

8 L'evolució de les espècies



Objectius previstos

- Comprendre els principis bàsics de la teoria de l'evolució de Darwin, i també la situació social i cultural en què va formular aquesta teoria.
- Reconèixer la importància dels avenços en genètica per a completar la teoria neodarwinista.
- Comprendre el fonament dels diferents estudis per a comprovar com s'ha esdevingut l'evolució biològica.
- Comprendre i descriure les fases més significatives del procés d'hominització.
- Reconèixer la provisionalitat de les explicacions científiques i les modificacions que poden experimentar les teories a mesura que es produeixen nous avenços.
- Actuar d'acord amb els principis de solidaritat i respecte envers totes les persones.

Organització dels continguts

1. L'origen de les espècies abans de Darwin

2. La teoria de l'evolució de Darwin

3. La teoria neodarwinista

4. L'aparició de noves espècies

5. Proves de l'evolució

5.1. Estudi de fòssils

5.2. Estudi d'òrgans homòlegs i anàlegs

5.3. Estudis genètics

6. L'evolució de l'ésser humà

6.1. El gènere *Australopithecus*

6.2. El gènere *Homo*

Abans de començar...

Les dades més significatives sobre el procés de l'evolució humana han estat recopilades per investigadors que, com Mary Leakey, es van passar una bona part de la vida «cavant sota un sol de justícia», tal com afirma ella mateixa. Els fòssils que Leakey va extreure excavant a l'Àfrica, entre 1935 i 1984, han contribuït a aclarir, en part, el procés de l'evolució humana.

Tanmateix, en una entrevista publicada a la revista *Investigación y Ciencia*, el gener de 1995, advertia sobre el risc d'interpretar de manera precipitada els resultats de les excavacions, i recomanava prudència.

«No sabem gaires coses, i com més sabem més ens adonem de fins a quin punt eren errades les primeres interpretacions. La interpretació és un exercici mental necessari, però la gent s'enardeix molt, perd la mesura i acaba fent el ridícul.»

Tal com veurem a continuació, la polèmica, de vegades força viva, ha acompanyat el desenvolupament de la teoria de l'evolució des dels seus orígens.

Recorda

- Per a la reproducció sexual d'un individu es requereix la unió de dues cèl·lules especialitzades, anomenades gàmetes.
- El nombre de cromosomes d'un gàmeta s'anomena dotació haploide i es representa n ; el d'una cèl·lula somàtica rep el nom de diploide i es representa $2n$.
- Al llarg dels cromosomes es distingeixen fragments que contenen informació per a diferents caràcters hereditaris que reben el nom de gens.
- La informació per a cada caràcter pot variar; cadascuna de les variacions que pot presentar rep el nom d'al·lel.
- Les mutacions són canvis en la composició química del DNA. Es produeixen de forma espontània i també per l'acció de diversos factors externs o interns que interaccionen amb el DNA.

1. L'origen de les espècies abans de Darwin

Les teories científiques són gairebé sempre el resultat de llargs processos d'elaboració, comprovació i contínua revisió, en els quals participen nombrosos especialistes, molt sovint pertanyents a diferents èpoques històriques. L'entorn social, polític i econòmic de cada moment històric pot condicionar el fet que les teories progressin ràpidament o bé que se n'obstaculitzi el desenvolupament.

Europa en el segle XIX

Per a una gran majoria d'historiadors, el segle XIX s'inicia amb la Revolució Francesa i es perllonga fins a l'esclat de la Primera Guerra Mundial.

Aquest llarg període es caracteritza per les grans transformacions i contradiccions provocades per la industrialització, per les reivindicacions i revolucions burgeses, obreres i pageses, per la consolidació del capitalisme i del liberalisme, per l'expansió dels moviments nacionalistes i pel xoc dels interessos polítics i econòmics dels Estats, abocats a la creació d'imperis colonials.

La nova societat sorgida de la industrialització, conjuntament amb l'establiment de noves disciplines científiques, va afavorir el desenvolupament intel·lectual i l'afany de coneixement, que van generar una confiança il·limitada en les possibilitats de l'ésser humà per a dominar la natura.

Aquest esperit va impregnar tota la societat, i la va fer participar, cada cop més, dels avenços de la ciència i de les seves aplicacions, i també dels descobriments dels grans exploradors que somniaven a arribar a tots els racons del planeta.

Tanmateix, el món de mitjan segle XIX encara no estava preparat per a assimilar les idees revolucionàries de Charles Darwin. La difusió de les seves teories va representar la primera gran polèmica científica, ja que contradieia les creences basades en la interpretació literal de la *Bíblia* sobre la creació del món i dels éssers vius, alhora que equiparava l'ésser humà a la resta de les espècies, tant pel que fa a l'origen com a l'evolució.

El desenvolupament d'estudis posteriors va confirmar no tan sols les teories de Darwin, sinó també el reconeixement de la ciència, en tots els seus àmbits, i dels científics com a pilars bàsics per al progrés de les societats modernes.



Detall d'una pintura commemorativa del primer centenari del naixement dels Estats Units d'Amèrica (1876). S'hi representen alguns avenços, com els progressos en la navegació i en les tècniques agrícoles, aconseguits durant el segle XIX.



Georges Cuvier (1769-1832) fou un naturalista francès, defensor apassionat del catastrofisme.

Les preguntes relacionades amb l'origen de la Terra i de la vida han estat constants al llarg de la història de l'ésser humà. Les respostes suggerides per diversos pensadors i científics han girat sempre al voltant de dues teories contraposades:

- La teoria **fixista** proposa que la Terra i els éssers vius han estat creats per Déu, tal com es desprèn de la interpretació literal de l'Antic Testament, i que han estat sempre tal com són en l'actualitat, sense experimentar cap canvi ni modificació.

A la fi del segle XVIII, amb motiu del gran interès pels fòssils, l'existència dels quals no es podia justificar mitjançant la teoria fixista, va sorgir la idea del **catastrofisme**. Aquesta teoria explicava l'existència de fòssils diferents dels éssers vius actuals com a conseqüència d'extincions provocades per grans catàstrofes descrites en la *Bíblia*. D'aquesta manera es matisava, tot i que no s'abandonava, la idea del fixisme.

- La teoria **evolucionista** defensa que els éssers vius han anat canviant al llarg de la història i que se n'han modificat les estructures i l'organització.

La teoria evolucionista no és pas més moderna que la fixista: el grec Anaximandre, en el segle VI a. C., i Lucreci, en la Roma del segle I a. C., ja proposaven un origen evolutiu de les espècies actuals. Tanmateix, les idees fixistes van prevaler durant segles fins que, a la fi del segle XVIII, l'atenció dels científics va començar a centrar-se en l'origen dels éssers vius.

Els treballs de classificació dels éssers vius que es van desenvolupar en aquesta època es basaven en llurs semblances i diferències. Això va conduir, inevitablement, a suposar que hi havia relacions de parentiu entre diversos grups d'éssers vius, la qual cosa es podia explicar si havien evolucionat els uns a partir dels altres.

D'aquesta manera es van estendre les idees evolucionistes entre nombrosos científics de l'època, que s'enfrontaven als seus col·legues partidaris de les tesis fixistes.

A començament del segle XIX, el naturalista francès Jean-Baptiste de Monet, cavaller de Lamarck, havia completat la classificació dels invertebrats que Carl von Linné havia iniciat. A partir de la seva experiència, va començar a elaborar una teoria que representa el primer plantejament rigorós sobre la possibilitat de l'evolució. La seva teoria es basava en els principis següents:

- Els éssers vius tenen una **intenció** per progressar, i per aquest motiu fan un ús intensiu d'algunes parts o òrgans del seu cos, mentre que d'altres, en canvi, les deixen d'utilitzar.
- Per aquesta raó, alguns òrgans **es desenvolupen**, mentre que d'altres desapareixen pel fet d'estar en **desús**.
- Aquests **canvis** modifiquen l'estructura dels organismes i es transmeten als **descendants**.

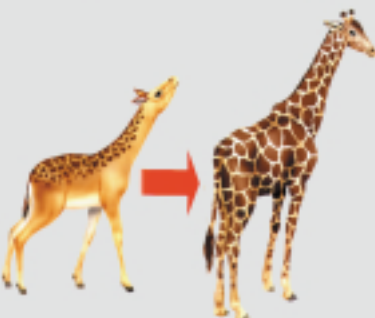
La formulació d'aquesta teoria va obrir el debat, i la seva anàlisi va mostrar que en alguns punts no es podia sostenir:

- La intencionalitat dels éssers vius per modificar llur organisme. Resulta impensable de creure que els éssers vius fan un esforç per modificar-se; els casos en què l'evolució implica canvi de coloració (de la pell, de les plomes...) no es poden explicar de cap manera per aquest principi.
- La transmissió de les modificacions als descendents. En aquella època no es coneixia l'existència dels cromosomes ni dels gens, però era difícil d'acceptar que les modificacions que el cos d'un organisme podia patir durant la vida passessin als seus descendents (les persones amb una extremitat amputada no transmetien pas aquest caràcter a llurs descendents).

A més, Lamarck no disposava de proves ni demostracions basades en dades comprovables que poguessin sostenir la seva teoria. No obstant això, cal reconèixer-li el mèrit de plantejar-se seriosament el tema de l'evolució per primera vegada en la història de la ciència.

L'any 1809 va néixer Charles Darwin. Tot i que no era un estudiant brillant, tenia un gran interès per les qüestions relacionades amb la natura i mostrava molts dots d'observació i anàlisi.

Els punts de vista catastrofista i evolucionista van enfrontar Cuvier i Lamarck. Les al·lusions sarcàstiques que cadascun va fer de les idees de l'altre els van enemistar fins al punt que Cuvier, poderós i ben considerat, va fer valer les seves influències per a desprestigiar completament Lamarck.



L'evolució que va conduir a les girafes actuals segons la teoria evolucionista de Lamarck.



Charles Darwin (1809-1882).

El treball consciencios de Darwin i el seu interès per incloure el major nombre possible d'exemples van provocar que l'elaboració del llibre on exposava les seves teories es prolongués des de l'any 1844 fins al 1858.

Els seus amics l'advertien de la possibilitat que altres científics se li avancessin, ja que la idea de l'evolució centrava els treballs de molts investigadors.

Així, Alfred R. Wallace, un naturalista anglès que, com Darwin, havia participat en diverses expedicions científiques, va enviar-li un document, l'any 1858, en el qual exposava les seves tesis sobre l'evolució amb raonaments gairebé idèntics als que ell estava emprant en el seu llibre.

Darwin, que a més d'un gran científic era un home modest i honorat, va fer arribar el treball de Wallace a altres científics i es va oferir a treballar amb ell. D'aquesta manera van formular conjuntament llurs conclusions sobre l'evolució.

L'any següent, 1859, Darwin va publicar *L'origen de les espècies per mitjà de la selecció natural o la supervivència dels individus més capacitats en la lluita per la vida*, obra més coneguda amb el títol de *L'origen de les espècies*, que va revolucionar el panorama científic de l'època.

El 1831 va sorgir l'oportunitat que va canviar la seva vida. Es va embarcar com a naturalista en el *Beagle*, un vaixell que salpava amb l'objectiu de fer un recorregut científic arreu del món. El viatge va durar cinc anys i, de les seves observacions per diferents zones del planeta, Darwin en va obtenir dades molt valuoses que li van permetre d'elaborar la seva teoria sobre l'evolució.

A diferència de la que havia proposat Lamarck, la teoria de Darwin se sostenia en nombrosos exemples i proves, recopilats al llarg d'anys de treball.

2. La teoria de l'evolució de Darwin

En el procés d'elaboració d'aquesta teoria, hi van tenir una influència fonamental els fets següents:

- Les observacions de Darwin durant l'expedició del *Beagle*. La visita a les illes Galápagos va ser especialment profitosa, ja que l'observació d'espècies noves, però semblants a d'altres de conegudes, va començar a suggerir-li una idea coherent sobre l'evolució.
- Els treballs del geòleg Charles Lyell, el qual afirmava que a la Terra no hi havia hagut grans catàstrofes, sinó que les modificacions de la seva estructura es devien a canvis lents però continus, produïts durant milions d'anys.
- La lectura de l'obra *Assaig sobre el principi de la població*, de Thomas R. Malthus, que, tot i que es referia exclusivament a l'espècie humana, generalitzava la idea següent: els individus solen deixar més descendents dels que es necessiten per a mantenir les poblacions; no obstant això, aquestes poblacions tendeixen a ser estables i, per tant, una part dels individus que neixen no arriben a l'edat reproductora.
- La constatació d'un fet que Darwin va considerar un exemple clar d'evolució: la selecció que els ramaders feien dels animals. Per a la reproducció, seleccionaven els individus que presentaven unes determinades característiques i refusaven la resta. D'aquesta manera s'aconseguien espècies més productives.

Quan totes les peces del trencaclosques van haver encaixat, Darwin va publicar *L'origen de les espècies*, en què exposava la seva teoria, basant-se en els principis següents:

- Els éssers vius d'una mateixa espècie no són idèntics; hi ha diferències entre uns i altres, és a dir, hi ha **variabilitat**.
- Les condicions de l'ambient no es mantenen constants al llarg del temps o de l'espai i, en certs moments, es produeixen **canvis** que posen en perill la supervivència d'alguns individus.
- D'entre la variabilitat existent, hi ha individus que presenten alguna diferència que els permet de sobreviure en les noves condicions ambientals, és a dir, hi ha individus que tenen **avantatge** i que són **seleccionats de manera natural**.
- Aquests individus sobreviuen més temps que la resta, es reproduïxen més favorablement i deixen **més descendents**.

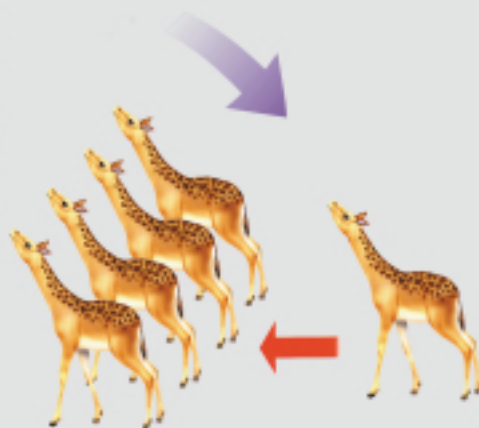
La teoria, dissenyada d'aquesta manera, permet d'explicar el mecanisme pel qual es van produint canvis en els éssers vius. Un exemple clàssic és l'explicació sobre l'evolució de les girafes.



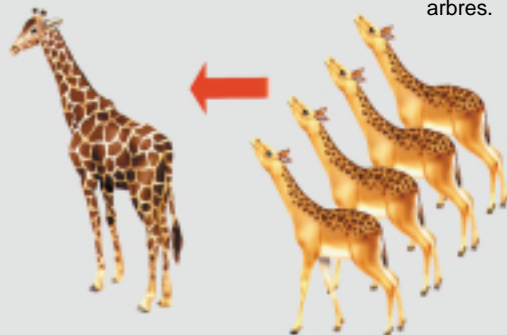
En la població original hi ha variabilitat pel que fa a la llargària del coll d'aquests animals.



Quan l'aliment escasseja, els individus que tenen el coll més llarg tenen més facilitat per a arribar a les fulles de les parts altes dels arbres.



Aquests individus estan més ben alimentats, viuen més temps i deixen més descendents que la resta. Aquests descendents tenen una major probabilitat de tenir el coll més llarg que la resta de llurs congèneres.



Aquest procés, repetit al llarg del temps, provoca l'allargament de la llargària del coll en tota la població.

La teoria de Darwin estava molt ben elaborada; tanmateix, no concretava dos aspectes fonamentals: com es produeix la variabilitat en les poblacions, i com es transmeten els caràcters d'una generació a la següent.

En l'actualitat es coneixen les respostes a totes dues qüestions, i són unes respostes que encaixen en una teoria nova, que analitzarem en l'apartat següent. Aquesta teoria sintetitza els principis darwinistes amb les aportacions de la genètica.

Exercicis

1. Identifica en les vinyetes anteriors cadascun dels principis de la teoria de Darwin descrits en la pàgina anterior.
2. Pensa en el procés d'evolució que afecta la coloració de la pell dels tigris. Elabora una hipòtesi sobre com es va produir, segons aquest guió:
 - Característiques de la població inicial.
 - Factors ambientals que van poder afectar-la.
 - Desenvolupament del procés de selecció i les seves causes.
 - Característiques de la població actual.
 - Prepara una exposició oral per a defensar la teva hipòtesi.
 - Enceta un col·loqui amb els companys perquè hi exposin els conceptes que no han quedat clars.
 - Elabora arguments per a rebatre les crítiques que et puguin fer.
3. D'acord amb els principis de la teoria de Darwin, explica el significat del títol complet de la seva obra: *L'origen de les espècies per mitjà de la selecció natural o la supervivència dels individus més capacitats en la lluita per la vida*.
4. Elabora un informe sobre les semblances i les diferències entre els principis de la teoria de Lamarck i els de la teoria de Darwin.

3. La teoria neodarwinista

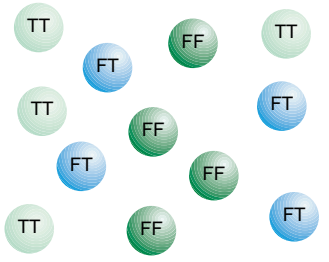
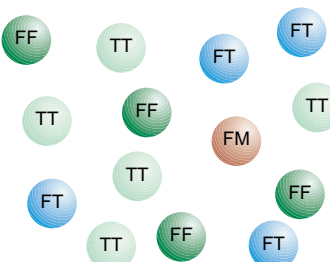
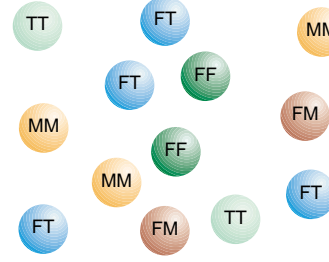
Al començament del segle XX, els primers estudis de genètica van permetre d'explicar que la **variabilitat** s'origina a partir de les mutacions que experimenta de manera espontània el DNA dels individus, i que les característiques d'un individu **s'hereten** mitjançant els gens, que es localitzen en els cromosomes i que passen d'una generació a la següent durant el procés de reproducció.

La teoria de l'evolució va ser plenament acceptada gràcies al desenvolupament de la genètica i, concretament, als estudis de *genètica de poblacions*, que han permès d'analitzar de forma quantitativa el procés d'evolució. La **genètica de poblacions** es basa en l'estudi de les característiques d'una **població**, definida com un conjunt d'individus d'una mateixa espècie que habiten en una zona geogràfica concreta i que comparteixen un conjunt de gens.

Perquè en una població hi hagi evolució, cal que existeixin:

- **Variabilitat**, que es produeix en les poblacions per diversos mecanismes:
 - **Mutació**. Es generen modificacions en el DNA, les quals tenen conseqüències imprevisibles en la població.
 - **Recombinació durant la meiosi**. Aquest fenomen afavoreix la formació de gàmetes diferents.
 - **Migració o flux gènic**. Es produeix quan hi ha encreuaments amb poblacions diferents, que provoquen la incorporació de nous al·lels a la població original.
 - **Deriva genètica**. És un canvi aleatori de la freqüència dels al·lels en una població; pot ser degut a la reducció sobtada d'una població quan se'n desprenen un grup d'individus per formar una nova població.
- **Pressió de selecció**, és a dir, una modificació en les condicions ambientals que afavoreixi la supervivència d'uns individus i limiti la dels altres.

Els estudis de genètica de poblacions analitzen el tipus d'al·lels que presenta una població per a un o per a diversos caràcters, la proporció de cada al·lel o freqüència gènica, i la manera com varia aquesta proporció en el temps. En l'exemple següent es mostra de quina manera es pot modificar la composició d'al·lels d'una població.

		
<p>Una població presenta una composició d'al·lels constant. Si, a més, està en equilibri amb l'ambient, no es produeix evolució.</p>	<p>Si apareix una mutació, és sotmesa a la selecció: si proporciona avantatges a l'individu que la presenta, aquest es reproduïx més favorablement.</p>	<p>Amb el temps, el nou al·lel augmenta la seva presència en la població: s'ha seleccionat.</p>

En darrer terme, l'evolució condueix a l'**adaptació**, que en aquest cas es defineix com el procés pel qual, a través de successives modificacions favorables, una població aconsegueix de solucionar un problema al qual està sotmesa per pressió de selecció.

Per exemple, el pas de la vida aquàtica a la vida terrestre que van realitzar els vertebrats primitius va comportar un seguit de problemes, entre els quals hi havia els següents:

- L'aire és menys dens que l'aigua i no contribueix a sostenir el pes del cos.
- L'aigua, una substància imprescindible per a la vida, escasseja.

La variabilitat i la pressió de selecció van permetre les modificacions més adequades per a resoldre aquests problemes de la manera més eficaç.

- El pes del cos s'alleugereix i apareixen quatre extremitats que permeten d'aixecar el cos del terra per a desplaçar-se, ja que la poca densitat de l'aire no facilita el sosteniment del cos.
- La superfície del cos es cobreix amb la pell, una capa que limita la pèrdua d'aigua per transpiració.

Aquestes modificacions menen a l'adaptació i són el resultat d'un procés gradual, en el qual s'han produït nombrosos encerts i també errors. De fet, se sap que centenars de milions d'espècies es van extingir perquè les modificacions incorporades no van resultar ser les millors solucions als problemes d'adaptació.

Encara que estiguin ben adaptades al medi, totes les poblacions mantenen un cert nivell de variabilitat. És una garantia que la població pot continuar evolucionant i pot adaptar-se a unes noves condicions si la pressió de selecció ho requereix.

Un exemple el constitueix el sistema de grups sanguinis ABO en l'espècie humana. Hi ha diversos al·lels, però cap no representa un avantatge o un desavantatge per a les poblacions; per això es mantenen tots els diversos al·lels.



Les característiques de l'esquelet i la musculatura del guepard li permeten de córrer a gran velocitat quan persegueix les seves preses. És una adaptació perfecta al seu tipus de vida.

Exercicis

5. Suposa que en una població es produeix una mutació. Elabora un informe sobre cadascun dels casos següents:
 - La mutació és seleccionada.
 - La mutació desapareix de la població.
 - Disseny un ambient per a la població.
 - Proposa un caràcter amb un al·lel que experimenti la mutació.
 - Utilitza esquemes i diagrames en arbre per a indicar el seguiment de la mutació en els individus de la població.
 - Imagina't un canvi que sotmeti la mutació a pressió de selecció.
 - Elabora les teves conclusions.
 6. Consulta les unitats anteriors i busca-hi les informacions que corresponguin a les característiques morfològiques i funcionals de les aus. Explica quines modificacions de l'organisme els han permès d'adaptar-se al vol.
 7. Imagina't un ramader que pretén de millorar la productivitat de la seva població de gallines ponedores. Explica quins factors cal que tingui en compte i de quina manera pot aconseguir aquest procés artificial d'evolució.
-

4. L'aparició de noves espècies

El concepte genètic d'**espècie** (un conjunt d'individus que es poden reproduir entre ells i originar descendents fèrtils) implica un **aïllament genètic**. Aquest aïllament consisteix en la impossibilitat per a l'encreuament entre espècies, bé perquè existeixen mecanismes que impedeixen la fecundació, o bé perquè, en el cas que es produeixi aquesta fecundació, els individus que en resulten no són fèrtils.

Per tant, el procés d'aparició d'una nova espècie o **especiació** s'esdevé quan, en una població, un grup d'individus evoluciona fins al punt que l'encreuament amb els individus de la població original ja no és possible. L'especiació es produeix quan existeixen causes que impedeixen la reproducció d'un grup d'individus amb la resta.



Un braç de mar pot dividir una població en dos i originar dues espècies diferents.



En un mateix bosc, l'aparició d'individus poliploides pot diferenciar una nova espècie.

- Es parla d'especiació **al·lopàtrica** quan una població queda aïllada geogràficament de la resta dels individus. Els dos grups de població evolucionen separatament fins que l'encreuament entre ells ja no és possible.

Les barreres geogràfiques poden ser de tipus molt diversos. Els moviments de terres o la separació d'illes, tot i que es produeixen molt lentament, aïllen uns individus dels altres. També pot haver-hi aïllaments bruscos: per exemple, la tala d'una part d'un bosc que el divideixi en dues zones pot deixar aïllats dos grups d'individus d'una mateixa espècie.

- L'especiació **simpàtrica** s'esdevé quan els impediments per a la reproducció entre dos grups d'individus no són de tipus geogràfic.

Un mecanisme d'aquest tipus és l'aparició d'individus poliploides. Tal com hem descrit en la unitat anterior, es poden produir mutacions que incrementin, en un nombre múltiple de n , la dotació cromosòmica d'un individu.

— La fecundació de dos gàmetes diploides produeix un individu tetraploide.

— Aquest individu tetraploide produeix gàmetes diploides que poden unir-se a:

- Gàmetes normals, que en la generació següent originaran individus triploides ($3n$); en general, aquests individus no són fèrtils perquè el procés de meiosi no es pot dur a terme amb normalitat.
- Gàmetes diploides, que originaran nous individus tetraploides ($4n$).

Per tant, apareix una barrera reproductiva entre individus $4n$ i individus $2n$, ja que només produeixen descendents fèrtils els encreuaments d'individus $2n$ entre ells, i els d'individus $4n$ entre ells.

Quan ja s'han diferenciat completament, les noves espècies poden conviure en el mateix espai físic, ja que al llarg del procés se solen accentuar diferències com ara els senyals de reconeixement entre individus, els moviments durant el ritual del festeig, el cant, les èpoques reproductores, etc., que impedeixen l'encreuament entre ambdues espècies.

5. Proves de l'evolució

La teoria de l'evolució se sosté en nombroses proves; a continuació en descriurem algunes.

5.1. Estudi de fòssils

Els **fòssils** són restes d'éssers vius del passat que van quedar dipositades en conques de sedimentació i que foren sotmeses a unes condicions que en van permetre la transformació química i la mineralització. També s'han trobat fòssils d'empremtes d'animals o de gotes de pluja, formats quan el substrat sobre el qual van quedar impreses aquestes marques va experimentar un procés similar a l'anterior.

La recerca i l'estudi de fòssils és una activitat que no duen a terme tan sols els paleontòlegs, sinó també persones afeccionades. El mètode de treball més habitual és el següent:

— Els fòssils es troben, principalment, inclosos en roques sedimentàries, encara que també se n'han localitzat en roques volcàniques. Els llocs més indicats són aquells en els quals s'han produït moviments orogènics importants que han fet aflorar materials més profunds. Aquestes roques estan sotmeses a l'erosió, i aleshores en queda l'interior al descobert.

De vegades, algunes activitats humanes (explotació de mines, obres d'excavació...) posen al descobert terrenys als quals no es podia accedir d'una altra manera i faciliten aquesta mena de troballes.

— L'extracció es realitza excavant amb molta precaució amb martells i cisells, per a separar el fòssil del material que l'envolta. Per als fòssils de dimensions reduïdes són útils les lupes i els pinzells.

— A continuació, es poleix el fòssil amb eines més fines, com ara cisells petits, agulles i puntes, per tal d'eliminar les restes de roca sense fer malbé els exemplars.

— Els fòssils es guarden en bosses o en sobres, amb etiquetes en les quals consten el lloc i la data de la troballa. Qualsevol altra anotació cal fer-la en un quadern de camp.

— Un cop s'han dut al laboratori, es procedeix de dues maneres diferents, segons com sigui la matriu que conté el fòssil:

- Si es tracta de sorra, n'hi ha prou de raspallar i rentar amb aigua.
- Si la matriu és més consistent, es poden fer servir polidores elèctriques, agulles robustes i làmines tallants que, usades amb molta precaució, permeten d'alliberar el fòssil de la matriu que el conté.

— Si les restes s'han trobat fragmentades, es reconstrueixen i s'hi apliquen substàncies adhesives molt resistents per a recompondre-les.

— A continuació s'analitza a quin grup d'éssers vius correspon.

Els fòssils es classifiquen en espècies, de la mateixa manera que els éssers vius actuals. Tanmateix, el criteri d'interfertilitat lligat al concepte d'espècie no és vàlid en aquest cas. Els especialistes defineixen una espècie fòssil tenint en compte les diferències que observen entre un exemplar nou i altres restes que ja han estat estudiades. Per a aplicar aquest criteri, es necessiten nombrosos exemplars, amb els quals s'obtenen valors mitjans significatius, útils per a la comparació de diversos grups.

La **paleontologia** és l'especialitat que té com a objecte l'estudi dels fòssils per a deduir les característiques dels éssers vius que els van originar i les de l'ambient en què van viure.

La datació de l'estrat on es troba inclòs un fòssil permet de determinar-ne l'edat. Això el relaciona amb unes determinades condicions del territori on va viure.



Quan es disposa de pocs exemplars, els paleontòlegs es veuen obligats a aplicar altres criteris menys exactes, ja que algunes diferències que es poden considerar importants respecte d'altres restes semblants poden correspondre a la variabilitat pròpia d'una mateixa població.

La reconstrucció de l'ambient en què va viure l'ésser viu fossilitzat pot proporcionar informació sobre les seves característiques físiques i el seu comportament.

D'un fòssil, ens n'interessen algunes característiques que es mostren en l'exemple següent:



Nom: *Parkinsonia parkinsoni*.

Classificació: mol·lusc.

Descripció: conquilla espiral aplanada de 7 a 10 cm de diàmetre.

Edat: 175 milions d'anys.

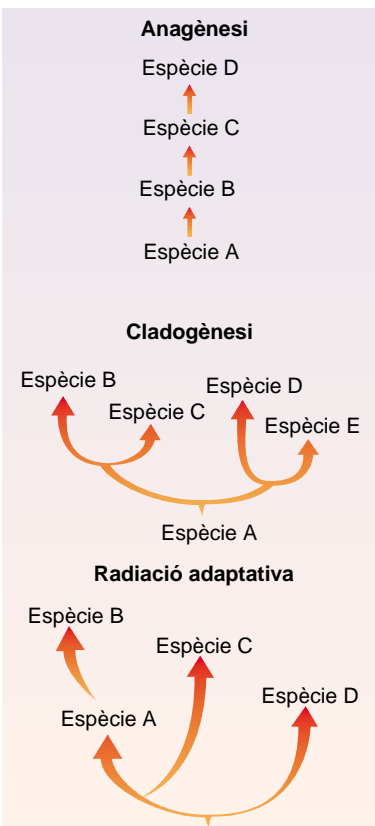
Era: Mesozoic.

Període: Juràssic.

Localització: Europa, nord d'Àfrica, zona del Caucas i l'Iran.

L'estudi del registre fòssil ens ha permès la reconstrucció d'una bona part de la història de la vida. Aquest estudi fa palesos aspectes que sostenen la teoria de l'evolució i que proporcionen informació sobre la manera com es poden produir els canvis evolutius. Per exemple:

- Els éssers vius que han habitat la Terra des dels orígens no han estat sempre els que coneixem en l'actualitat.
- S'han trobat nombroses restes d'éssers vius d'un mateix grup que, amb el pas de milions d'anys, presenten modificacions successives. D'aquesta manera es poden observar canvis graduals que condueixen a la substitució d'una espècie per una altra. Aquest procés s'anomena **anagènesi** o **evolució filètica**.
- A partir d'un grup ancestral, en diversos moments de la història de la Terra s'originen grups divergents. En aquest cas, es parla de **cladogènesi** o **evolució diversificadora**.
- Sovint es pot observar la combinació dels dos fenòmens anteriors: successió de grups diferents a partir d'un d'inicial i progressiva modificació de cadascun. Són els casos en què es produeix **radiació adaptativa**.
- Es poden observar fenòmens d'extinció d'espècies o de grups d'espècies al llarg de tot el procés evolutiu.



Exercicis

8. Busca informació en una guia de fòssils sobre les espècies següents:
Nummulites, *Sigillaria*.

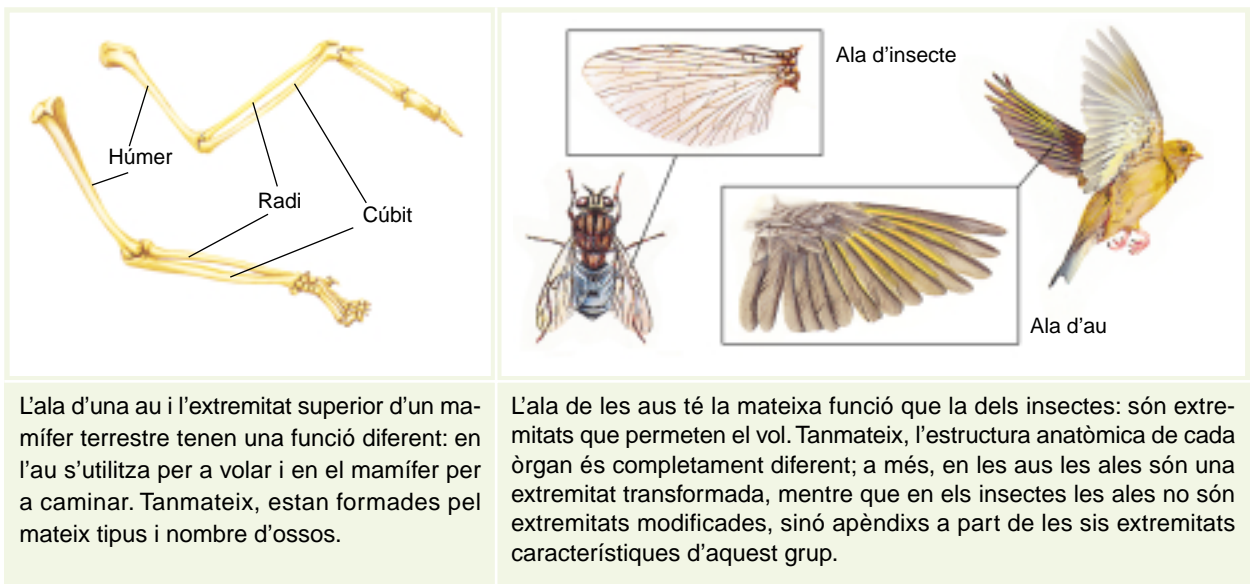
— Confecciona una fitxa com l'anterior de cadascun d'aquests fòssils.

5.2. Estudi d'òrgans homòlegs i anàlegs

L'especialitat que duu a terme aquest tipus d'estudis és l'**anatomia comparada**. S'hi estudien les característiques d'òrgans similars en grups diferents, comparant-los tant pel que fa a l'anatomia com a la funció. D'aquesta manera es poden establir, o descartar, relacions evolutives entre diferents grups d'éssers vius o de fòssils.

Dos òrgans són **homòlegs** si tenen **funció diferent** en diversos grups d'éssers vius, però llur **origen és comú**, ja que aquest origen es pot identificar en un grup ancestral d'éssers vius. En canvi, dos òrgans són **anàlegs** si, tot i que compleixen **la mateixa funció**, tenen un **origen diferent**.

La informació que s'obté dels estudis d'anatomia comparada es basa en el fet que, al llarg del procés evolutiu, les solucions adaptatives enfront d'un mateix problema són escasses. El que s'acostuma a produir és una radiació adaptativa a partir d'un avantpassat ancestral comú: es mantenen unes estructures bàsiques comunes i els diversos grups que es diferencien incorporen noves modificacions que especialitzen cada òrgan.



En el cas anterior, l'ala de les aus i l'extremitat superior d'un mamífer són òrgans homòlegs perquè la seva estructura és comuna; per això podem establir un parentiu directe entre aquests grups.

En canvi, els insectes i les aus no tenen cap relació evolutiva, perquè encara que llurs ales tenen la mateixa funció, l'estructura d'aquests apèndixs fa palesa una solució evolutiva diferent.

Els **òrgans vestigials**, és a dir, els òrgans que no desenvolupen cap funció, indiquen també relacions evolutives.

Les vèrtebres de la zona coccigeal de la nostra columna són una resta de la llarga cua que els nostres avantpassats, animals semblants als simis, feien servir per a subjectar-se als arbres. És el mateix cas dels queixals del seny, el fenomen de la piloerecció i l'apèndix del cec de l'intestí.

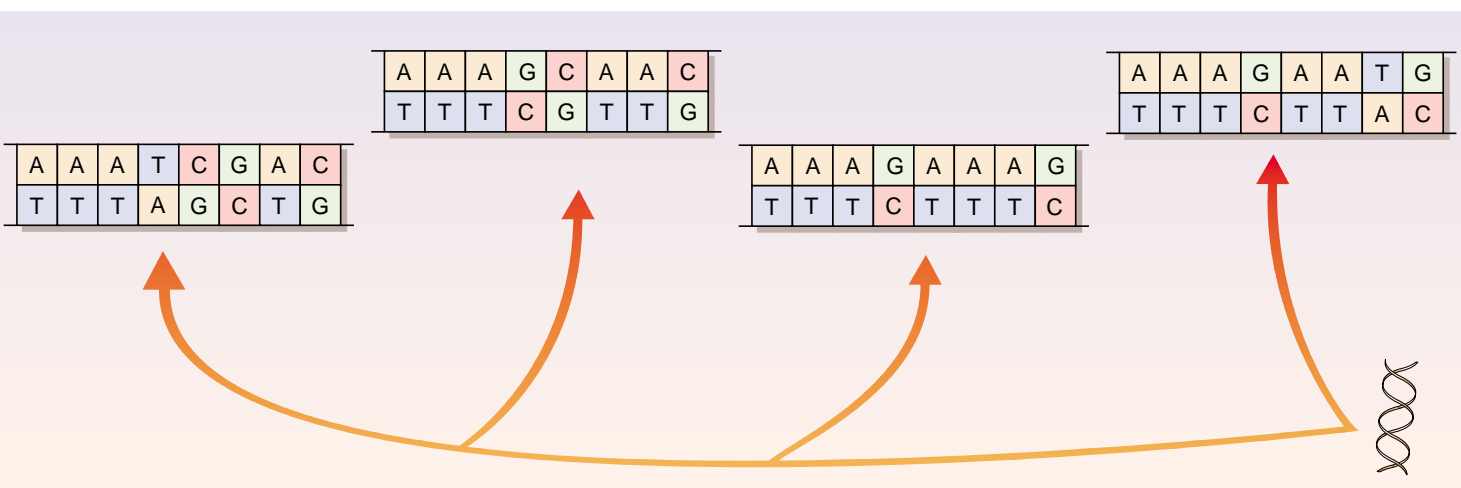
5.3. Estudis genètics

Les tècniques d'anàlisi genètica també s'utilitzen per a aclarir el procés evolutiu que va originar els diversos grups d'éssers vius.

El reconeixement d'un origen comú per a tots els éssers vius i llur posterior diversificació, gràcies a la mutació i la selecció, permet de relacionar les diferències o semblances genètiques entre diversos grups amb llur grau de parentiu dins del gran arbre genealògic de la vida.

D'aquesta manera, quan els processos de cladogènesi originen grups d'éssers vius diferents, aquests grups acumulen mutacions que finalment els fan tenir una composició genètica diferent.

Alhora, els grups evolutivament més propers són el resultat de processos de cladogènesi més recents; per tant, presenten poques mutacions diferencials i llur constitució genètica és molt semblant.



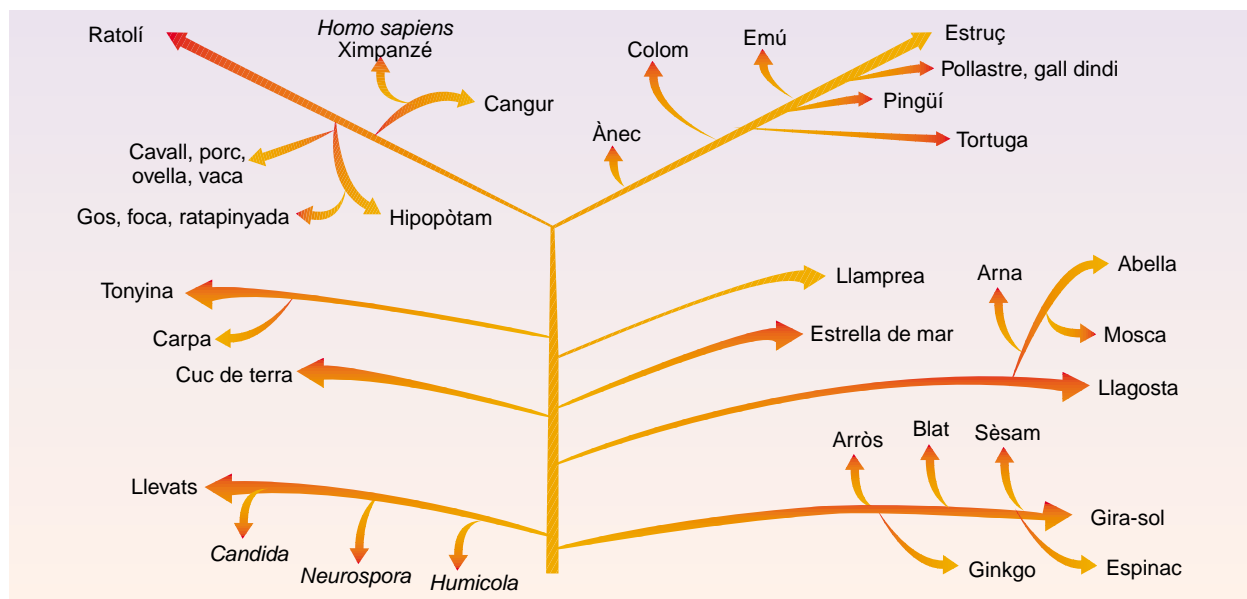
Les diferències o semblances en la constitució genètica de dos grups d'éssers vius es poden mesurar analitzant i comparant la seqüència d'aminoàcids d'una mateixa proteïna o dels nucleòtids d'un fragment de DNA.

Les anàlisis genètiques aplicades als estudis d'evolució tenen dos avantatges importants respecte d'altres tipus d'estudis:

- Les diferències o semblances es poden quantificar en forma d'un nombre, per exemple un percentatge. Quan s'afirma que entre dues espècies hi ha un 70% de semblança en la composició d'una proteïna, s'està dient que de cada 100 aminoàcids, 70 coincideixen i 30 són diferents.
- Atès que el codi genètic és igual per a tots els éssers vius, els mètodes genètics permeten d'establir comparacions entre grups d'éssers vius molt diferents. Així es pot comparar la constitució genètica d'un fong amb la d'un dofí o un avet.

Les primeres comparacions es van dur a terme estudiant la composició en aminoàcids de les proteïnes; tanmateix, en l'actualitat, l'anàlisi de la seqüència de nucleòtids del DNA està desenvolupada del tot i és encara més precisa.

Un dels primers casos estudiats va ser el del citocrom c, una proteïna transportadora d'electrons que és present en totes les cèl·lules eucariotes. Les semblances i diferències que presenta aquesta proteïna en diverses espècies han permès d'establir un arbre genealògic en el qual es representen les relacions entre diversos grups d'éssers vius.



Exercicis

Adaptat i traduït de Principios de Bioquímica, de Lehninger, Nelson i Cox. Editorial Omega.

9. A la fi del segle XIX es va produir, als afores de Manchester, un cas d'evolució ràpida que es presenta com una prova més en suport de la teoria evolutiva.

Aquest fenomen va afectar la papallona *Biston betularia*. La població inicial estava formada per papallones de color clar que vivien en boscos de bedolls, que es caracteritzen pel color clar de l'escorça. A causa de la instal·lació d'un gran nombre de fàbriques que emetien molta quantitat de sutge a l'atmosfera, la població va evolucionar cap a papallones de color fosc.

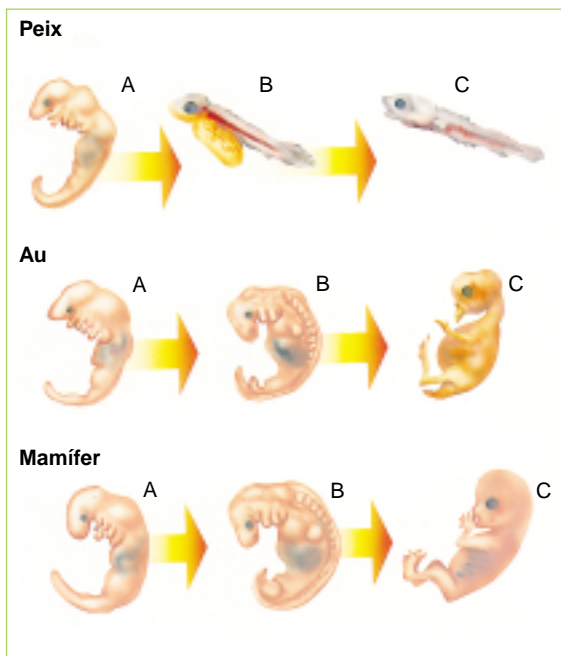
— Analitza tots els factors que hi van coincidir i, amb els teus coneixements sobre com s'esdevé l'evolució, descriu:

- Les característiques de la població que van fer possible l'evolució.
- Les característiques ambientals que la van originar.
- El mecanisme pel qual es va produir aquesta evolució.

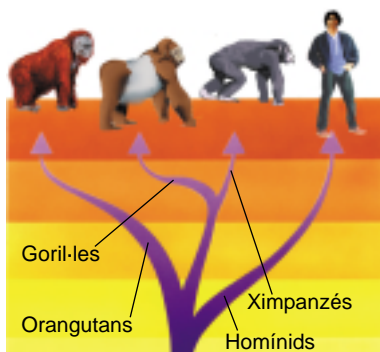
— Si s'aturés l'activitat d'aquestes fàbriques, què passaria amb la població de papallones?

10. Observa la il·lustració de la dreta, en la qual es representen els embrions de diversos grups de vertebrats.

— Estableix una hipòtesi sobre el parentiu entre els diferents grups i justifica-la.



6. L'evolució de l'ésser humà



Fa uns 7 milions d'anys, a partir d'un grup de mamífers actualment extingit, es van originar dues línies evolutives: la que ha donat lloc als *pòngids*: orangutans, goril·les i ximpanzés, i la que va conduir a l'aparició i evolució dels *homínids*: l'ésser humà actual i els seus avantpassats més directes.

La semblança entre els éssers humans i els pòngids és molt evident; aquestes espècies són les més properes a l'ésser humà des del punt de vista evolutiu. Tanmateix, l'evolució de cada grup va representar l'aparició de diferències importants.

Aspectes anatòmics comparats	Pòngids	Ésser humà actual
Ossos del cap i mandíbula	<ul style="list-style-type: none"> • La cara és molt més voluminosa que el crani. • Front aplanat. • Capacitat cranial al voltant dels 500 cm³. • Mandíbula molt robusta i sense mentó. 	<ul style="list-style-type: none"> • El crani és molt més voluminós que la cara. • Front vertical. • Capacitat cranial al voltant dels 1 400 cm³. • Mandíbula poc robusta i amb mentó.
Dentició	<ul style="list-style-type: none"> • Dents grans, sobretot els ullals dels mascles, que s'encaixen en espais buits sense dents (diastemes) del maxil·lar contrari. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dents petites i molt juntes, ja que no hi ha diastemes.
Columna vertebral i pelvis	<ul style="list-style-type: none"> • La columna s'insereix en el crani per una zona lateral i presenta dues curvatures: cervical i dorsilumbar. • La pelvis és estreta. 	<ul style="list-style-type: none"> • La columna s'insereix en el crani pel centre de la base, i presenta tres curvatures: cervical, dorsal i lumbar. • La pelvis és ampla, especialment en les femelles.
Extremitats	<ul style="list-style-type: none"> • L'extremitat superior sobrepassa el genoll; la mà és llarga i els dits són curts; el polze és oposable. • L'extremitat inferior està flexionada; el peu recolza tan sols per la part exterior i té el polze oposable. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'extremitat superior no sobrepassa el genoll; la mà té els dits llargs; el polze és oposable i també llarg. • L'extremitat inferior no està flexionada; el peu recolza totalment en el terra i el polze no és oposable.

Al llarg del procés d'evolució dels homínids o **hominització** s'han produït transformacions importants que han tingut com a conseqüència les diferències que acabem de descriure:

- El desenvolupament del **cervell** ha comportat les modificacions que afecten la forma i les dimensions del crani i de la cara.
- Els canvis en l'**alimentació** han causat la reducció de la mandíbula i de les peces dentàries en els éssers humans.
- La postura **erecta** ha comportat les modificacions de la columna, per a facilitar el manteniment de l'equilibri, i l'eixamplament de la pelvis, que d'aquesta manera augmenta de volum per tal de sostenir els òrgans abdominals, i també el fetus en el cas de les femelles embarassades. Aquesta postura permet, a més, l'alliberament de les extremitats superiors, que es modifiquen per a augmentar llur capacitat manipuladora.

Els mecanismes evolutius han originat diverses espècies, que han anat incorporant progressives modificacions fins a arribar a les característiques de l'ésser humà actual. Per això, la reconstrucció de l'evolució humana es basa en l'estudi de les restes fòssils relacionades amb l'hominització, a fi de situar-les en el moment del procés que els correspon. L'escassetat de restes fòssils complica la determinació d'espècies, per la qual cosa el procés està sotmès a contínues modificacions que depenen de noves troballes.

Els principals trets que s'estudien de les restes fòssils són:

- La datació.
- La forma i les dimensions del crani.
- El tipus de dentició.
- L'estructura de la columna, els ossos coxals i les extremitats.

Aquestes anàlisis permeten d'establir semblances i diferències amb altres restes i suposar relacions evolutives pròximes o allunyades. El mapa següent mostra la distribució de les principals troballes de fòssils relacionats amb l'hominització que s'han realitzat fins a l'actualitat.



La manera com es van anar produint les diverses ramificacions i la successió d'uns grups per uns altres és difícil de precisar, ja que el registre fòssil és escàs i dispers.

Per aquest motiu, la delimitació d'espècies és difícil i, de vegades, una mica artificial, ja que el procés evolutiu és una successió de formes que canvien gradualment.



Quan Darwin va proposar en l'obra *L'origen de l'home*, publicada el 1871, que la seva teoria era extensiva a l'ésser humà i que, per tant, aquesta espècie també era el resultat d'un procés evolutiu, va ser objecte de crítiques ferotges i fins i tot es van ridiculitzar les seves idees i la seva persona.

El Rift Valley és una falla que, des de la mar Roja, travessa Eritrea, Etiòpia, Kenya i Tanzània. És una zona de gran activitat tectònica, que ha fet aflorar terrenys d'uns quants milions d'anys d'antiguitat.

En aquesta regió se situen alguns dels jaciments més importants relacionats amb les primeres etapes de l'hominització.

L'**antropologia** és la ciència que estudia les característiques dels éssers humans.



Lucy és el nom amb el qual es coneix l'exemplar AL-288-1 d'*Australopithecus afarensis*, una femella que va morir quan tenia uns 20 anys. Fou descobert el 1974 per Johanson i els seus col·laboradors a Afar (Etiòpia). El nom de Lucy es deu al títol d'una cançó que els Beatles havien editat uns anys abans, *Lucy in the sky with diamonds*, i que els treballadors del jaciment escoltaven sovint.



Crani d'*Homo habilis*.

La hipòtesi de l'origen africà dels homínids i llur dispersió posterior per la resta dels continents sembla confirmada del tot.

Al llarg de l'hominització, s'han identificat dos gèneres d'homínids: *Australopithecus* i *Homo*, i diverses espècies de cadascun.

6.1. El gènere *Australopithecus*

L'espècie més antiga s'ha identificat amb el nom d'*Australopithecus afarensis*. Va viure entre 3 i 4 milions d'anys enrere, i presenta les característiques següents:

- Capacitat cranial d'entre 400 i 500 cm³.
- Dentició de trets primitius.
- Esquelet adaptat a la postura erecta. Aquest fet fou confirmat plenament quan l'antropòloga Mary Leakey va trobar les petjades fòssils de Laetoli. Per aquest motiu, s'inclou en el grup dels homínids.

Pel que sembla, fa uns 2 milions d'anys es van diferenciar dos grups d'australopitecs:

- Individus de constitució **robusta**, agrupats en les espècies *A. robustus* i *A. boisei*, que van viure durant un milió d'anys sense experimentar gairebé cap canvi significatiu. No se n'han trobat restes d'edat inferior a un milió d'anys, la qual cosa fa pensar en una desaparició gradual d'aquestes espècies.
- Individus de constitució **gràcil**, és a dir, poc robustos, inclosos en l'espècie *A. africanus*, els quals sembla que se situen en la línia evolutiva que va conduir a l'aparició del gènere *Homo*.

6.2. El gènere *Homo*

Les formes més antigues d'aquest gènere s'inclouen en l'espècie *Homo habilis*, la qual de vegades és difícil de distingir de les formes més modernes d'*A. africanus*.

Homo habilis

És una espècie proposada per Louis Leakey i confirmada pel seu fill Richard, a partir de restes africanes trobades a Olduvai (Tanzània) i al llac Turkana (Kenya). Aquesta espècie té una antiguitat d'uns 2 milions d'anys.

- Capacitat cranial mitjana de 645 cm³, amb la volta del crani més arrodonida que el gènere *Australopithecus*.
- Dentició menys primitiva.
- Esquelet adaptat a la postura erecta i molt semblant al dels australopitecs gràcils.
- Les restes trobades estan acompanyades de pedres modificades, amb la intenció d'usar-les com a eines senzilles. Aquesta dada confereix una clara filiació humana a aquest grup.

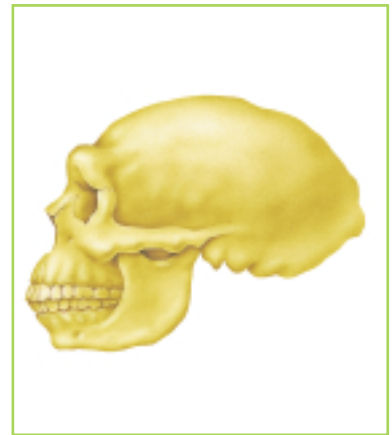
Fins aquest moment, els homínids es localitzaven exclusivament a l'Àfrica. Amb l'aparició de l'*Homo erectus* es van expandir per Europa i Àsia, tal com es reflecteix en la distribució de les restes fòssils d'aquesta espècie.

Homo erectus

Les formes més antigues daten de fa poc més d'un milió i mig d'anys. Es van expandir fora de l'Àfrica a través de l'actual península Aràbiga, que en aquella època estava unida al continent africà.

- La seva capacitat cranial mitjana és d'uns 1 000 cm³. El crani es caracteritza pels arcs ossis a la part superior de les òrbites dels ulls, pel front poc vertical i per la zona occipital molt angulosa.
- Els maxil·lars sobresurten respecte de la resta de la cara, i les dents són similars a les dels éssers humans actuals.

Fabricava eines més sofisticades que les que acompanyen les restes d'*H. habilis*. També se suposa que construïa cabanes per a protegir-se, que utilitzava el foc i que ja tenia una certa organització social, atès que, probablement, caçava en grup.



Crani d'*Homo erectus*.

Homo sapiens

Les primeres restes que es poden considerar com a pertanyents a l'espècie humana actual daten de fa uns 400 000 anys. Encara resulta confús d'establir la genealogia de les primeres formes d'*H. sapiens*, perquè els fòssils trobats presenten una gran variabilitat. La major part d'aquestes restes s'han localitzat a Europa; a la península Ibèrica, a la província de Burgos, hi ha el jaciment d'Atapuerca, fins ara el més important d'Europa. Es va començar a excavar a mitjan dècada dels setanta. De moment s'hi han trobat restes molt antigues i d'una gran qualitat i hom confia que, en el futur, noves troballes permetin d'aclarir l'origen dels *H. sapiens*, ja que la major part del terreny encara no ha estat excavada.

Les formes més antigues d'*Homo sapiens* tenen una capacitat cranial superior a les d'*H. erectus*, i és difícil de precisar-ne altres característiques físiques a banda dels trets intermedis entre aquesta espècie i les formes més modernes d'*H. sapiens*. Fabricaven eines amb tècniques similars a les utilitzades per *H. erectus*, habitaven tant en cabanes com a l'aire lliure, tot i que també començaren a refugiar-se en coves.

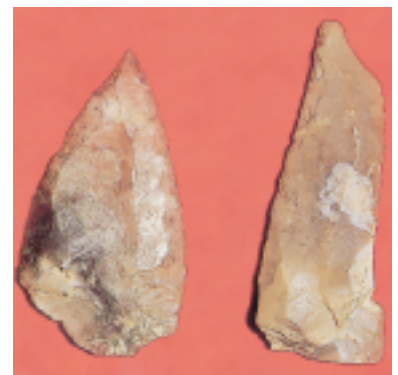
Les restes europees procedents del període comprès entre 75 000 i 35 000 anys enrere conformen un grup ben estudiat que sovint es considera una subespècie dins d'*H. sapiens*: ***H. sapiens neanderthalensis***. Es caracteritzaven per:

- Capacitat cranial elevada, al voltant de 1 550 cm³. Presentaven arcs ossis sobre les òrbites dels ulls, el front poc vertical, la cara projectada cap endavant i la barbata sense mentó.
- Les dents són grans, tot i que els queixals tenen menys grandària que els de grups anteriors.
- L'esquelet és més robust que el dels éssers humans actuals.

Els neandertals utilitzaven amb molta habilitat pedres, ossos i banyes per a fabricar ganivets, rascadors o puntes. S'han identificat nombrosos enterraments en què el cadàver està situat en posició fetal i acompanyat de diversos estris i ofrenes. Decoraven amb pintures les parets de les coves on vivien, i hi representaven escenes de la vida quotidiana. Tot això són signes de l'existència d'una inquietud cultural, un tret que caracteritza, de forma definitiva, els éssers humans.



Crani d'Steinheim; representa una forma de transició entre *Homo erectus* i *Homo sapiens*.



Eines dels períodes preneandertal i neandertal.

Les restes d'homínids contemporanis dels neandertals, trobats a l'Àfrica i a l'Àsia oriental, són molt heterogenis i per aquest motiu no s'inclouen en aquest grup.

Temps transcorregut des de la colonització humana de diverses zones del planeta

Japó 30 000 anys

Austràlia 25 000 anys

Amèrica 12 000 anys

Aquestes colonitzacions van implicar el desenvolupament d'habilitats tecnològiques, com ara la navegació en el cas de la colonització d'Austràlia.

Molts animals poden emetre sons; tanmateix, el desenvolupament de la laringe i la capacitat de modular els sons que posseeix l'ésser humà són únics.

A partir d'aquesta capacitat, els éssers humans desenvolupen el **llenguatge**, que augmenta extraordinàriament les possibilitats de comunicació entre els individus i que esdevé un dels factors fonamentals per al desenvolupament cultural.



Les primeres restes fòssils d'éssers humans com els actuals tenen una edat de 40 000 anys. Aquest grup, que ha perviscut fins a l'actualitat i al qual pertanyen tots els éssers humans, se sol identificar com la subespècie ***Homo sapiens sapiens***, que es va expandir pel planeta i va colonitzar tots els continents.

L'adaptació de la nostra espècie a diferents ambients ha originat la variabilitat que caracteritza les diverses poblacions humanes. Aquesta variabilitat no s'estudia pas partint de la tradicional divisió en races.

Els caràcters que s'analitzen en els estudis sobre la variabilitat humana es basen, principalment, en l'anàlisi de proteïnes i de seqüències de DNA, i tenen com a finalitat reconstruir el procés evolutiu experimentat per la humanitat. Les interpretacions que pretenen d'establir diferències entre les persones, limitant-ne els drets i les capacitats, són injustificades i perilloses.

En l'actualitat, els éssers humans tenen a les seves mans la possibilitat d'influir en el seu futur i en el de tot el planeta, ja que els factors que en aquests moments condicionen l'evolució no són únicament biològics.

La informació genètica ha estat l'origen dels progressos biològics. Aquesta informació es transmet verticalment de pares a fills i produeix canvis que es manifesten en les poblacions al cap de moltes generacions.

Les característiques biològiques de la nostra espècie s'han mantingut pràcticament invariables des de fa 40 000 anys; però s'ha produït una evolució molt important que molts especialistes anomenen *evolució cultural*, determinada per la capacitat d'aprendre. L'aprenentatge es duu a terme a partir de la informació no genètica (artística, científica, històrica, tècnica...) que l'ésser humà rep, tant verticalment de les generacions que l'han precedit com horitzontalment dels seus contemporanis, i de les seves pròpies aportacions. El procés es concreta en un «canvi» que, si se selecciona favorablement, produeix una modificació en la manera de viure de les poblacions humanes. Pensem en alguns dels grans invents que s'han ideat en els darrers segles i en la manera com, en poc temps, han modificat la vida de moltes persones.

El futur de l'evolució és difícil de predir, ja que l'evolució cultural s'esdevé a una velocitat molt superior a la que fins ara ha caracteritzat l'evolució biològica. A més, cal tenir en compte que, malgrat els grans avenços que la humanitat ha aconseguit, encara subsisteixen dos greus problemes sense resoldre:

- No tots els éssers humans tenen accés al benestar que el progrés pot proporcionar.
- Sovint, les conseqüències del progrés influeixen negativament en la resta d'éssers vius i en el conjunt del planeta.

L'objectiu, com a éssers conscients de la nostra capacitat d'evolucionar, cal que sigui d'aconseguir una vida digna per a tothom, en harmonia amb el medi ambient i amb la resta d'éssers vius, un objectiu que no hem de considerar una utopia, ja que depèn de nosaltres.

Activitats de síntesi

1. Explica les diferències entre fixisme i catastrofisme.
2. Elabora una hipòtesi per a explicar el cas de l'evolució d'unes formes primitives de vertebrats aquàtics fins als primers vertebrats terrestres, des de dos punts de vista diferents:
 - La teoria de l'evolució de Lamarck.
 - La teoria de l'evolució de Darwin.

— Tingues en compte els aspectes següents:

- Característiques inicials de la població.
- Condicions de l'ambient.
- Manera com es produeixen els canvis anatòmics.
- Possible evolució de les poblacions.
- Successió de diverses formes o espècies.

3. Resumeix els principals punts de la teoria neodarwinista.
4. Quan Darwin va arribar a les illes Galápagos, situades a l'oceà Pacífic, a 800 km de les costes de l'Equador, va identificar-hi 13 espècies diferents de pinsans.

Aquestes espècies es caracteritzen pel fet que habiten ambients i fins i tot illes diferents i s'alimenten de recursos també diferents (grans, fruits, insectes...).

Es creu que una població inicial d'aquestes aus va ser arrossegada per una ràfega de vent molt fort des del continent fins a l'arxipèlag i que en el decurs de moltes generacions es van diferenciar les 13 espècies.

— Explica de quina manera va poder produir-se aquest procés d'especiació.

5. Explica les diferències entre anagènesi i cladogènesi.
 - Representa cadascun d'aquests processos en forma d'arbre i comenta'ls.
6. Busca informació sobre T. Dobzhansky i resumeix en quins estudis relacionats amb l'evolució va participar.
 - T. Dobzhansky pensava que en Biologia tot té sentit si es mira des del punt de vista de l'evolució. Comenta aquesta idea i expressa la teva opinió.
7. Identifica els cranis següents. Ordena'ls seguint el procés evolutiu d'hominització i descriu les diferències que hi ha entre ells.



8. Formeu grups i trieu un dels períodes històrics següents: Paleolític i Neolític.
 - Cada grup prepararà un treball que descrigui els aspectes següents:
 - Període que comprèn.
 - Formes de vida humana:
 - Mitjans de subsistència.
 - Tipus d'habitatge.
 - Estructura social.
 - Fabricació d'objectes o indústria:
 - Materials emprats.
 - Tècniques.
 - Utilitat dels objectes.
 - Manifestacions artístiques (pintura, escultura, ceràmica...).
 - Jaciments principals.
 - Cal incorporar-hi documentació gràfica (fotografies, dibuixos, esquemes...).
 - Finalment, tots els treballs s'hauran d'exposar oralment.