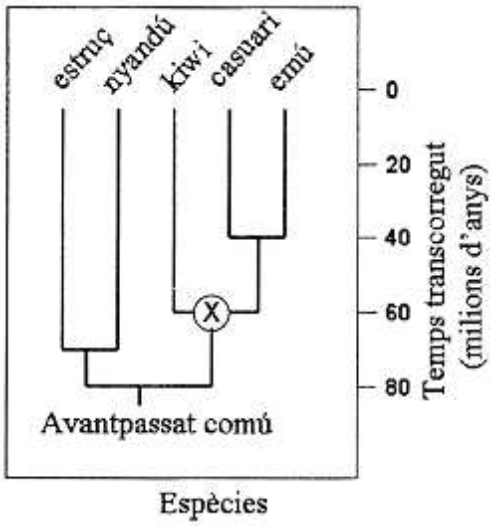
a) ***Estudis posteriors van concloure que les dues subespècies són, en realitat, dues espècies diferents:*** **Pseudacris triseriata** ***i*** **Pseudacris nigrita.** ***Explica el significat biològic d'aquest fet.***

b) ***Enumera dos possibles mecanismes d'aïllament entre les dues espècies i explica'ls.***

13 ***L'obra de l'escriptor John R.R. Tolkien,*** **El senyor dels anells,** ***presenta un seguit de personatges que enquadra en "races": orcs, elfs, humans, nans, hobbits, ...***

Considerem que un grup d'humans es desplaça a les cavernes dels nans, on el individus baixets i forçuts són els més ben adaptats al medi. Si els individus de la població d'humans es reprodueixen entre ells després de moltes generacions, acabarien tenint descendents amb aquestes característiques pròpies dels nans? Raona la resposta.

14 ***La taula indica la distribució actual d'algunes aus no voladores. L'arbre filogenètic representa la seva evolució.***



ESPÈCIE	*DISTRIBUCIÓ ACTUAL*
Estruç	Àfrica
Nyandú	Sudamèrica
Kiwi	Nova Zelanda (Oceania)
Casuari	Austràlia i Papua Nova Guinea (Oceania)
Emú	Austràlia (Oceania)

L'avantpassat comú d'aquestes aus vivia en un supercontinent anomenat Pangea, del qual han acabat sorgint els continents actuals. Es creu que el trencament de Pangea va afavorir l'origen d'aquestes espècies.

a) A partir de la distribució actual i l'arbre filogenètic, raoneu si podríem trobar fòssils de l'espècie marcada amb una "X" a Àfrica.

b) Per què la separació de continents afavoreix l'origen de noves espècies (a partir d'un avantpassat comú)?

c) Les ales d'aquestes aus són homòlogues amb les ales d'un insecte? Raoneu la resposta.

d) Els Moa de Nova Zelanda eren aus gegantines del mateix grup zoològic que les anteriors, però es van extingir. Tenien les ales molt reduïdes i no podien volar. Expliqueu des del punt de vista evolutiu la reducció de les seves ales.

15 ***En un manual d'evolució poden llegir-se algunes afirmacions sobre el mecanisme evolutiu que avui no són acceptades. Subratlla i corregeix aquelles parts del text que creieu que són incorrectes.***

- Les plantes i els animals no tenen un elevat potencial reproductor, és a dir, produeixen menys descendència de la que pot sobreviure. No obstant les poblacions tendeixen a romandre constants. Segurament es produeixen poques morts abans d'assolir l'estat adult.

- La lluita per l'existència, la competència entre els organismes pels recursos del medi (aliment, refugi, espai...) condueix a múltiples lluites i enfrontaments entre organismes tant de la mateixa com de diferent espècie.

- Els organismes vius, com a conseqüència de l'esforç per adaptar-se al medi, experimenten canvis heretables sobre els que actuarà la selecció natural.

- Algunes variacions, provocades pel medi en què viu un organisme, fan als seus portadors més eficaços en l'ús dels recursos del medi, són les mutacions favorables. Les mutacions desfavorables, en canvi, són perjudicials pels organismes. La selecció natural afavoreix la supervivència dels individus més dotats, ja que seran més competitius en la lluita per l'existència.

16 ***La imatge següent mostra diverses formes del bec dels ocells, relacionades amb diferents maneres d'obtenir l'aliment.***

Comenta la correcció o incorrecció de cada opció.

a) Es tracta d'un exemple d'òrgans anàlegs: exerceixen idèntica funció.

b) Aquesta diversitat de formes del bec és una prova de la capacitat d'adaptació de les espècies.



c) Són òrgans homòlegs: fan la mateixa funció en espècies sense parentesc evolutiu.

d) Les imatges demostren que Lamarck tenia una mica de raó: la funció crea l'òrgan.

17 ***A l'Anglaterra de mitjans segle XX, Bernard Kettlewell va voler estudiar la selecció natural que es produïa amb unes papallones nocturnes, la*** **Briston betularia.**

Va marcar un bon nombre de papallones grises i negres i les va alliberar en dos llocs diferents: una regió no contaminada i una zona industrial. Posteriorment, Kettlewell va capturar tantes papallones com va poder amb els resultats següents:

Lloc	Situació	Grises	Negres
Dorset (no contaminada)	Deixades en llibertad	469	473
	Capturades de nou (%)	62 (13,2 %)	30 (6,3 %)
Birmingham (contaminada)	Deixades en llibertad	137	447
	Capturades de nou (%)	18 (13,1 %)	123 (27,5 %)

a) Segons les dades anteriors, quin tipus de papallona sobreviu millor en la zona contaminada? I en la zona no contaminada. Per què?

b) Com explicaries l'origen d'aquestes dues varietats de papallones?

c) L'any 1952, a Anglaterra, quan Kettlewell va fer l'experiment anterior, es van adoptar unes mesures contra la contaminació atmosfèrica que van donar uns resultats molt positius. A partir de llavors es va detectar un augment en la proporció de les papallones grises. Aquest resultat, concorda amb les prediccions que faries a partir de l'experiment anterior?

18 ***Les poblacions de la mosca del vinagre, Drosophila melanogaster, viuen en ambients molt diversos. S'ha observat que els individus procedents de cellers o caves, on la concentració d'alcohol en l'aire és força elevada, presenten un grau de resistència a l'alcohol (tòxic segons la concentració a la qual es presenti) molt superior al que tenen els individus procedents d'espais en els quals aquesta substància no es troba en l'ambient.***

La situació comentada en el text il·lustra un exemple d'adaptació. Explica aquest concepte breument a partir de la situació descrita en el text anterior.

19 ***Les autoritats sanitàries recomanen evitar l'ús indiscriminat d'antibiòtics per combatre malalties infeccioses causades per bacteris. Quina creus que es la base biològica d'aquesta recomanació.***

20 ***En relació amb aquesta situació, en un diari de Barcelona es publicava la carta següent:***

"L'altre dia, la meva néta em va portar del parc el que semblava una ploma de colom, però el seu color verd em recordava el de les cotorretes. Podria ser que en tot aquest temps que han conviscut coloms i cotorretes haguessin originat una nova espècie?"

Contesta, de manera raonada, a la persona que va escriure la carta.

21 ***Digues a quines teories, corresponen els següents epígrafs:***

- ***Els gens són la unitat básica de l'evolució. Els gens utilitzen als organismes com a màquines per a la seva supervivència.***

  Teoria :

- ***L'evolució és gradual i més o menys constant.***

  Teoria :

- ***Una espècie passa per llargs periodes d'equilibri seguits de periodes curts en els que sofreix una ràpida especiació.***

  Teoria :

- ***La majoria de les mutacions en l'ADN són adaptativament neutres. Ni perjudiquen ni beneficien als organismes.***

  Teoria :

- ***La unitat sobre la que actua l'evolució no és l'individu, sinó la població.***

  Teoria :

- ***La necessitat d'adaptar-se a un nou ambient produeix canvis heretables.***

  Teoria :

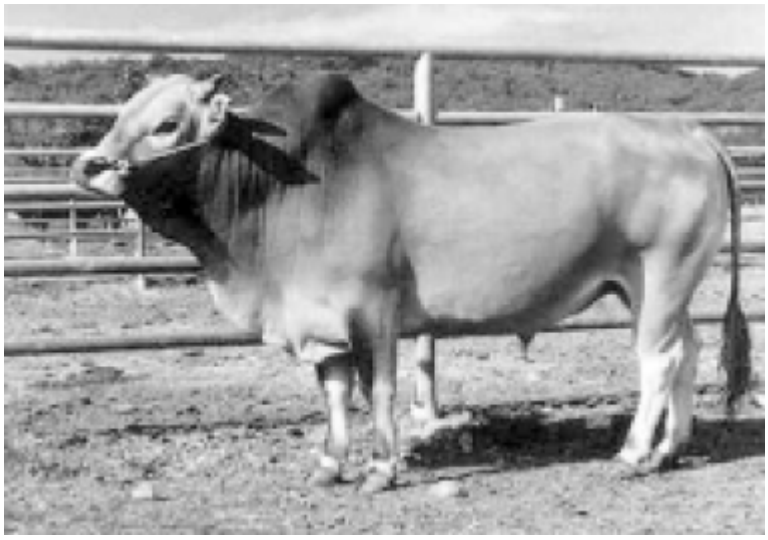
22 ***El fragment següent ha estat adaptat de la novel·la* L'origen perdut*, de Matilde Asensi (Planeta, 2004), en què els protagonistes troben a la selva amazònica una població descendent d'antics indígenes inques, que havien fugit dels conqueridors espanyols i de les malalties que aquests contagiaven feia més de 400 anys:***

INDÍGENA: No us apropeu. Ens podeu contagiar el xarampió, la verola, la grip i les altres malalties espanyoles.

PROTAGONISTA: Però si hi esteu immunitzats! Els vostres avantpassats que van sobreviure van produir anticossos contra totes aquestes malalties i, per tant, vosaltres, els seus descendents, també els heu heretat. No us podem contagiar res.

En el diàleg hi ha un error conceptual important. Explica on rau l'error.

23 ***La imatge mostra un zebú. Antigament es creia que els zebús pertanyien a una espècie diferent de la dels toros i les vaques, però ara se'ls classifica com una subespècie d'aquesta espècie.***



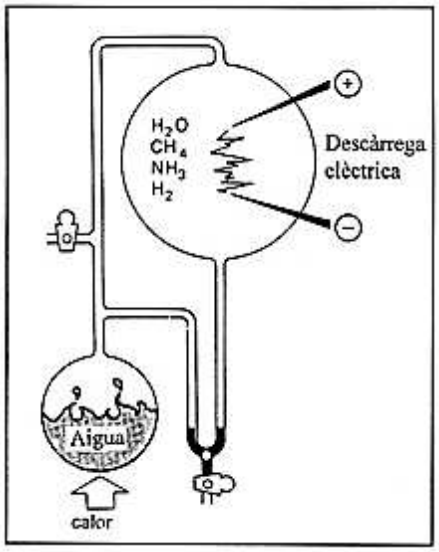
Com es podria demostrar que els zebús pertanyen a la mateixa espècie que els toros i les vaques europeus?

24 ***Els guepards són els felins més ràpids del planeta. La seva velocitat els permet caçar amb més facilitat les preses. Dóna una explicació lamarckista i una explicació darwinista que justifiquin el procés evolutiu que ha permès als guepards arribar a ser tan ràpids.***

25 ***Ordena els següents organismes segons l'ordre evolutiu d'aparició a la Terra.***

A.	Eucariotes	1r →
B.	Coacervats	2n →
C.	Procariotes heteròtrofs fermentadors	3r →
D.	Procariotes autòtrofs aerobis	4t →
E.	Procariotes autòtrofs anaerobis	5è →

26 ***En 1953, S. Miller va realitzar un experiment molt important en la història de la Biologia. Va sotmetre mescles gasoses d'hidrogen (H_2), metà (CH_4), amoníac (NH_3) i vapor d'aigua (H_2O), en un recipient tancat a 80ºC, a l'acció de descàrregues elèctriques entre dos elèctrodes. Al cap d'unes quantes setmanes, el compartiment dels gasos contenia monòxid de carboni (CO), diòxid de carboni (CO_2) i nitrogen (N_2). En el condensat obtingut per refredament es van trobar compostos orgànics solubles en aigua: aminoàcids i àcids orgànics senzills. Posteriorment, en altres experiments, la mescla de gasos era sotmesa a diferents tipus d'energia (raigs ultraviolats, raigs X).***



En el seu conjunt, en aquests experiments, es van obtenir tots els aminoàcids presents a les proteïnes, així com els nucleòtids adenina, guanina, citosina i uracil, i alguns glúcids.

a) ***Explica quin és el problema que s'investigava en aquests experiments. Per quina raó la mescla de gasos inicial contenia hidrogen, metà, amoníac i vapor d'aigua? Per què es mantenia la temperatura al voltant dels 80ºC? Per què es realitzaven descàrregues elèctriques?***

b) ***En què es diferencia l'atmosfera actual de la primitiva? Quin paper han jugat els organismes en aquest canvi?***

c) ***Amb els resultats de l'experiment de Miller i posteriors, quines conclusions es poden treure?***