

Unitat 2

51

L'EVOLUCIÓ DE LES ESPÈCIES

UNITAT 2 L'EVOLUCIÓ DE LES ESPÈCIES

Matemàtiques, Ciència i Tecnologia 10. UN MÓN FELIÇ?

què treballaràs?

En acabar la unitat has de ser capaç de:

- Valorar les teories anteriors a Darwin, sobre l'origen de la gran diversitat d'organismes.
- Descriure com actua la selecció natural descrita per Darwin.
- Explicar les principals aportacions posteriors a Darwin, sobre els mecanismes de l'evolució.
- Interpretar les proves que ratifiquen l'evolució.
- Descriure com funciona la selecció artificial d'organismes.
- Explicar els processos que porten a l'aparició de noves espècies.
- Valorar les diferents teories sobre l'origen de la vida.
- Valorar els coneixements actuals sobre el procés evolutiu de l'ésser humà.

1. L'origen de la diversitat

Si fas una volta pel camp, veuràs molts tipus de plantes i animals. Alguns animals són difícils de veure perquè fugen de les persones o són de vida nocturna. N'hi ha, però, que són fàcils de veure, com molts ocells i insectes. Si ens fixem en els insectes, en veurem de molts tipus, cada un adaptat a viure en unes determinades condicions. La vida adquireix una gran diversitat de formes. D'on ha sortit tota aquesta diversitat? Hi ha estat des de sempre?

Fixisme

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. Aquesta teoria-creença s'anomenava **fixisme**.

El fixisme convisqué amb la creença que els organismes inferiors podien aparèixer per **generació espontània** a partir de matèria inorgànica o de matèria orgànica en descomposició. Aquesta creença perdurà fins que Louis Pasteur (s. XIX) va demostrar que una bona esterilització evita l'aparició de cap organisme a partir de matèria no viva.

Tot i que el fixisme fou acceptat per la immensa majoria de científics fins ben entrat el segle XVIII, hi van haver algunes matisacions que ara veurem.

La gran cadena dels éssers vius

Aristòtil (s. IV a.C.) ja va considerar que la natura estava organitzada des dels organismes més senzills fins als més complexos, essent l'ésser humà diferent i superior a tots els animals, atesa la seva capacitat per pensar. Durant tota l'edat mitjana, l'església també va considerar que la cadena d'éssers vius formava una sèrie contínua d'organismes des del més senzill fins al més complex. Si en un punt determinat de la cadena mancava una forma intermèdia entre dues formes conegudes, era únicament perquè encara no s'havia descobert. Les hidres foren considerades com l'organisme pont entre els vegetals i els animals, ja que eren organismes que, malgrat viure fixats al sòl aquàtic, tenien tentacles mòbils per caçar. Els simis es trobaven un esglaó per sota de l'ésser humà.



Hidra

Cal tenir en compte que el fet de trobar una jerarquia entre els organismes no implicava cap gradació de caire evolutiu, tots els éssers eren considerats el resultat d'una creació ordenada.

Els sistemes de classificació natural

Durant els segles XVII i XVIII, alguns científics es van dedicar a descriure curosament els éssers vius, fixant-se en les seves semblances estructurals. D'aquesta manera es van començar a agrupar els organismes amb estructures semblants. És molt remarcable l'aportació del botànic suec Karl von Linné (1707-1778), que elaborà un sistema de classificació basat en agrupacions, anomenades avui dia **tàxons**, organitzades en diferents nivells. El tàxon de nivell superior és el regne. Cada regne conté una sèrie de divisions o fílums. Cada divisió conté classes, i així successivament. La sèrie completa actual és:

Regne • Fílum o Divisió • Classe • Ordre • Família • Gènere • Espècie

Linné només va classificar els organismes segons: classe, ordre, gènere i espècie.

L'últim nivell d'aquesta sèrie jeràrquica correspon a l'espècie. Entenem per **espècie** el conjunt format pels organismes capaços d'aparellar-se i tenir descendència fèrtil. Això significa que cavalls i ases són espècies diferents, ja que només poden tenir descendència estèril; els muls i les mules.

Linné anomenà cada organisme que classificà, pel gènere i espècie als quals pertanyien. Arribà a classificar un gran nombre d'organismes. Aquesta nomenclatura encara la utilitzem avui dia.

NOM COMÚ	NOM CIENTÍFIC	
Heura	<i>Hedera helix</i>	Gènere: Hedera Espècie: helix
Alzina	<i>Quercus ilex</i>	Gènere: Quercus Espècie: ilex
Abella de la mel	<i>Apis mellifica</i>	Gènere: Apis Espècie: mellifica
Gripau comú	<i>Bufo bufo</i>	Gènere: Bufo Espècie: bufo
Ésser humà	<i>Homo sapiens</i>	Gènere: Homo Espècie: sapiens

El catastrofisme

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 hom 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. Un dels grans cercadors de fòssils del segle XVIII fou Thomas Jefferson (1743-1826), el tercer president dels EUA, que va descobrir el peresós gegant, malgrat que el considerà erròniament un lleó gegant.

El naturalista francès George Cuvier (1769-1832) també s'interessà pels fòssils. Els seus estudis el feren considerar que la gran majoria d'organismes fos-silitzats 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 un gran nombre 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.

L'evolucionisme

El transformisme

Durant el segle XVIII, en convivència amb el fixisme, es varen alçar les primeres veus a favor de l'evolucionisme. El naturalista francès Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788), un gran estudiós de les ciències naturals, descriví molts animals i plantes, i féu estudis astronòmics i geològics. Fruit de la seva tasca naturalista escriví l'*Historie Naturelle, Générale et Particulière*, una obra de 44 toms traduïda a diversos idiomes.

Buffon 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.

L'herència dels caràcters adquirits

L'any 1809, el zoòleg francès Jean-Baptiste Monet, cavaller de Lamarck (1744-1829) exposà la primera teoria de caire fonamentalment evolucionista que tenia en compte la importància del medi ambient. Podem resumir la seva teoria en dos punts:

1. 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.
2. 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 Lamarck 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.

Tot i no aportar gaires proves, la teoria de Lamarck tingué força ressò, malgrat que fou molt poc acceptada i rebé moltes crítiques, principalment de Cuvier.

La teoria de Lamarck es coneix com a **lamarckisme**.

- **Activitats d'aprenentatge 1, 2 i 3**

2. 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.

El viatge a bord del H.M.S. Beagle

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* (*His Majesty's Ship Beagle*), que salpà 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 durà 5 anys i permeté a Darwin recollir un gran nombre de dades que, més endavant, li permeteren elaborar la seva teoria evolutiva. Va arribar a recollir força organismes, sobretot aus, insectes, aranyes i plantes tropicals.

Les principals observacions que relitzà van ser:

1. A l'Amazònia hi ha una enorme diversitat d'organismes, alguns amb força semblances.
2. A la Patagònia (extrem sud d'Amèrica del Sud) hi ha restes fòssils de mamífers de mida gran, molt semblants a mamífers actuals de mida més petita. Concretament, trobà ossos fossilitzats de peresós gegant, d'armadillo gegant i de toxodon, un mamífer similar a l'actual hipopòtam.
3. A les Illes Galápagos va trobar espècies inexistents a cap altra zona del món, però que presentaven similituds amb espècies de la costa sud-americana del Pacífic. A la majoria d'illes hi havia espècies que s'assemblaven força, però amb alguns trets propis. Darwin estudià a fons les diferents espècies de tortugues gegants i de pinsans.

Totes aquestes observacions van fer pensar a Darwin que totes les espècies s'originaven a partir de la modificació d'altres espècies existents.

Quan va tornar a Anglaterra, publicà diversos llibres exposant els materials recollits en el viatge. Al mateix temps, anava donant voltes sobre quins podien ser els mecanismes que provocaven l'aparició dels canvis que, finalment, determinaven l'aparició d'una nova espècie a partir d'una altra ja existent.

La selecció natural i l'origen de les espècies

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

L'economista anglès Thomas Robert Malthus (1766-1834) suggerí que els organismes tenien més descendència de la que el medi on vivien podia mantenir. Això implicava que molts organismes morien abans de reproduir-se. A partir d'aquesta idea, Darwin considerà que només es reproduïen els organismes més ben adaptats al medi. Aquest mecanisme de supervivència dels éssers més ben adaptats l'anomenà **selecció natural**.

El geòleg anglès Charles Lyell (1797-1875) introduí la idea que els processos geològics no es produïen de manera puntual sinó que eren el resultat de l'acumulació de petits canvis durant grans períodes de temps. Darwin duia el llibre de Lyell *Principles of Geology* durant el seu viatge a bord del H.M.S. Beagle. La lectura d'aquest llibre i les observacions fetes durant el seu viatge el feren considerar que l'origen de les espècies també era originat per un cúmul de petits canvis durant molt de temps.

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

Un any més tard, l'any 1859, Darwin publicà *L'origen de les espècies*, un llibre on es formulava, i es fonamentava amb exemples, la innovadora teoria. Aquesta obra sí que tingué molt ressò en la comunitat científica. Wallace

també continuà escrivint, però mai no se li donà el reconeixement que aconseguí Darwin, ja que Darwin presentà més evidències en favor de la teoria. Cal indicar que els dos científics diferien en l'origen humà. Mentre que per Darwin la selecció natural també havia provocat l'aparició de l'ésser humà, per a Wallace la selecció natural no era suficient per provocar l'aparició humana i calia la intervenció divina.

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

1. **Les característiques s'hereten:** Els progenitors transmeten la majoria de les seves característiques als descendents.
2. **A les poblacions hi ha variació:** A qualsevol població d'organismes hi ha individus diversos, amb característiques prou diferents. Moltes d'aquestes característiques són heretables.
Si agafem per exemple l'espècie humana, fixa't en la gran quantitat de persones diferents que hi ha al món. N'hi ha d'altres i de baixes, de pell fosca i de pell clara, de veu aguda i de veu greu, etc. També trobaríem grans diferències entre els individus de qualsevol altra espècie, malgrat ens costarien més de veure perquè no estem acostumats a fixar-nos-hi. Aquestes diferències entre els individus d'una mateixa espècie són causades en gran part per la diversa informació hereditària que tenen els individus.
3. **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.
4. **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 reproduïxin els individus amb característiques més favorables. Com que algunes d'aquestes característiques són heretables, a la propera generació es produiran amb més freqüència.
5. **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.

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, 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 digueren 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.

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 reproduueixin 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.

Segons el darwinisme, originàriament hi havia girafes amb el coll més llarg i girafes amb el coll més curt. 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. 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. 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.

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

· **Activitats d'aprenentatge 4, 5 i 6**

3. Més enllà de Darwin

Els descobriments genètics posteriors a Darwin han propiciat un millor coneixement dels mecanismes de l'evolució. Ara en veurem les principals aportacions.

Teoria sintètica de l'evolució

Els descobriments de Mendel sobre els mecanismes de transmissió dels caràcters hereditaris i algunes aportacions posteriors, van permetre reelaborar la teoria de l'evolució de Darwin. En un començament es parlava de **Neodarwinisme**, però la versió més actualitzada rep el nom de **Teoria sintètica de l'evolució**.

Les principals aportacions d'aquesta teoria als principis introduïts per Darwin són:

1. La informació hereditària es troba en els **gens**.

Els gens són fragments de les molècules d'ADN, unes molècules llarguíssimes que es troben en el nucli de totes les cèl·lules del cos.

Cada gen conté dos factors hereditaris anomenats al·lels, que són les unitats de transmissió hereditària de pares a fills. Cada progenitor transmet un al·lel per a cada caràcter, de forma que el fill té també dos al·lels per a cada caràcter, un provinent de la mare i l'altre provinent del pare. La informació continguda en els al·lels determina la manifestació dels caràcters.

2. Les **proporcions dels al·lels en una població** poden canviar per tal d'adaptar-se al medi.

Exemple: Considerem que en una població d'escarabats hi ha dos al·lels pel color del cos, un que determina color negre i l'altre que determina color marró clar. Si prop de la població d'escarabats s'instal·la una mina de carbó, el color del sòl s'ennegrirà. Aleshores, quin color li resultarà més beneficiós a l'escarabat per no ser vist fàcilment pels seus depredadors? És clar que el negre, i és clar que, en poques generacions, la freqüència de l'al·lel que determi-

na el color negre serà més abundant, ja que els escarabats de color marró clar, seran caçats més fàcilment pels depredadors i, per tant, no podran transmetre els seus al·lels a la descendència.

3. De forma espontània hi ha al·lels que pateixen canvis anomenats **mutacions**.

Aquests canvis són l'origen de nova variabilitat en les poblacions. Cal dir que la majoria de mutacions provoquen canvis desfavorables. Malgrat tot, de tant en tant hi ha mutacions que provoquen l'aparició d'al·lels més favorables per a l'adaptació de la població al medi. Les mutacions són, per tant, el motor de l'evolució. Tanmateix, aquestes mutacions no es poden encarregar, es produeixen a l'atzar, sense tenir en compte la seva necessitat.

4. **Tots els éssers vivents estan emparentats.**

Es considera que tots els organismes provenen d'un ésser primigeni unicel·lular, el primer ésser vivent. Això vol dir que tots els organismes vius som parents més o menys llunyans.

5. **L'evolució no té una direcció determinada.**

No hi ha cap finalitat preestablerta en el procés evolutiu. L'únic mecanisme que hi intervé és l'adaptació a les condicions del medi. Com que les condicions del medi canvien al llarg del temps, la direcció de l'evolució també va canviant per tal d'adaptar-se sempre a les noves circumstàncies.

Què passaria si a partir d'ara, any rere any, cada cop fes més i més fred? Doncs que els animals evolucionarien cap a formes amb més estructures aïllants de la temperatura externa (greix, pèl, plomes) per protegir-se del fred. Però, i si anéssim cap a temperatures cada cop més altes? Doncs aleshores l'evolució portaria a estructures menys aïllants. Pot passar una cosa o altra, tot depèn de com evolucionin les condicions mediambientals.

6. El resultat de **l'evolució no és una escala jeràrquica.**

No hi ha una gradació que vagi d'organismes més evolucionats a organismes menys evolucionats. Podem parlar d'organismes amb estructures més o menys complexes, però no d'uns organismes més evolucionats o superiors en contraposició a uns altres de menys evolucionats o inferiors. L'evolució és l'adaptació al medi i tots hem fet un camí igual de llarg des de l'aparició del primer ésser vivent.

Què passaria si hi hagués un gran cataclisme, si xoqués un asteroide amb la Terra, per exemple? Segurament desapareixerien moltes espècies, i potser també desapareixeria l'ésser humà. Tanmateix és molt possible que romanguessin els organismes més resistents; bacteris, algues, alguns insectes, etc. Aleshores l'evolució continuaria a partir d'aquests supervivents, i nosaltres passaríem a ser un altre organisme fòssil més que no es va poder adaptar al medi en un moment determinat.

7. L'evolució és el resultat de l'acumulació gradual de petits canvis.

No hi ha canvis sobtats. Calen llargs períodes de temps, moltes generacions, perquè els mecanismes de l'evolució produeixin canvis notables.

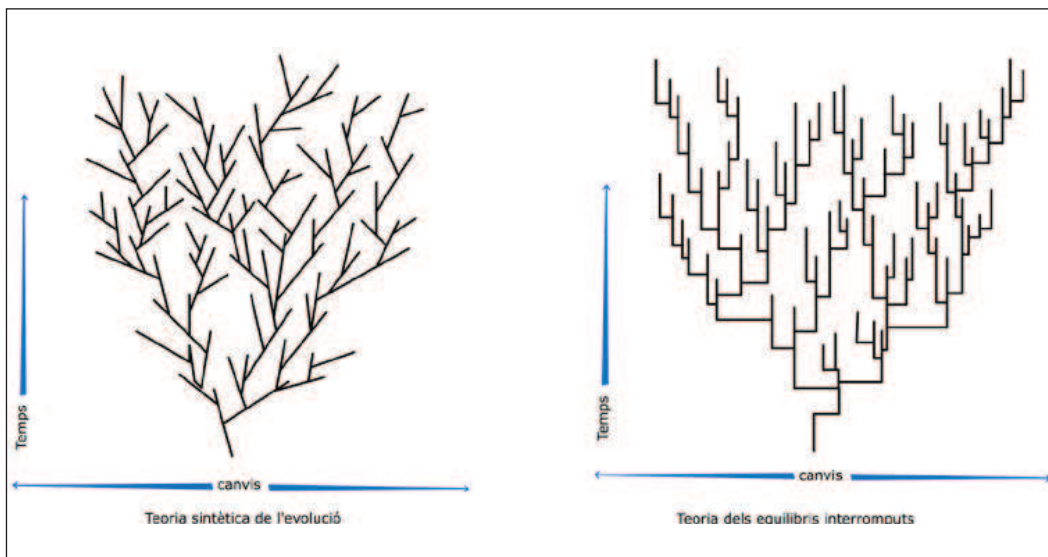
Aquest punt de la teoria sintètica de l'evolució ha estat rebut per la teoria dels equilibris interromputs.

Teoria dels equilibris interromputs

Aquesta teoria fou introduïda l'any 1972 per dos paleontòlegs americans, Jay Gould i Niles Eldredge. Es fonamenta en la poca quantitat de fòssils trobats en períodes de transició entre espècies. Per què tan pocs fòssils de transició?

Segons aquesta teoria, les espècies evolucionen molt ràpidament, en pocs milers d'anys. Aquest període tan curt, en temps geològics, fa que hi hagi molt pocs fòssils de transició. Hi hauria grans períodes (de milions d'anys) de calma evolutiva, d'equilibri, interromputs per breus períodes de canvis que menarien a un nou equilibri, un altre període de calma. I així successivament.

D'altra banda, aquesta teoria proposa que l'èxit de les mutacions es produeix en poblacions petites d'una espècie, més que no pas en un grup gran, on les mutacions poden quedar diluïdes enmig de la població.



- **Activitats d'aprenentatge 7, 8, 9 i 10**

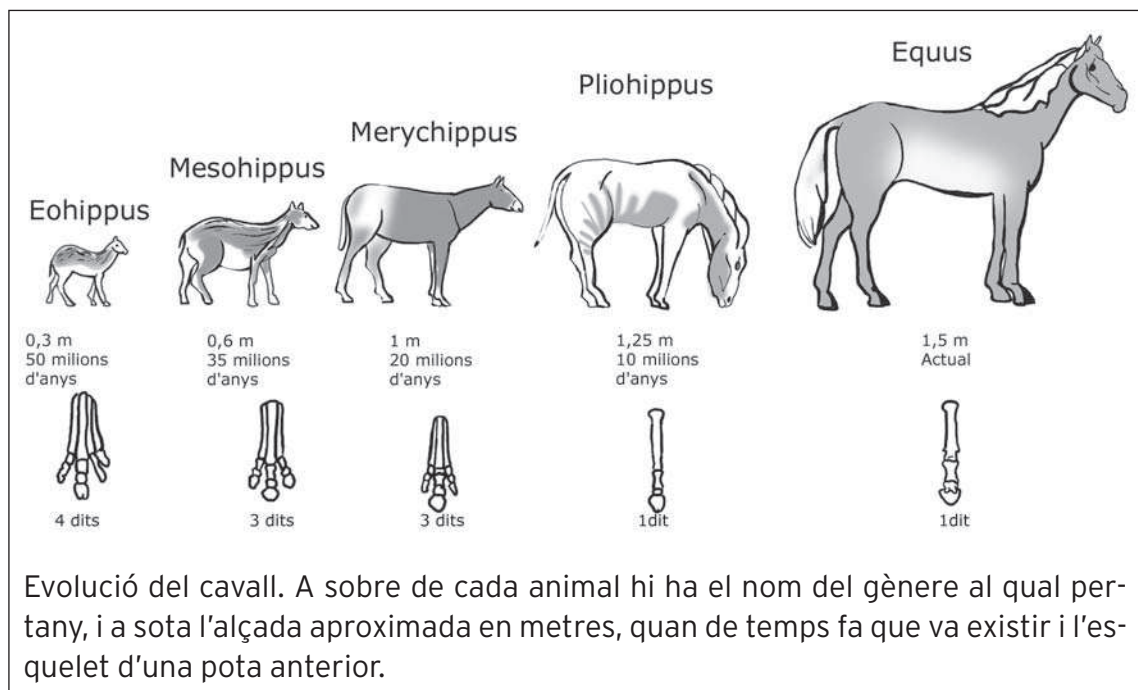
4. Les proves de l'evolució

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.

Registre fòssil

El registre fòssil (conjunt de fòssils coneguts) ha estat des de 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:

1. Hi ha més espècies extingides que no pas vivents.
2. La majoria d'organismes fòssils presenten suficients semblances amb organismes vivents per poder-hi establir relacions de parentiu.
3. En general, com més antic és un fòssil, més diferent és de l'espècie actual amb el qual se'l relaciona.
4. Es poden establir cadenes evolutives entre diversos fòssils, amb progressius canvis morfològics, fins a arribar a relacionar-los amb una espècie actual. Una de les cadenes més ben documentades és la que representa l'evolució del cavall.



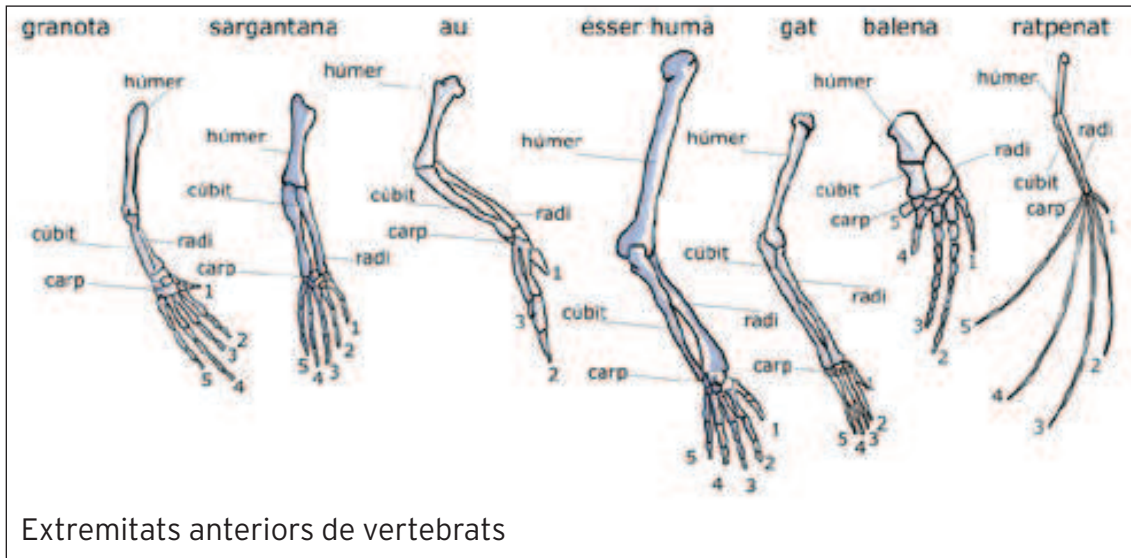
Anatomia comparada

L'estudi comparat de les estructures anatòmiques dels organismes permet trobar-hi similituds suficients per establir-hi relacions evolutives.

Estructures homòlogues

Un dels casos més estudiats és el que relaciona l'estructura esquelètica de tots els vertebrats. S'han fet molts estudis centrats en les extremitats anteriors.

En les extremitats anteriors dels vertebrats es pot reconèixer una estructura òssia similar, que fa pensar que tots els vertebrats provenen d'un avantpassat comú.



Les **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.

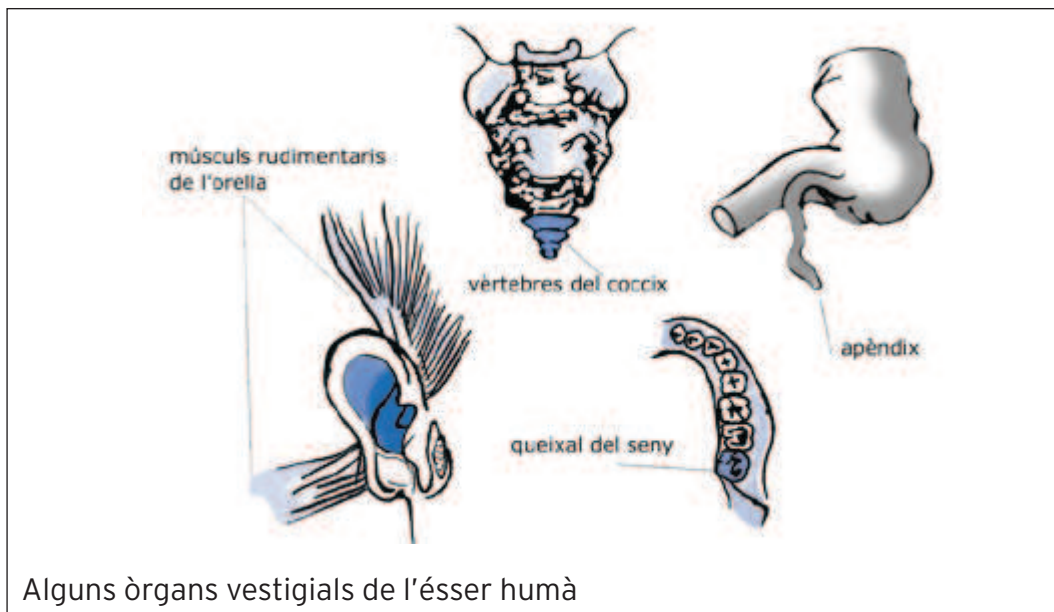
Les **estructures anàlogues** són les que, malgrat tenir formes i funcions similars, tenen un origen estructural diferent.

Aquest és el cas de les ales d'una mosca i de les ales d'una gavina. Les estructures anàlogues no signifiquen cap lligam evolutiu.

Òrgans vestigials

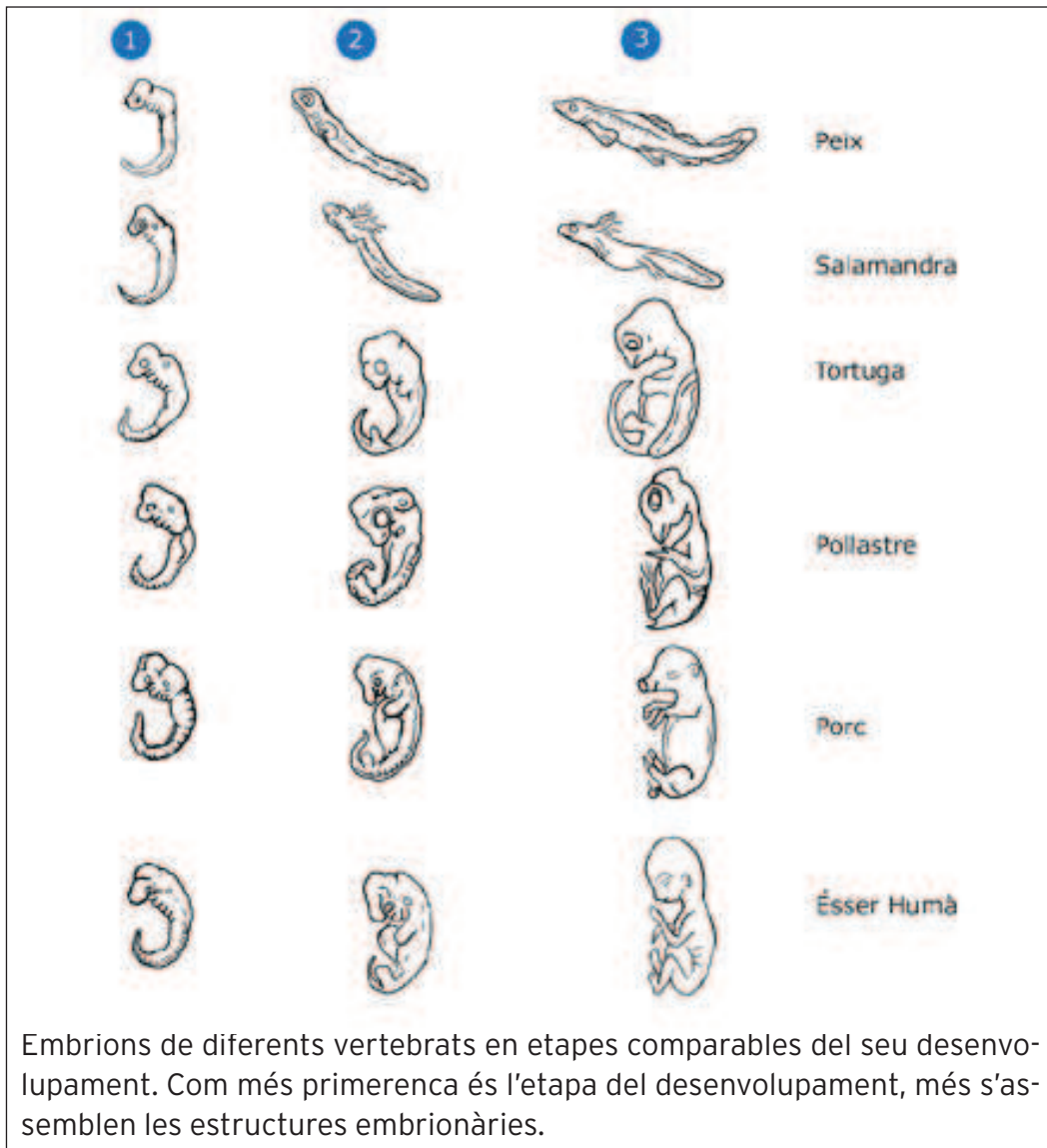
Són estructures rudimentàries, sovint sense cap funció clara, que tenen molts organismes. Ens donen informació sobre el seu passat evolutiu. Hi ha molts exemples:

ÒRGAN VESTIGIAL	CARACTERÍSTIQUES
Ales dels estruços	No permeten volar, però ens indiquen que, en el passat, devien tenir una funció voladora.
Dents de les balenes	No són funcionals, ja que les balenes són animals filtradors; filtren l'aigua per extreure'n els petits organismes que hi ha en suspensió.
Vèrtebres del còccix en humans	No tenen cap funcionalitat, però ens indiquen una relació evolutiva amb animals amb cua.
Apèndix vermiforme en humans	Òrgan rudimentari no funcional. En els animals rosegadors és un lloc on es digereixen determinades fibres vegetals.
Músculs de les orelles en humans	Són rudimentaris i poc funcionals. Ens indiquen la relació amb molts mamífers que tenen músculs funcionals per moure les orelles.



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 parentiu, és a dir, hi ha un avantpassat comú més proper.



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.

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 parentiu evolutiu. Com més similitud, més parentiu evolutiu. Aquests estudis han servit per confirmar els estudis clàssics, fets a partir de les semblances morfològiques.

• [Activitats d'aprenentatge 11 i 12](#)

5. La selecció artificial

El mecanisme de selecció natural descrit per Darwin per a l'evolució dels organismes ha estat utilitzat de forma similar pels agricultors i ramaders durant centenars d'anys, per tal d'obtenir varietats més rendibles. Com?

Imagina't que ets un agricultor i que conrees any rere any blat de moro. Si has de guardar llavors per plantar l'any següent, quines llavors triaràs? El més normal és que agafis llavors de les plantes que més gra produeixen i que són més resistents a les plagues. Després de moltes generacions de fer aquesta tria, s'aconsegueix que les plantes de blat de moro siguin més productives i resistents. Aquest procediment clàssic per obtenir millors varietats agrícoles i ramaderes s'anomena **selecció artificial**, ja que és un mecanisme de selecció provocat per factors no naturals, o sia, no causats pel medi natural sinó per l'acció humana.

Cal dir que els organismes obtinguts per selecció artificial són generalment menys adaptats al medi natural que els seus parents salvatges. Això fa que necessitin unes atencions especials i que, moltes vegades, no sobrevisquin si creixen de forma salvatge.

Hi ha nombrosos exemples de selecció artificial, un d'ells és el dels gossos que, provinents d'un avantpassat comú, han arribat a constituir nombroses races amb trets característics.

• **Activitats d'aprenentatge 13 i 14**

6. L'aparició de noves espècies

Ja hem vist com les noves espècies apareixen gràcies al procés de selecció natural descrit per Darwin. Aquesta aparició de noves espècies pot ser de dos tipus: sense diversificació o amb diversificació.

Formació de noves espècies sense diversificació

Una espècie pot anar canviant per adaptar-se al medi. D'aquesta manera, després de moltes generacions, adquireix noves característiques que la fan força diferent de l'espècie ancestral. Aquest procés fa que l'espècie original es converteixi en una nova espècie, però no es produeix cap augment del nombre d'espècies (no augmenta la diversificació). Hi havia una espècie i, després de moltes generacions, hi continua havent una espècie. Podem dir que hi ha hagut una substitució de l'espècie ancestral per la moderna, més adaptada a les noves condicions mediambientals.

Formació de noves espècies amb diversificació

D'altres vegades, a partir d'una espècie es poden originar dues o més espècies. Com? Hi ha dues possibilitats: que les noves espècies visquin separades o que visquin juntes.

Espècies sorgides a partir de poblacions separades

En aquest cas hi ha una barrera geogràfica (una serralada, un desert, el mar, etc) que evita que les poblacions d'una determinada espècie es posin en contacte durant molt de temps. Després de milers o milions d'anys, les poblacions separades hauran acumulat força diferències per tal d'adaptar-se a les seves condicions de vida particulars. Aquestes diferències s'hauran produït mitjançant l'aparició de noves mutacions i l'actuació de la selecció natural. Si, un cop acumulades moltes diferències, posem en contacte les dues poblacions que van quedar separades moltes generacions enrere, què passarà? Doncs que les diferències acumulades faran impossible que s'aparellin i tinguin descendència fèrtil. Seran ja dues espècies diferents.

Aquest és el cas de les espècies de pinsans i tortugues que Darwin estudià a les Illes Galápagos.

Espècies sorgides a partir de poblacions que viuen a la mateixa zona

Els mecanismes que possibiliten que poblacions d'una mateixa espècie esdevinguin espècies diferents, tot i viure a la mateixa zona geogràfica, són més complexos. N'esmentarem un parell.

Aïllament estacional

L'aïllament estacional es produeix quan hi ha un grup d'organismes que es reproduïx en una època diferent a la de la resta de l'espècie.

Posem per cas una planta que viu a un bosc qualsevol. Poden haver-hi plantes que visquin a llocs on arribi molta llum i d'altres que visquin a zones força ombrívols. Les plantes que viuen amb molta llum es desenvolupen més aviat, i fan fulles i flors abans que la resta. Dels estams de les flors surten els grans de pol·len que han d'arribar a l'ovari d'una altra flor per tal que es produeixi la fecundació i es formin les llavors. Si quan les plantes que viuen ben il·luminades alliberen el pol·len, les que viuen a zones ombrívols encara no han florit, l'encreuament serà impossible. Quan les plantes de llocs ombrívols floreixin, els grans de pol·len que fabriquen, només podran arribar a flors d'altres plantes de llocs ombrívols, ja que les plantes més ben il·luminades ja hauran fet les llavors. Si aquest mecanisme es manté durant moltes generacions, es poden arribar a produir canvis adaptatius als diferents medis que arribin a produir l'aparició de dues espècies diferents. Un cop constituïdes les noves espècies, si casualment un gra de pol·len d'una d'elles arriba a la part femenina d'una planta de l'altra espècie, la fecundació dels gàmetes no es produirà. S'hauran acumulat prou diferències per fer impossible la fecundació dels gàmetes.

Aïllament sexual

L'aïllament sexual es produeix quan hi ha canvis morfològics o de comportament que dificulten l'encreuament entre determinats membres de l'espècie.

Aquest seria el cas, per exemple, d'un grup d'ocells que adoptessin petits canvis en la cerimònia de festeig prèvia a la còpula. Això faria que aquest grup d'ocells no s'encreués amb la resta de la població i acabés originant una nova espècie. Aquest canvi en el comportament pot tenir un origen molt divers. Podria ser d'origen alimentari, per exemple. Imagina't que alguns ocells s'alimentessin preferentment d'un aliment que provoqués petits canvis morfològics o hormonals que afectessin al comportament durant el festeig. Aquest hàbit alimentari acabaria per provocar un aïllament sexual que podria acabar per provocar l'existència de dues espècies diferents.

• **Activitats d'aprenentatge 15 i 16**

7. 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.

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. 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.

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.

Més endavant, en experiments similars, altres científics van aconseguir sintetitzar altres molècules orgàniques.

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.

L'aparició de la primera cèl·lula

Tota la matèria orgànica que s'anava sintetitzant, formava el que els científics Oparin i Haldane (començaments del segle xx) van anomenar **brou primitiu**, una barreja de matèria orgànica que es trobava als oceans, rius i llacs. 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. Aquestes estructures es formen espontàniament en solucions aquoses, només per atraccions elèctriques entre les molècules. Tanmateix, són estructures força fràgils, que es poden fracturar amb facilitat.

El següent pas fou l'aparició de membranes per protegir els coacervats i donar-los més fermesa. Les primeres membranes eren probablement unes senzilles estructures lipídiques (una doble capa de fosfolípids). Aquesta matèria orgànica envoltada d'una membrana és el que anomenem **protocèl·lula**.

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 possibilita la reproducció cel·lular. La vida havia començat. D'això fa uns 3.600 milions d'anys.

És important entendre que tots els passos que acabem de descriure de manera sintètica, van produir-se en milions d'anys. Cal considerar bàsic el temps perquè s'anessin produint els passos cap a la vida. Tornem, doncs, a la idea dels petits canvis graduals durant períodes de temps molt llargs, que menen a grans canvis.

L'evolució de les primeres cèl·lules

Les primeres cèl·lules eren heteròtrofes: s'alimentaven de matèria orgànica. Això no era cap problema, perquè durant milions d'anys s'havia anat acumulant matèria orgànica, com ja hem explicat. Tanmateix, els processos d'obtenció d'energia a partir de la matèria orgànica eren molt senzills i poc eficaços. Només es podia aprofitar una part de l'energia que contenia la matèria orgànica que els servia d'aliment. Aquest procés poc eficient d'aprofitament dels aliments s'anomena **fermentació**, i es produeix sense la participació d'oxigen atmosfèric. 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.

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.

Més endavant, 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 començaren a diversificar-se.

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. L'èxit dels organismes fotosintetitzadors va provocar una gran acumulació d'oxigen a l'atmosfera. A les capes altes de l'atmosfera, part d'aquest oxigen (O_2) 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.

La presència d'oxigen permeté també l'aparició d'un mètode molt més eficient d'obtenció de l'energia continguda en les molècules orgàniques: la **respiració cel·lular**. Aquest mètode permeté obtenir molta més energia de la matèria orgànica, i multiplicà les possibilitats de les estratègies evolutives.

• **Activitats d'aprenentatge 17 i 18**

8. L'aparició de l'ésser humà

I nosaltres? Què fem enmig d'aquest Univers immens i enmig d'aquesta Terra en evolució constant? Aquesta pregunta és difícil de respondre. Molts filòsofs i teòlegs han intentat trobar un sentit a la nostra existència, però cadascú ha de trobar la seva resposta. El que ara farem és estudiar el procés evolutiu que ha fet possible l'aparició de l'ésser humà.

Els éssers humans pertanyem a l'espècie *Homo sapiens*. Dins de la classificació d'organismes:

CATEGORIA TAXONÒMICA		TRETS PRINCIPALS
Regne	Animal	Obtenció activa de l'aliment. Gran desenvolupament del sistema nerviós.
Fílum	Cordats	Cordó nerviós dorsal. Eix cartilaginós o ossi.
Classe	Mamífers	Cos recobert de pèl. Glàndules mamàries. Orelles.
Ordre	Primats	Extremitats prènsils (amb capacitat per agafar coses). Vida essencialment arbòria. Ulls en posició frontal i situats dins d'una cavitat òssia. Desenvolupament del cervell i de la vista.
Família	Homínids	Posició erecta.
Gènere	Homo	Construcció d'eines i gran desenvolupament cerebral.
Espècie	Homo sapiens	Capacitat per parlar. Estructura social complexa. Consciència.

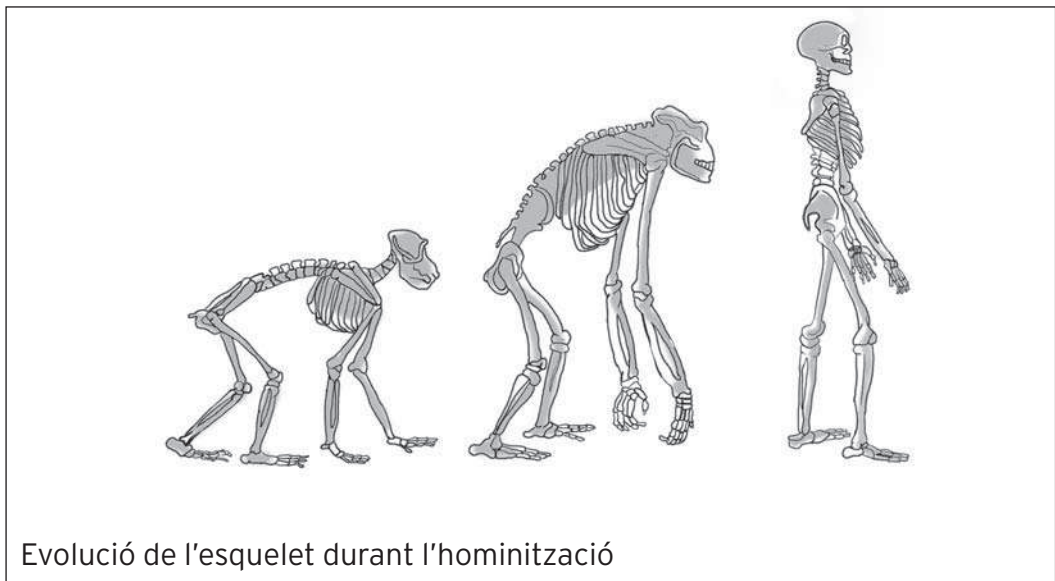
Dins dels primats podem distingir dos grans grups: els prosimis i els simis antropomorfs (simis amb forma humana). Dins dels simis antropomorfs, els humans pertanyem al grup dels **hominoideus**, que està format per tres famílies:

- **Pòngids** Ximpanzés, goril·les i orangutans
- **Hidrobàtids** Gibons i siamangs
- **Homínids** Només una espècie actual, *Homo sapiens*.
Hi ha diverses espècies fòssils, que pertanyen als gèneres *Ardipithecus* i *Australopithecus* i *Homo*.

La família dels pòngids és la més propera a nosaltres. Dins d'aquesta família, els ximpanzés i els goril·les ens són més propers. Els darrers estudis comparatius d'ADN i proteïnes revelen una estreta relació evolutiva entre ximpanzés, goril·les i humans. L'avantpassat comú pot situar-se fa uns 6 milions d'anys. En realitat, els homínids podrien ser inclosos dins dels pòngids.

El procés d'hominització és el que ha diferenciat els éssers humans dels ximpanzés i goril·les. Els 5 trets principals d'aquest procés són:

Posició erecta	Alineació de les cames amb el tros que precisa canvis en la pelvis i en l'articulació entre el fèmur i la pelvis.
Encefalització	Augment del volum del crani. Es passa dels 400 cm ³ dels primers homínids als 1.400 de l' <i>Homo sapiens</i> .
Producció d'eines	Elaboració d'eines per facilitar determinats processos, gràcies a l'habilitat manipuladora de les mans i al desenvolupament de la intel·ligència.
Dentició	Reducció dels ullals, que en els ximpanzés i els gorilles tenen una funció bàsicament defensiva. Enduriment dels molars per tal de poder alimentar-se de vegetals durs.
Capacitat simbòlica	Capacitat per imaginar i representar. Manifestacions artístiques. Rituals funeraris i altres cerimònies.



• **Activitats d'aprenentatge 19 i 20**