

4

ORIGEN I EVOLUCIÓ DELS ÉSSERS VIUS

Com va sorgir la vida a la Terra? Com va evolucionar?

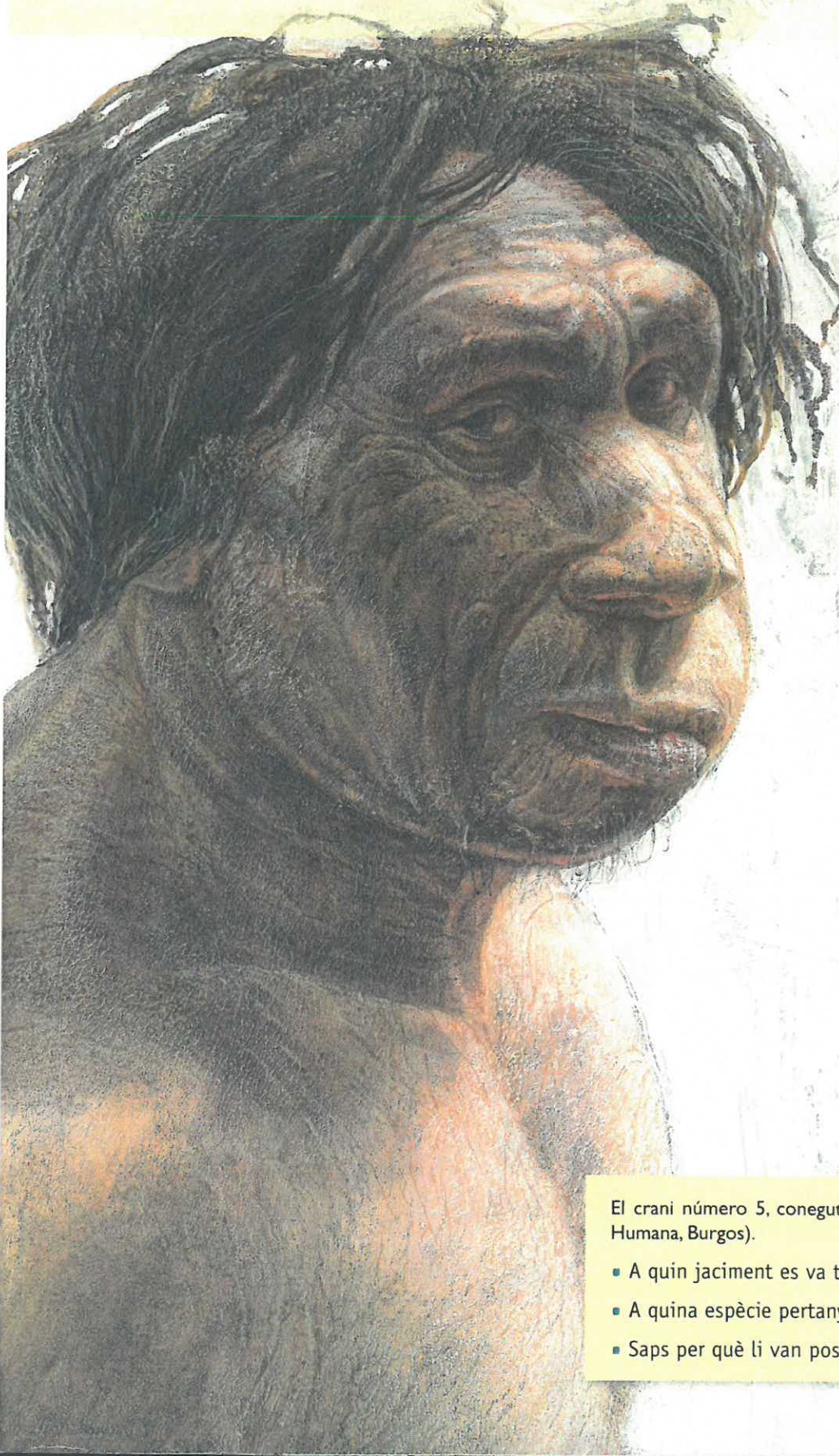
Contemplem la faç de la natura radiant d'alegria. Hi veiem sovint superabundància d'aliments; però, no veiem, o no hi pensem, que els ocells que canten ociosos al nostre voltant viuen, la major part de les espècies, d'insectes o de llavors, i, per tant, destrueixen vida constantment; i oblidem amb quina abundància són destruïts aquests cantaires, o els seus ous, o els seus pollets pels animals rapinyaires; i no sempre tenim en compte que, tot i que l'aliment pot ser ara superabundant, no passa així en totes les estacions de cadascun dels anys que passen.

Charles DARWIN: *L'origen de les espècies*
(fragment), 1877.

CONTINGUTS

- 1 L'origen de la vida
- 2 Origen i evolució cel·lular
- 3 L'evolució dels éssers vius
- 4 Les proves de l'evolució
- 5 L'evolució humana
- 6 Cronologia de l'evolució humana
- 7 Grans fites en l'estudi de l'evolució humana





El crani número 5, conegut com a 'Miguelón' (Museu de l'Evolució Humana, Burgos).

- A quin jaciment es va trobar el crani número 5? A quin any?
- A quina espècie pertany?
- Saps per què li van posar el nom de 'Miguelón'?

Tot i els molts segles de reflexió al voltant de l'origen de la vida, en el moment actual, amb avenços científics i tecnològics extraordinaris, no existeix encara una idea concloent i de certesa absoluta sobre com es van originar els primers éssers vius.

1.1. Primeres teories: creacionisme i autogènesi

Durant segles, el **creacionisme** i la teoria de la **generació espontània** van ser les idees predominants per explicar l'origen de la vida.

- El **creacionisme**, inspirat en dogmes religiosos, sosté que l'Univers, la Terra i la vida que l'habita van ser creats de manera deliberada per un ésser intel·ligent diví.
- La teoria de la **generació espontània** o **autogènesi** és una antiga teoria que sostenia que pot sorgir vida complexa, animal i vegetal, de manera espontània a partir de la matèria inerta, com ara el fang o la matèria orgànica en descomposició.

DOC.1 EL CREACIONISME

Hi ha dues versions principals del creacionisme:

- El **creacionisme religiós**, basat essencialment en els textos religiosos.
- El **creacionisme del disseny intel·ligent**, segons el qual les lleis naturals i l'atzar no expliquen l'origen de tot fenomen natural. Sosté que l'Univers posseeix evidències d'haver estat dissenyat de manera intel·ligent.

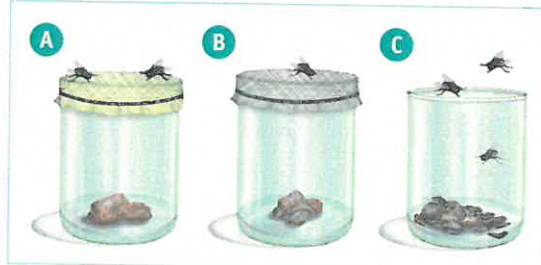


DOC.2 REFUTAR UNA TEORIA: REDI, SPALLANZANI I PASTEUR

Refutar és refusar la validesa d'una idea o una afirmació d'una altra persona per mitjà de raons i arguments. La teoria de la generació espontània es va refutar per mitjà d'experiments diversos.

- ▶ **Francesco Redi** (1626-1697) va ser el primer a dubtar de la teoria i va fer una sèrie d'experiments per posar-la a prova. Va col·locar carn en pots diferents: un de tancat hermèticament (A), un altre de tancat amb una malla que hi deixava passar l'aire (B) i un altre d'obert (C). Al cap d'uns dies va observar que als pots (A) i (B) la carn s'estava descomponent, mentre que al pot obert (C) hi havien aparegut cucs (larves de mosca). Redi va deduir que les larves naixien dels petitíssims ous de les mosques.
- ▶ El 1765, **Lazzaro Spallanzani** va fer un experiment semblant al de Redi utilitzant brou de carn que va col·locar en recipients tancats hermèticament i escalfats. Va demostrar que, a diferència del que passava si els deixava oberts, als recipients tancats no hi proliferaven microorganismes.
- ▶ El 1860, **Louis Pasteur** va ser qui va acabar amb la teoria de la generació espontània. Va idear un recipient amb coll de cigne, és a dir, doblegat en forma de S. Va introduir brou de carn en un matràs, el va fer bullir i va observar que no hi apareixien microorganismes de manera espontània.

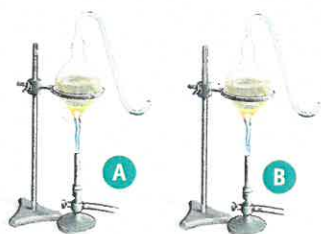
EXPERIMENT DE REDI



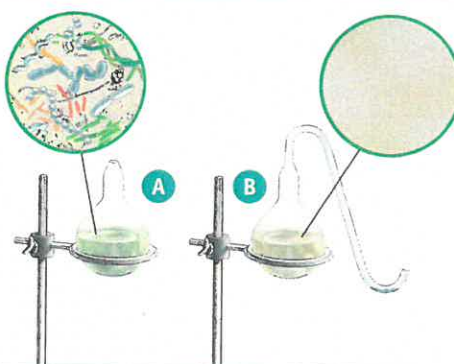
Amb aquest experiment, Redi va demostrar que els cucs no apareixen per generació espontània, sinó perquè les mosques que havien estat en contacte amb la carn hi havien dipositat els ous.

Pasteur va demostrar que els microorganismes de l'aire descomponen els medis de cultiu, i amb això va aconseguir que la teoria de la generació espontània fos refutada de manera irreversible.

EXPERIMENT DE LOUIS PASTEUR



Es fa bullir el brou dels matrassos per esterilitzar-lo.



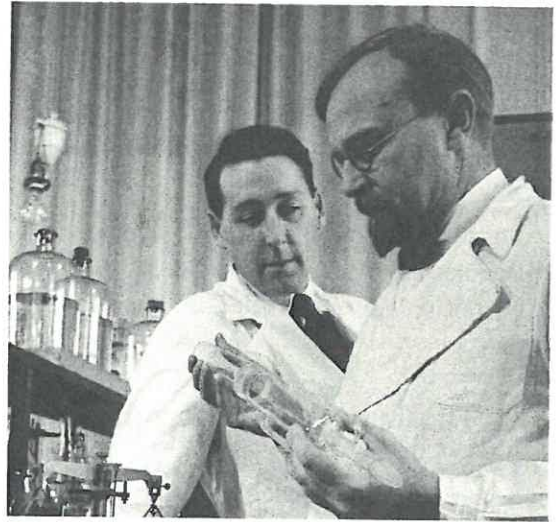
Pasteur, passades unes setmanes, va observar que a cap dels dos medis de cultiu no hi proliferaven microorganismes. Després, va tallar el coll d'un dels matrassos (A). Al cap d'un temps, el brou d'aquest matràs es va entorbolir i, observant-lo amb el microscopi, hi va trobar una gran quantitat de microorganismes, mentre que el brou del matràs tancat (B) continuava intacte.

1.2. Oparin i Haldane: teoria prebiòtica

La primera teoria coherent que explicava l'origen de la vida la va proposar **Aleksandr I. Oparin** l'any 1922 i **John B. S. Haldane** el 1929. Tots dos van treballar de manera independent. La hipòtesi es basava en el coneixement de les condicions fisicoquímiques que hi havia a la Terra fa de 3000 a 4000 milions d'anys.

L'energia aportada, principalment, per la radiació ultraviolada procedent del Sol i les descàrregues elèctriques de les tempestes constants van provocar que les petites molècules dels gasos atmosfèrics (vapor d'aigua (H_2O), hidrogen (H_2), metà (CH_4), amoníac (NH_3), àcid sulfhídric (H_2S) i altres compostos) van donar lloc a uns **molècules orgàniques anomenades prebiòtiques**.

Aquestes molècules, cada vegada més complexes, eren aminoàcids (elements constituents de les proteïnes) que van quedar atrapat a les basses d'aigües poc fondes al litoral de l'oceà primitiu i van formar el que ha estat anomenat *sopa primitiva*. En concentrar-se aquestes molècules, van reaccionar entre si, van evolucionar i van donar lloc als **coacervats**, esferes buides que van encloure molècules com ara els àcids nucleics, capaces de fer còpies de si mateixes.



Aleksandr Ivànovitx Oparin (1894-1980) va publicar l'any 1936 *L'origen de la vida sobre la Terra*, obra que va renovar el 1957 arran dels experiments de Stanley Miller.

DOC.3 VALIDAR UNA TEORIA: L'EXPERIMENT DE MILLER

La comprovació de la veracitat d'una hipòtesi o la validació d'una teoria es fa per mitjà de l'experimentació. En el cas de la teoria sobre l'origen de la vida, no semblava fàcil, però **Stanley Miller** i **Harold Urey**, aparentment, ho van aconseguir l'any 1953.

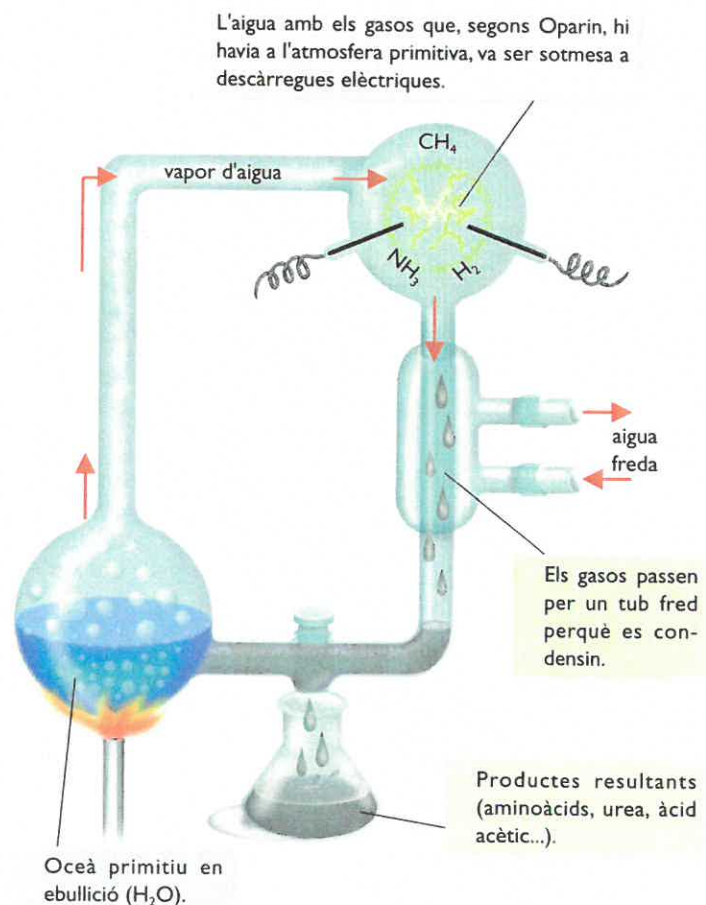
L'experiment, que es va realitzar a la Universitat de Chicago, es va inspirar en la teoria prebiòtica sobre l'origen de la vida d'Oparin i Haldane.

Miller i Urey van recrear en un recipient de vidre la suposada atmosfera terrestre de fa més de 3000 milions d'anys, per mitjà d'una mescla de CH_4 , NH_3 , H_2 , H_2S i vapor d'aigua. Van sotmetre la mescla a descàrregues elèctriques que simulaven tempestes. Al cap d'una setmana, van aparèixer al recipient de vidre alguns compostos orgànics, en particular diferents aminoàcids, urea, àcid acètic, formol, cianur d'hidrogen i altres molècules orgàniques.

Fins i tot si es modifiquen les condicions experimentals i la mescla de components gasosos, es poden obtenir nucleòtids, que són els components bàsics dels àcids nucleics.

En realitat, l'experiment de Miller no va aconseguir demostrar els processos de l'origen de la vida. Però es va comprovar que a partir de matèria inorgànica es pot formar matèria orgànica, cosa que fins aleshores no s'havia aconseguit.

L'origen dels primers éssers vius a la Terra i les condicions en què es van formar és una qüestió que encara no s'ha resolt. Actualment hi ha idees o teories diferents, amb un grau d'acceptació més o menys gran.



1 L'ORIGEN DE LA VIDA

1.3. Hipòtesi de les fonts hidrotermals

Les **fonts hidrotermals** són una mena de xemeneies submarines que es troben en zones oceàniques amb una intensa activitat volcànica, principalment pròximes a les dorsals oceàniques. Aquests indrets són rics en elements químics que poden donar lloc a reaccions químiques complexes, en condicions semblants a les que permeten originar la *sopa primitiva*.

Les fonts hidrotermals semblen llocs indicats per a la formació de molècules essencials per a la vida, com ara els àcids nucleics, i per a la formació de **protocèl·lules**, les que comencen a realitzar les funcions pròpies de la vida.

1.4. Teoria de la panspèrmia

La teoria de la panspèrmia sosté que la vida no va sorgir a la Terra sinó que ha estat transportada a l'atzar de planeta a planeta i d'un sistema planetari a un altre. El seu defensor principal, **Svante Arrhenius** (1859-1927), afirmava que la vida prové de l'espai exterior en forma d'**espores bacterianes**, que viatgen per tot l'espai.

El físic **Fred Hoyle** (1915-2001) també va defensar la idea de la panspèrmia en comprovar que certs microorganismes terrestres, els **extremòfils**, són molt resistents a les condicions adverses, i van poder viatjar per l'espai i colonitzar uns altres planetes. Per tant, per a Hoyle, és inútil cercar a la Terra l'origen de la vida.



La vida va poder arribar a la Terra, per exemple, en asteroides.

@ Per ampliar a la Xarxa...

Per saber més sobre la panspèrmia, entra a:
www.tiching.com/761355

DOC.4 HI HA ALGÚ AQUÍ FORA?



ditat, assegura Kevin P. Hand, astrobiòleg de l'agència espacial Nasa.

"Normalment, quan el públic pensa en vida extraterrestre, imagina criatures rares i plats voladors, però el que els científics estem buscant són microorganismes simples i petits: trobar-los suposaria una revolució per a la biologia", assegura. Hi ha di-

Els propers 20 anys els científics podrien trobar vida fora del planeta Terra i ho farien a Europa, una de les llunes de Júpiter, que guarda, sota una capa de glaç, un oceà d'aigua líquida de cent quilòmetres de profun-

ferents missions centrades en aquesta recerca i "si hi ha vida al nostre sistema solar, més enllà de la Terra, potser la trobarem en els propers 20 anys", remarca el subdirector científic d'exploració del sistema solar al Laboratori de Propulsió de la Nasa (Califòrnia).

Una d'aquestes missions és Europa Clipper (...). L'objectiu d'aquesta missió, que la Nasa llançarà entre els anys 2022 i 2024, és assolir Europa i orbitar-hi almenys 45 vegades per detectar els "plomalls" de vapor d'aigua i analitzar-los, uns guèisers l'existència dels quals ha estat coneguda pels científics gràcies al telescopi espacial *Hubble*, que els va detectar.

GÓMEZ, G., Noemí: ¿Hay alguien ahí fuera? (fragment traduït), en *Diario de León* (19 de novembre del 2016).
També disponible en www.diariodeleon.es/

COMPROVA EL QUE HAS APRÈS

1. Creus que hi ha moltes persones que defensen el creacionisme en sentit literal? Es basen aquestes persones en algun llibre o document?
2. Què et sembla més fàcil de refutar, la teoria de la generació espontània o el creacionisme? Per què?
3. Et sembla que en algun lloc de l'Univers, fora de la Terra, hi pot haver vida? Raona la resposta.
4. Quines condicions consideres que ha de reunir un planeta perquè hi hagi vida amb característiques semblants a la que hi ha a la Terra?

2 ORIGEN I EVOLUCIÓ CEL·LULAR

Oparin va demostrar que a l'interior dels coacervats s'hi produeixen reaccions químiques molt complicades, que donen lloc a estructures cada vegada més complexes. Aquestes estructures, precursors de les cèl·lules, efectuaven intercanvis amb el medi i van evolucionar cap a formes més elaborades fins al sorgiment de les primeres formes cel·lulars, és a dir, els primers éssers vius. Aquests éssers estaven proveïts d'una membrana que separava el medi extern de l'intern i d'un metabolisme rudimentari que els permetia l'obtenció d'energia i la reproducció: les **cèl·lules procariotes**.

2.1. Heteròtrofs i autòtrofs

Les primeres cèl·lules van sorgir fa uns 3700 milions d'anys, en forma de **bacteris anaerobis**. Aquests bacteris obtenien l'energia per mitjà de la fermentació de molècules orgàniques presents en la *sopa primitiva*. Eren, per tant, organismes **heteròtrofs**.

En certs indrets, l'esgotament de les molècules orgàniques alimentàries va permetre la successiva evolució de la maquinària metabòlica fins a l'aparició dels **cianobacteris**, capaços de realitzar la fotosíntesi, procés que va deslliurar les cèl·lules de la gran dependència de les molècules orgàniques de la *sopa primitiva*. Van sorgir aleshores els organismes fotosintetitzadors i, per tant, **autòtrofs**.

L'oxigen resultant de la fotosíntesi era un verí per als organismes anaerobis, molts dels quals van desaparèixer; d'altres van evolucionar per esdevenir organismes que utilitzaven l'oxigen en els processos d'obtenció d'energia; va sorgir així la **respiració cel·lular** i, amb això, els **organismes aerobis**.

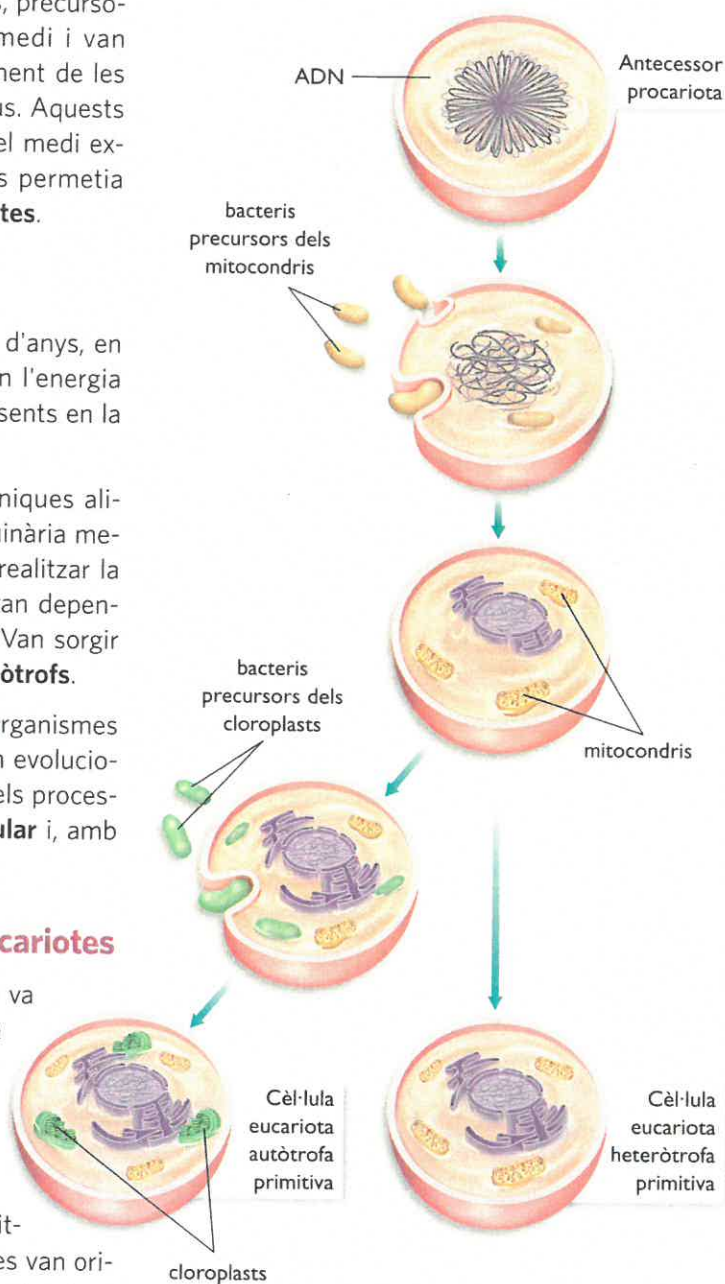
2.2. La teoria endosimbiòtica. Les cèl·lules eucariotes

La teoria **endosimbiòtica** o de l'**endosimbiosi seriada** la va proposar **Lynn Margulis** l'any 1967. Aquesta teoria suposa que les primeres **cèl·lules eucariotes** van sorgir de resultes de la incorporació de bacteris per simbiosi successives a les cèl·lules ancestrals. Per exemple, els **mitocondris** i els **cloroplasts** van evolucionar a partir de bacteris incorporats.

La teoria endosimbiòtica descriu una sèrie de passos mitjançant els quals, per la unió simbiogenètica de bacteris, es van originar les cèl·lules que conformen tots els altres organismes (protocists, animals, fongs i plantes):

- Incorporació d'un bacteri aerobi a una cèl·lula anaeròbia. Es podrien haver format així els mitocondris i els organismes aerobis, llinatge del qual descendeixen els animals.
- Incorporació d'un bacteri fotosintètic a una cèl·lula aeròbia que origina un organisme nou capaç de sintetitzar matèria orgànica amb l'energia procedent del Sol. D'aquests descendeixen els organismes autòtrofs.
- En certs casos, incorporació d'un bacteri nadador a un bacteri consumidor de sofre, de manera que s'origina una cèl·lula flagel·lada.

ETAPES DE LA TEORIA ENDOSIMBIÒTICA



COMPROVA EL QUE HAS APRÈS

1. Repassa els conceptes: anaerobi, aerobi, fotosíntesi, autòtrof, heteròtrof i simbiosi.

L'**evolució biològica** és el conjunt de canvis al llarg del temps que ha originat la diversitat dels éssers vius, és a dir, la **biodiversitat**. Això no obstant, no sempre s'ha explicat la diversitat per mitjà dels mecanismes de l'evolució.

3.1. Fixisme i catastrofisme

El **fixisme** sosté que les espècies romanen invariables des de la Creació. Si fos així, les espècies serien fixes i immutables.

Davant la gran quantitat de fòssils descoberts d'espècies desaparegudes, **Cuvier** (1769-1832) va acceptar la idea que els fòssils corresponien a organismes desapareguts i proposa la idea del **catastrofisme**: una sèrie de catàstrofes naturals van provocar l'extinció de les espècies que havien romàs immutables fins aleshores.

3.2. El transformisme de Lamarck

Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, **Lamarck** (1744-1829), va ser el primer a exposar una teoria coherent de l'evolució. Va descartar la idea que les espècies són immutables i va defensar que es transformen. Es va basar en els criteris següents:

- Els organismes tenen la capacitat d'adaptar-se als canvis de les condicions ambientals. Desenvolupen òrgans nous i en perden d'altres com a resposta a les exigències del medi. La grandària o la importància d'un òrgan depèn de l'ús, principi que es resumeix dient que **la funció crea l'òrgan**.
- Lamarck admetia la teoria de la generació espontània, que va ser força acceptada fins als experiments de Pasteur.
- Els caràcters adquirits els hereta la generació següent.



El Diluvi Universal va ser una de les fonts d'inspiració dels creacionistes i els catastrofistes.



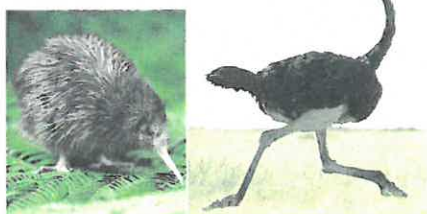
La hipòtesi de l'extinció dels dinosaures per l'impacte d'un asteroide va ressuscitar la teoria del catastrofisme. El **neocatastrofisme** no s'oposa a la idea de l'evolució.

DOC.1 LA FUNCIO CREA L'ÒRGAN?

L'ús de les banyes provocaria que es desenvolupessin en alguns animals?



El kiwi i l'estruc tenen les ales atrofiades i no poden volar. Pot ser conseqüència del fet de no utilitzar-les, com deia Lamarck?



El desenvolupament de les potes posteriors és resultat del seu gran ús?



Heretaran els seus descendents el seu gran desenvolupament muscular?



3.3. El darwinisme i la selecció natural

Charles Robert Darwin (1809-1882) es va fixar en la diversitat dels éssers vius que habitaven a diferents indrets geogràfics, com és el cas dels diferents pinsans de les illes Galápagos. Per a l'elaboració de la seva teoria va ser cabdal la recopilació d'un gran nombre de dades recollides durant el seu viatge com a naturalista a bord del Beagle, que va fer la volta al món en cinc anys. **Alfred R. Wallace** (1823-1913) va arribar a les mateixes conclusions.

Les idees de Darwin es poden resumir així:

- El món és canviant. Les espècies varien i algunes s'extingeixen, com es pot observar en els registres fòssils.
- L'evolució es desenvolupa de manera gradual.
- Els organismes semblants estan emparentats i descendeixen d'un ancestre comú.
- L'evolució és el resultat del procés de **selecció natural**, basat en la supervivència dels més ben adaptats.

Les fases de la selecció natural són aquestes:

1. Dins de cada espècie hi ha una gran diversitat de característiques, no tots els individus de l'espècie són iguals.
2. Es produeix una lluita per l'existència. Alguns individus no es poden reproduir, d'altres moren per malalties o víctimes d'algun predador, etc.
3. La selecció natural elimina els individus que van néixer amb característiques menys aptes per a la supervivència.
4. Sobreviuen els individus més ben adaptats i transmeten a la seva descendència les característiques que els fan més aptes per a la supervivència.

DOC.2 NEODARWINISME O TEORIA SINTÈTICA

Darwin no coneixia la causa de la variabilitat entre els individus; per exemple, per què unes persones tenen els ulls clars i d'altres els tenen foscos?

El desenvolupament de la genètica i el coneixement dels **gens**, com a causa de les característiques biològiques dels individus i de la seva transmissió a la descendència, va clarificar de manera definitiva el fet evolutiu.

Les idees essencials de Darwin unides als fonaments de la genètica van donar lloc al neodarwinisme o **teoria sintètica de l'evolució**.

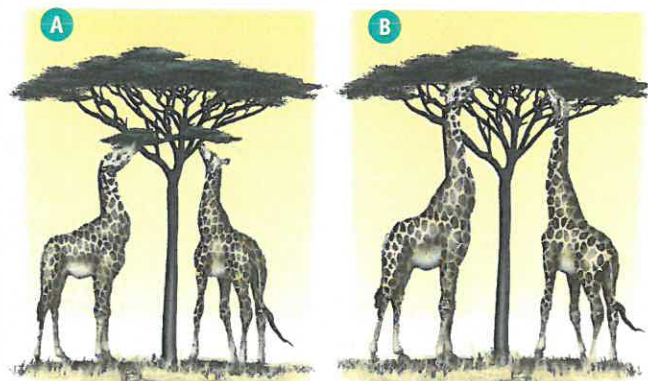
La variabilitat biològica heretable depèn dels gens.



DOC.3 COMPAREM TEORIES

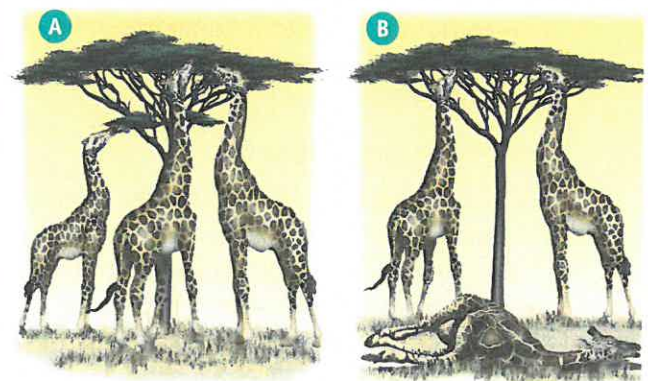
Lamarck

- Les girafes s'esforcen per aconseguir l'aliment i desenvolupen el coll (A).
- Els descendents hereten un coll més llarg i també s'hi esforcen.
- El caràcter desenvolupat i transmès origina girafes amb el coll llarg més ben adaptades (B).



Darwin

- La variabilitat dona lloc a girafes amb coll curt i girafes amb coll llarg (A).
- Les girafes de coll llarg aconsegueixen més fàcilment l'aliment, es reproduïxen més bé i transmeten els seus caràcters a la descendència.
- Les girafes de coll curt tendeixen a desaparèixer. Sobreviuen les de coll llarg, més ben adaptades (B).



COMPROVA EL QUE HAS APRÈS

1. Quina idea, la de Lamarck o la de Darwin, creus que és més versemblant? Raona la resposta.

L'evolució biològica és un procés inestroncable que va començar amb l'origen de la vida. Com que és un procés lent, és molt difícil de demostrar-lo de manera experimental, però la certesa del fet evolutiu la podem obtenir a partir d'un seguit de proves de tipus diversos.

■ Proves taxonòmiques

La **taxonomia** s'ocupa de la classificació dels éssers vius per mitjà de l'agrupació en *regnes, classes, ordres, famílies, gèneres i espècies*. Cada categoria taxonòmica engloba grups afins, que probablement tenen un origen evolutiu idèntic. Les branques de l'arbre evolutiu dels éssers vius indiquen línies evolutives diferents, però tots procedeixen, inicialment, d'un tronc comú.

■ Proves morfològiques

Es basen en l'estudi comparat de la morfologia d'òrgans d'éssers vius actuals i del passat per establir-hi semblances i diferències.

- **Òrgans homòlegs.** Són els que posseeixen el mateix origen embrionari i evolutiu i s'han adaptat a diferents funcions. Indiquen un origen evolutiu comú.
- **Òrgans anàlegs.** Són els que tenen un origen embrionari diferent, però aparentment tenen una forma semblant i realitzen la mateixa funció.
- **Òrgans vestigials.** Són òrgans o parts del cos atrofiades i sense cap utilitat actual, però mostren l'existència d'avantpassats comuns entre organismes molt diferents.

■ Proves biogeogràfiques

Consisteixen en l'existència d'espècies semblants, emparentades, que habiten zones que estan o han estat relacionades entre si per raons de proximitat o de situació o per les seves característiques.

■ Proves paleontològiques

Es basen en l'estudi comparatiu dels **fòssils**. S'hi estableixen semblances i s'intenta de reconstruir una història evolutiva d'aquests éssers.

■ Proves embriològiques

S'estudien les semblances i les diferències en el desenvolupament embrionari de diferents grups o espècies i se n'estableix el grau de parentiu evolutiu. Com més semblança hi hagi entre els embrions, més gran serà el grau de parentiu entre dues espècies.

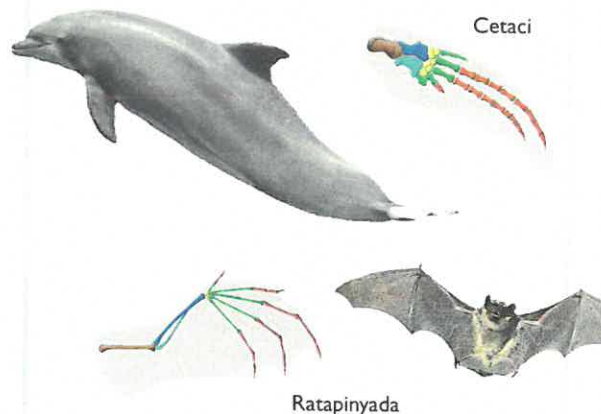
■ Proves moleculars

Són les proves més actuals i les més convicents a favor de l'evolució. Consisteixen a comparar certes molècules que es troben a tots els éssers vius de tal manera que aquestes molècules són més semblants com més semblances evolutives hi ha entre els seus posseïdors, i a la inversa. Es comparen, sobretot, **proteïnes** i **ADN**. L'estudi de les semblances i les diferències entre els **gens** de dues espècies permet esbrinar-ne el grau de parentiu evolutiu.

DOC.1 PROVES MORFOLÒGIQUES

Òrgans homòlegs

Les extremitats dels peixos, el amfibis, els rèptils, els ocells i els mamífers, com en el cas del dofí i la ratapinyada, són òrgans homòlegs. Són extremitats compostes pels mateixos ossos amb formes diferents i amb funcions diferents.



Òrgans anàlegs

Les banyes de l'escanyapolls o cérvol volent (*Lucanus cervus*) i les del cérvol són òrgans anàlegs. Tenen origen diferent, però la funció és la mateixa.



Òrgans vestigials

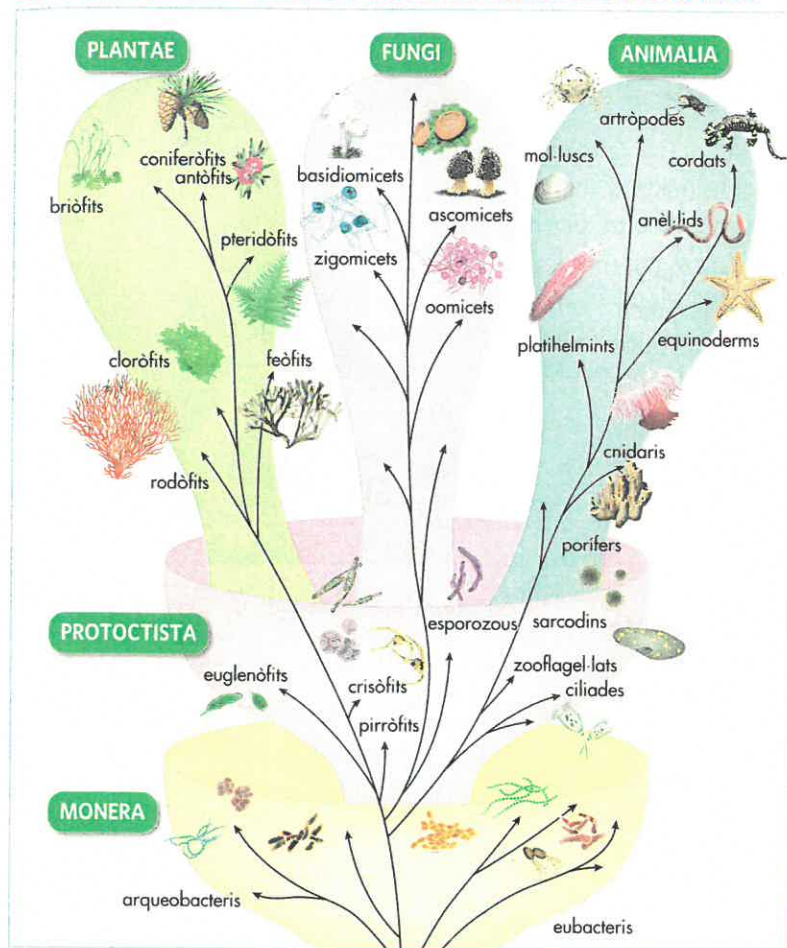
Les balenes i els dofins conserven vestigis del fèmur i de la cintura pelviana.

En l'espècie humana, l'apèndix, els queixals del seny i el còccix, que és una estructura residual de la cua que observem en altres animals, són exemples d'òrgans vestigials.

Un altre exemple n'és el tendó *palmaris longus* del canell, que no està present en el 16% o més de la població. Té poca utilitat per a nosaltres, però és útil per als ximpanzés i els orangutans, perquè els permet agafar-se més bé a les branques dels arbres.



SISTEMA DELS CINC REGNES I LES SEVES RELACIONS EVOLUTIVES



DOC.2 PROVES PALEONTOLÒGIQUES

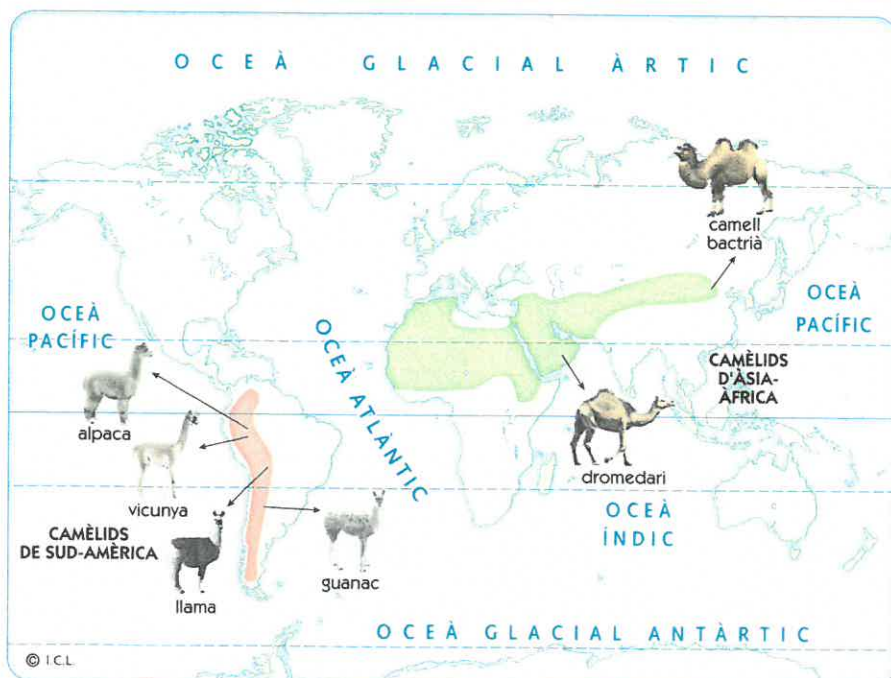
Gràcies a les restes fòssils s'ha pogut reconstruir l'*Archaeopteryx*, que va viure fa 150 milions d'anys. Té plomes, urpes a les ales i dents al bec, característiques que fan que el considerem una forma intermèdia entre els rèptils i els ocells.



@ Per ampliar a la Xarxa...

Per saber més sobre les proves de l'evolució biològica, entra a: www.tiching.com/743472

DOC.3 PROVES BIOGEOGRÀFIQUES



Els membres de la família dels **camèlids** viuen en diferents continents. Provenen d'un avantpassat comú, però en separar-se els continents diferents poblacions van quedar aïllades i van evolucionar de manera independent.

COMPROVA EL QUE HAS APRÈS

1. Quin tipus de proves evolutives s'han d'aplicar a l'estudi dels fòssils dels cavalls? I pel que fa a la distribució geogràfica dels pinsans de les Galápagos?
2. Des del punt de vista evolutiu, quin tipus d'òrgans mostren les ales d'una mosca i les d'un pardal?

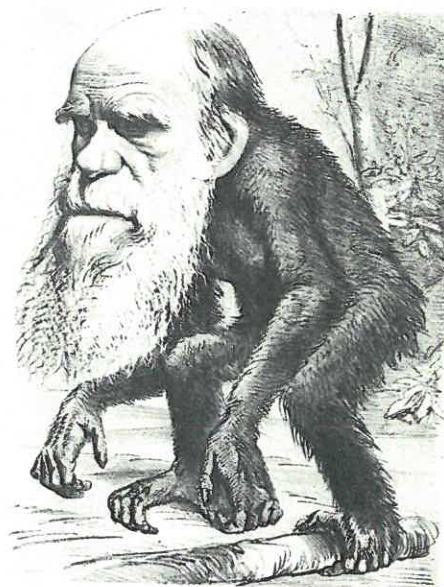
Darwin pensava que l'home i altres primats descendeixen d'avantpassats comuns. La seva idea sobre l'evolució humana va ser mal interpretada, principalment pels seus oponents religiosos. Actualment, sabem que Darwin tenia raó, com ho demostren les diferents proves de l'evolució biològica.

5.1. Posició taxonòmica de l'*Homo sapiens*

El fet que l'home és un primat és incontestable. Tanmateix, la interpretació de la seva línia evolutiva i la seva posició taxonòmica han experimentat diferents canvis, deguts en gran part a nous descobriments fòssils.

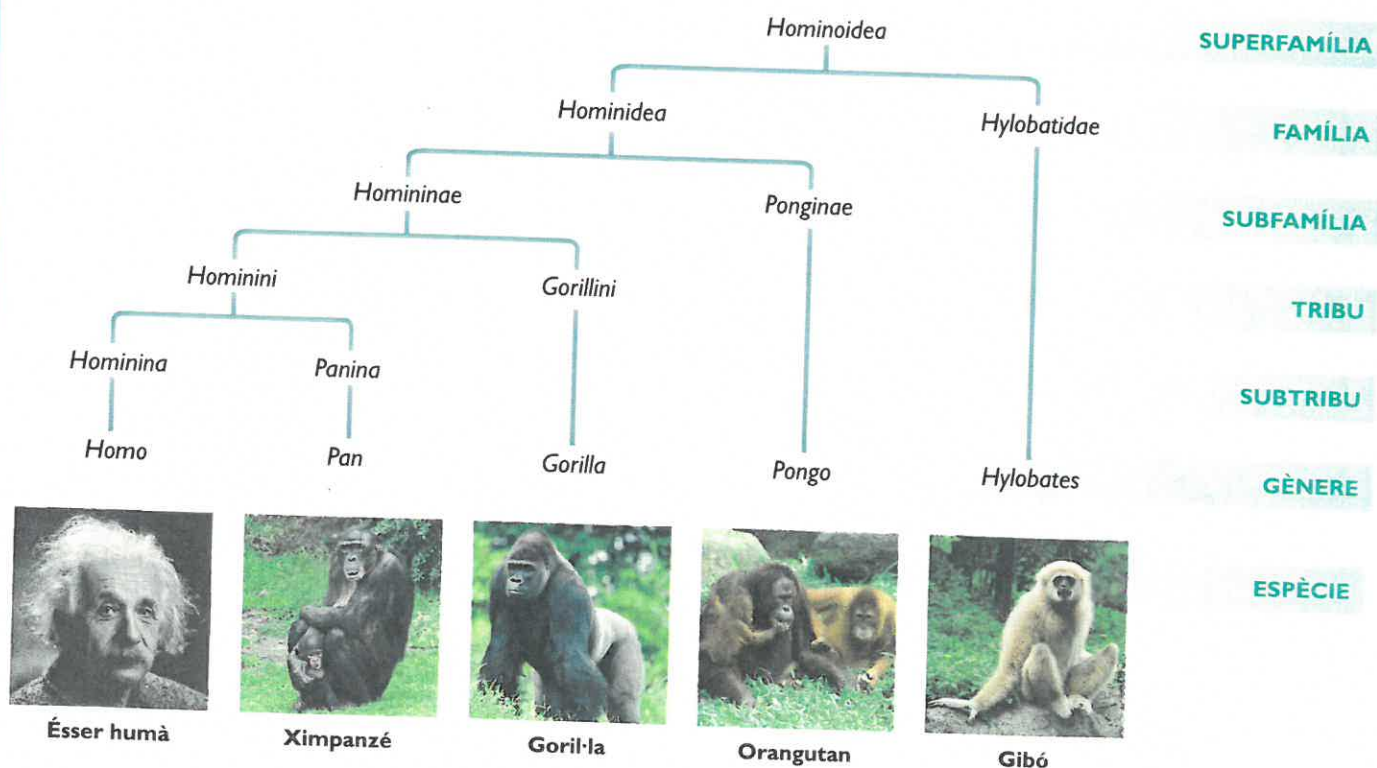
La superfamília *Hominoidea* inclou tres famílies, de les quals n'hi ha dues que tenen representants actuals, els gibons (*Hilobatidae*) i els homínids (*Hominidae*), que engloba els orangutans, els goril·les, els ximpanzés i els humans. Els **Hominidae** formen una subfamília de primats amb dos tribus, els *Gorillini*, que inclou els goril·les, i els **Hominini**, que inclou els ximpazés i els humans, amb tots els ancestres extingits.

A més, per l'afany de diferenciar-nos dels nostres parents vius més pròxims, com ara el ximpanzé, s'ha format la subtribu *Panina* (ximpanzés i bonobos) i la subtribu *Hominina*, que són els primats de postura dreta i locomoció bípeda, de la qual actualment només sobreviu l'***Homo sapiens***.



La caricatura més coneguda de Darwin es va publicar a la revista satírica *The Hornet* l'any 1871. S'hi representa Darwin amb les característiques d'un primat per tal de criticar la seva teoria de l'evolució.

DOC.1 POSICIÓ TAXONÒMICA DE L'ESPÈCIE HUMANA



5.2. El procés d'hominització

L'**hominització** fa referència a les diferents etapes i als canvis que componen el desenvolupament evolutiu de la nostra espècie.

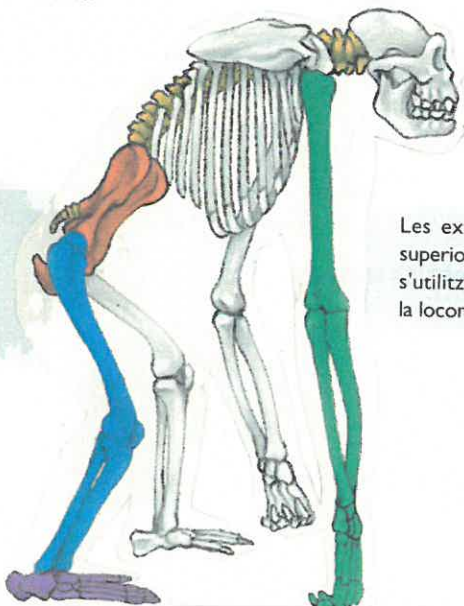
Com a conseqüència de la formació de la vall del Rift, a l'Àfrica oriental, s'hi van originar canvis en les condicions ambientals, que van tenir com a efecte principal la transformació de zones selvàtiques en sabana. Els grups de primats que hi vivien van haver d'adaptar-se a les condicions d'espais oberts, en els quals la **positora bípeda** té molts avantatges sobre la quadrúpeda. Aquest canvi va donar lloc a una sèrie de **modificacions anatòmiques**.

El bipedisme

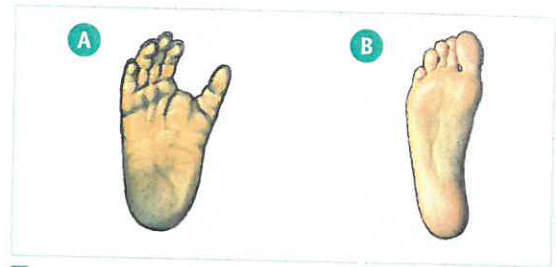
El bipedisme sembla ser el canvi més antic en el procés d'hominització. Va facilitar l'observació de l'horitzó per damunt de les altes herbàcies de la sabana. Va comportar les modificacions anatòmiques següents:

- a) Pèrdua de la capacitat prènsil de les extremitats inferiors.
- b) Curvatura en arc de la planta dels peus i escurçament dels dits.
- c) La pelvis s'eixampla i s'escurça amb la finalitat d'aguantar les vísceres intestinals i de reforçar la musculatura dels malucs i de les cames.
- d) La columna vertebral adopta una curvatura en S, que és una forma més idònia per aguantar el pes del cos.
- e) Aparició d'un orifici entre la tibia i el peroné que permet un reforç muscular més gran i la curvatura del genoll en angle.
- f) La verticalitat del cap en relació amb la columna vertebral és afavorida pel desplaçament de l'orifici occipital (*foramen magnum*), característica que permet mirar més fàcilment cap endavant.

Els ximpanzés es poden desplaçar en posició bípeda, però d'una manera oscil·lant i amb una gran despesa energètica.

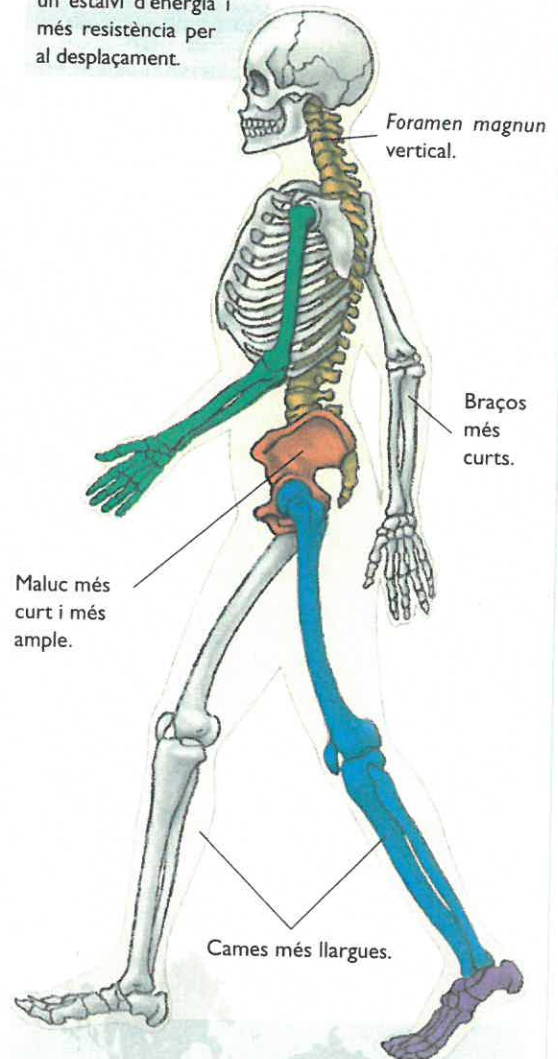


Les extremitats superiors encara s'utilitzen per a la locomoció.



(A): Peu de goril·la amb el dit gros oposable. (B): Peu humà amb el dit gros no oposable.

Els punts de gravetat en l'esquelet dret impliquen un estalvi d'energia i més resistència per al desplaçament.



Peu més curt i corbat en els humans, amb pèrdua de la capacitat prènsil perquè ja no es desplacen pels arbres.

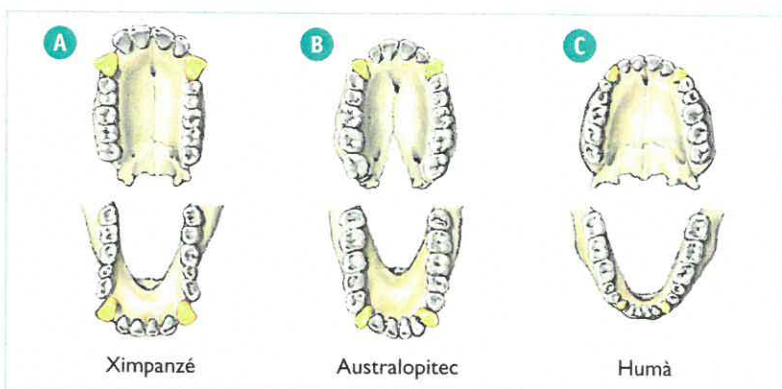
5 L'EVOLUCIÓ HUMANA

Alliberament de les extremitats anteriors

Amb el bipedisme, les extremitats anteriors deixen de ser necessàries per a la locomoció. Les mans es van escurçar i eixamplar. El dit polze va esdevenir oposable als altres dits, i això va permetre agafar els aliments i els estris per mitjà d'una pinça de precisió més útil que la de pressió dels ximpanzés.

Alimentació i canvis en la dentició

La dieta tendeix a esdevenir omnívora i es comença a coure els aliments, procés que en facilita la digestió i redueix el desgast de les dents. El resultat és la disminució progressiva del nombre de peces dentàries alhora que es va reduint la grandària de les canines.



L'alliberament de les mans va permetre no haver de defensar-se amb la boca, de manera que les mandíbules, els músculs facials, els llavis i les dents incisives van perdre grandària.

Augment de la capacitat cranial

La capacitat cranial va augmentar progressivament en relació amb la grandària del cos i, de resultes d'això, va augmentar la grandària de l'encèfal i el desenvolupament cerebral.

L'augment de l'encèfal va ser resultat de factors diversos, com ara el creixement cerebral durant la gestació, l'augment del consum de proteïnes procedents de la carn, la prolongació de la infantesa i el desenvolupament d'activitats socials en el grup.

A Subjecció sense precisió B Subjecció amb precisió



AUGMENT DE LA GRANDÀRIA DEL CERVELL

Australopithecus
350-500 cm³



Homo habilis
550-750 cm³



Homo erectus
550-1 300 cm³



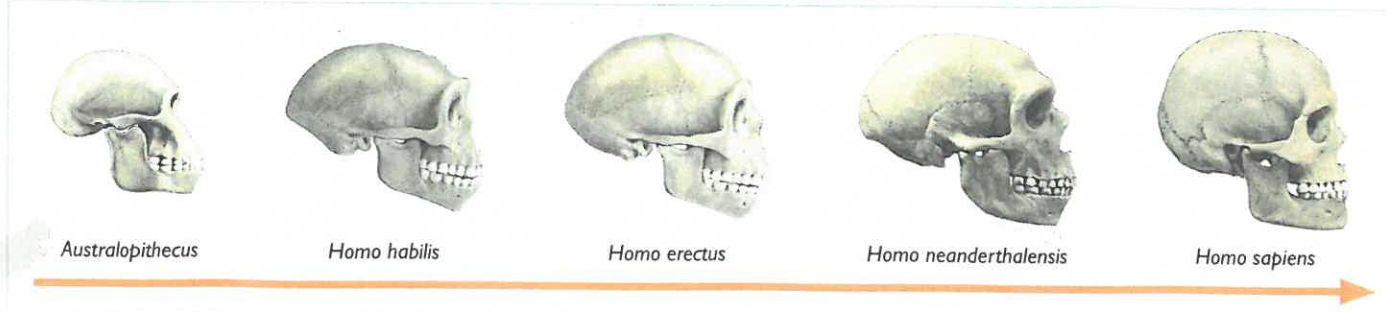
Homo neanderthalensis
1 500 cm³



Homo sapiens 1 500 cm³



CANVIS EN LA FORMA I EN LA CAPACITAT DEL CRANI EN ESPÈCIES HUMANES



Reproducció i desenvolupament

L'èxit reproductiu de l'espècie humana es va veure afavorit per la desaparició de l'època de zel, fet que va permetre un nombre més gran de contactes sexuals i una fertilitat més gran de les femelles.

L'augment de dependència de les cries i de les relacions socials va desembocar en la **juvenització** de l'espècie. El desenvolupament de l'ésser humà és lent i amb un període llarg d'aprenentatge de les cries. Per exemple, les dents triguen a créixer, les sutures cranials es solden lentament; es retarda el desenvolupament del cervell i s'ha generat una necessitat d'ensinistrament més gran.

En l'espècie humana les cries depenen molt més temps de la cura dels progenitors.



DOC.2 GENÈTICA I EVOLUCIÓ HUMANA

Les proves d'ADN en la paleontologia s'utilitzen des de temps recent, però amb molt d'èxit

La possibilitat de realitzar estudis genètics de restes fòssils canviarà la interpretació de l'evolució humana, a parer del científic Robert Sala.

L'aplicació de proves d'ADN a la paleontologia és molt recent, però ja és evident que aporta informació que no es coneixia fins ara perquè només s'estudiaven les restes des del punt de vista físic i químic.

Segons Sala, un exemple de "la revolució" que poden suposar les anàlisis d'ADN aplicades a l'estudi dels fòssils és l'article científic realitzat per un equip liderat per Juan Luis Arsuaga, un dels codirectors d'Atapuerca, que va concloure que les restes trobades a la Sima de los Huesos d'Atapuerca, anatòmicament molt semblants als neandertals, tenen relació genètica amb fòssils de l'anomenat home de Denisova, de Sibèria.

Malgrat això, va reconèixer que ens falten elements per definir més bé aquesta relació, atès que hi ha poques restes de l'home de Denisova. Una altra mostra de la importància dels estudis genètics és l'establiment d'una relació entre els neandertals i l'*Homo sapiens*, que fins no fa gaire es creia inexistent.

Relació entre els neandertals i els *Homo sapiens*

Les proves d'ADN mitocondrial, que es transmet per via materna, conclouien que no hi havia relació, però quan s'ha pogut extreure ADN nuclear s'ha vist que l'*Homo sapiens*, la població actual, té, a Europa i Àsia, algunes restes d'ADN neandertal; per tant, en algun moment van compartir un pare comú. Una de les dades que caldrà estudiar en el futur és per què aquests vestigis de neandertal no es troben en l'*Homo sapiens* africà.

El professor Tim Denham, de la Universitat Nacional d'Austràlia a Canberra, ha assegurat que la revolució que va suposar l'inici dels conreus en el Neolític va tenir efectes molt diferents a Europa en relació amb territoris llunyans com ara Papua-Nova Guinea.

En tots dos casos, l'inici dels conreus es produeix fa uns 7000 anys. L'efecte més conegut de l'agricultura a occident va ser el pas a societats més jerarquitzades i al que coneixem com a civilització, amb el sorgiment de les primeres ciutats. A Nova Guinea, però, hi van sorgir societats més igualitàries i no s'hi van crear grans espais urbans, sinó que es produí una millor adaptació al territori natural, va explicar el professor en la seva intervenció.

ABASCAL, P.: "La genética 'revolucionará' el estudio de la evolución humana" (adaptació), en ABC.es (3 de setembre de 2014).

COMPROVA EL QUE HAS APRÈS

1. Quins avantatges creus que té per a l'espècie humana el fet de tenir els malucs amples?
2. Com explicaria un lamarckista la disminució de la grandària de les dents canines en l'evolució humana?
3. Quina diferència hi ha entre la subjecció mitjançant la pinça de pressió o mitjançant la pinça de precisió?
4. Què vol dir que en l'espècie humana va desaparèixer l'època de zel? Quines conseqüències va tenir en la reproducció?

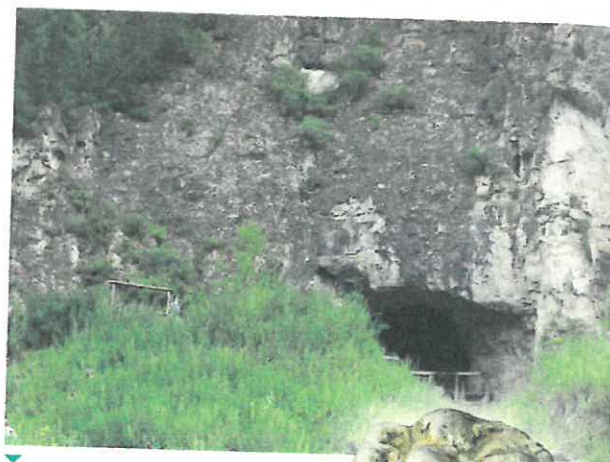
Durant un cert temps es va pensar que el procés evolutiu humà era lineal. La cerca de la **baula perduda** entre els humans i els simis ha estat un dels tòpics de la paleontologia humana, però trobar fòssils humans, base de l'estudi de l'evolució humana, ha estat sempre, com ho és encara, força complicat.

El progrés en els estudis genètics i les anàlisis d'ADN han ajudat a desxifrar les relacions entre les diferents espècies i l'evolució de l'*Homo sapiens*.

Actualment, se sap que el procés evolutiu humà no és lineal. Podem representar aquest procés com un arbre amb moltes ramificacions i amb molts interrogants, que a més canvia contínuament. Les espècies implicades van ser molt nombroses, amb aparicions i extincions en moments diferents.

En l'arbre de l'evolució humana s'hi poden distingir quatre grups: el grup **Ardipithecus** o **primers homínids**, que és el grup més antic, del qual trobem restes d'entre 3 i 6 milions d'anys; el grup **Australopithecus**, amb restes d'1 a 5 milions d'anys; el grup **Paranthropus** o **Australopithecus robustus**, amb restes d'1 a 3 milions d'anys, i el grup **Homo**, amb fòssils des de fa 3 milions d'anys.

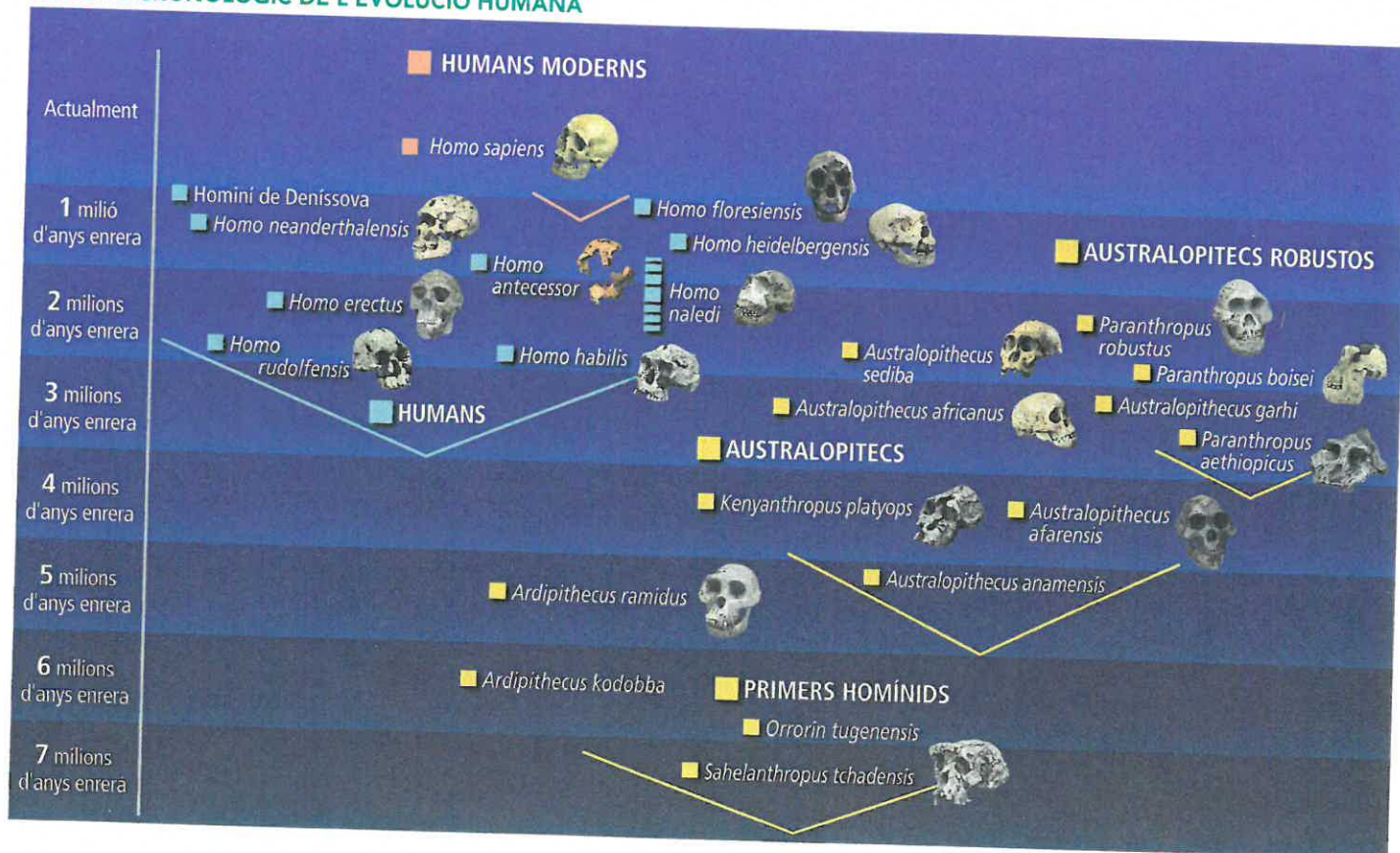
Amb els darrers estudis i troballes es pensa a incloure-hi un cinquè grup, el dels denisovans.



Els estudis d'ADN de la mandíbula de l'home de Denisova, les restes del qual es van trobar a la cova de Denisova, a Sibèria, suggereixen que està emparentat amb l'home neandertal i amb l'*Homo sapiens*.



QUADRE CRONOLÒGIC DE L'EVOLUCIÓ HUMANA



6.1. Grans moments de l'evolució humana

Es coneixen fòssils amb una antiguitat de 7 a 5 milions d'anys d'espècies amb un cert bipedisme. Correspondrien als primers homínids o prehomínids. Constitueixen el grup *Ardipithecus* el representant més antic del qual és el *Sahelanthropus tchadensis*, descobert al Txad l'any 2001, del qual es qüestiona el bipedisme, perquè no s'ha conservat el *foramen magnum*.

Fa aproximadament 5 milions d'anys van aparèixer els **australopitecs**, dels quals es coneixen diferents espècies. Es diferencien per dues línies evolutives: el grup dels ***Australopithecus gracilis***, que és la línia que porta cap a l'home actual, amb espècies com l'*Australopithecus anamensis*, l'*Australopithecus africanus* i l'*Australopithecus afarensis*. I la segona línia evolutiva formada pel grup dels ***Australopithecus robustus*** o *Paranthropus*, amb espècies com el *Paranthropus boisei* i el *Paranthropus robustus*.

Fa uns 2,5 milions d'anys va aparèixer a l'Àfrica oriental l'***Homo habilis***, el primer humà que era ja fabricant d'eines. Les restes es van trobar a Olduvai a mitjan dècada del 1960 i fins al 1964 van ser atribuïdes a l'*Australopithecus*.

Fa 1,8 milions d'anys va aparèixer l'***Homo ergaster***, molt semblant als humans actuals, amb el rostre més prominent i molars robustes. Va sortir d'Àfrica i fa 1,5 milions d'anys va arribar a Indonèsia i la Xina. Aquestes poblacions d'*Homo ergaster* fora d'Àfrica es consideren *Homo erectus*, tot i que hi ha la tendència de considerar aquestes dues espècies com una de sola.



▼ Els australopitecs eren clarament bípedes, com ho demostra l'empremta fòssil de les seves petjades. Tenien la cara ampla i aplanada, amb molars robustes. El cervell era petit, semblant al d'un ximpazé, i l'alçada no superava els 1,5 metres. El més antic és l'*Australopithecus anamensis*.

DOC.2 ATAPUERCA A ESCENA

Les restes humanes més antigues d'Europa es van trobar a la serralada d'Atapuerca (Burgos). L'excel·lència d'aquestes restes és que presenten trets semblants als humans actuals; per això els van considerar una espècie nova que va ser anomenada ***Homo antecessor***.

També s'han trobat restes d'***Homo heidelbergensis***, de 400 000 anys d'antiguitat.



► Reconstrucció del noi de la Gran Dolina (*Homo antecessor*).

DOC.1 NEANDERTAL I SAPIENS



Els dos últims homínids, ***Homo neanderthalensis*** i ***Homo sapiens***, l'espècie actual, van aparèixer fa 200 000 anys i van poblar, sobretot, la zona europea.

L'home de Neandertal era molt robust i estava adaptat al fred, però es va extingir. L'*Homo sapiens* es va estendre per tot el planeta.

► L'home de Neandertal (*Homo neanderthalensis*) va viure fa de 150 000 a 40 000 anys. Físicament era molt fort i tenia una capacitat cranial semblant a la de l'home actual.

COMPROVA EL QUE HAS APRÈS

1. Segons l'arbre evolutiu de l'espècie humana, van conviure al mateix moment diverses espècies d'humans?
2. En general, quina pot ser la diferència entre l'*Australopithecus robustus* i l'*Australopithecus gracilis*?
3. Utilitzant les TIC, investiga si l'home de Cromanyó correspon a fòssils de certa importància en l'evolució.
4. Creus que en algun moment es poden haver creuat espècies diferents d'humans i haver tingut descendència? Reflexiona la resposta.