

Evidències de l'evolució

L'evolució permet justificar científicament una enorme quantitat d'observacions biològiques que, d'una altra manera, semblarien inexplicables.

Les semblances anatòmiques

Si es comparen animals diferents, s'hi troben les evidències següents:

- **Òrgans homòlegs.** Òrgans amb forma externa i, fins i tot, funció diferents, però amb la mateixa estructura interna, perquè tenen el mateix origen embriològic i evolutiu. En són exemples les extremitats anteriors dels rèptils, les aus i els mamífers (vegeu la figura 3).
- **Òrgans anàlegs.** Òrgans amb una estructura i un origen embrionari diferents, però que exerceixen la mateixa funció. No tenen el mateix origen evolutiu. En són exemples les ales dels insectes i les aus.
- **Òrgans vestigials.** Òrgans que no són útils per a l'animal, però que en els seus avantpassats es trobaven molt més desenvolupats i feien una funció útil. En són exemples l'apèndix vermiforme i el còccix humans, i petits ossos de la cintura pelviana de les serps i les balenes.

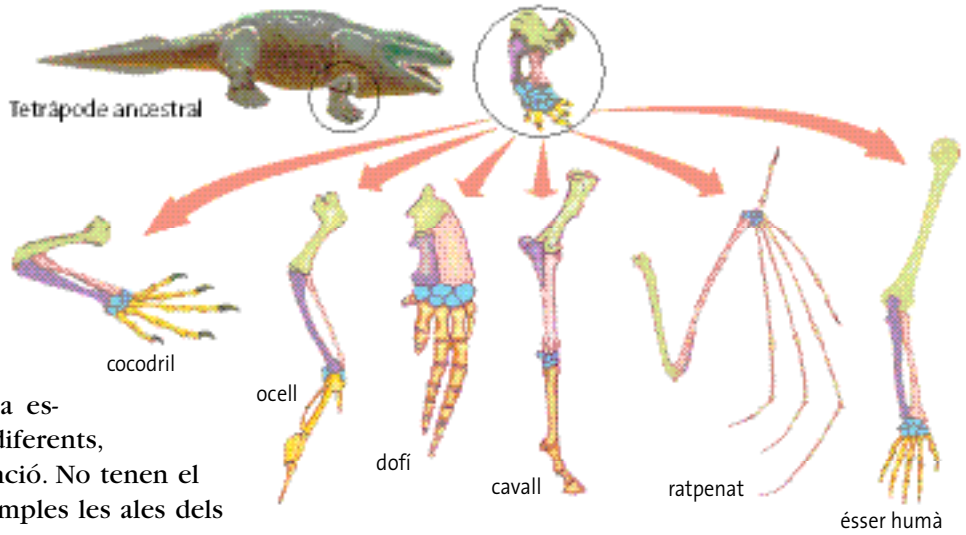


Figura 3. Les homologies en l'extremitat anterior dels vertebrats tetràpodes indiquen un origen evolutiu comú.

Les semblances embrionàries

Quan comparem embrions de diferents espècies de vertebrats, observem els aspectes següents:

- Els primers estadis embriològics de tots els vertebrats són molt semblants. Després es diferencien seguint aproximadament la jerarquia taxonòmica.
- Tots els vertebrats, incloent-hi els terrestres, passen per un estadi embriològic en el qual tenen fenèdres branquials.
- Els embrions humans, com els dels altres vertebrats, passen per una etapa durant la qual tenen cua.

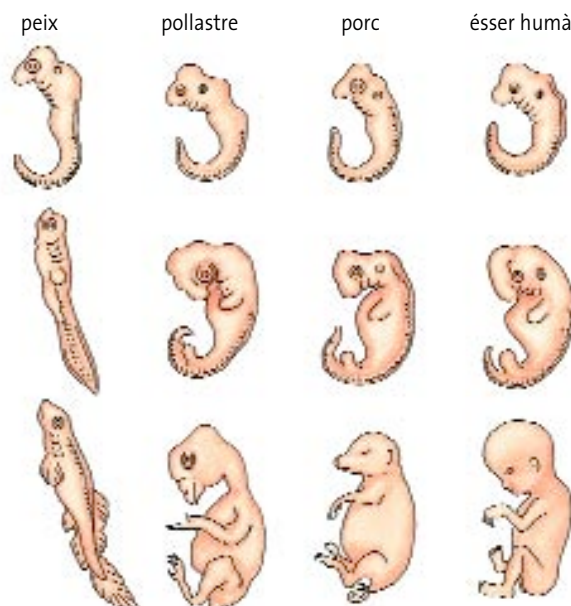
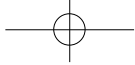


Figura 4. Diferents estadis en el desenvolupament embrionari de diverses espècies de vertebrats.



35 Concepte d'espècie. Evidències del fet evolutiu

► Els fòssils

Els **fòssils** són restes d'organismes d'altres temps, o de la seva activitat, que per causes naturals s'han conservat en les roques. La **paleontologia** és la ciència que estudia els fòssils.

Molts fòssils corresponen a ossos, ous, closques o altres parts dures petrificades, però també són fòssils els organismes conservats en gel, resines o asfalts. Igualment són fòssils les petjades, les marques o altres restes de l'activitat dels éssers vius conservades a les roques.



▲ **Figura 5.** Diversos fòssils: un peix, una fulla, un artròpode conservat en ambre i petjades de dinosaure.

A partir dels fòssils, els paleontòlegs poden extreure molta informació de l'organisme que els va deixar i deduir aspectes sobre el seu entorn i, en alguns casos, fins i tot poden arribar a la reconstrucció completa del cos de l'organisme.

L'antiguitat dels fòssils es pot determinar:

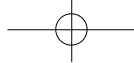
- directament, utilitzant mètodes de datació radioactiva;
- indirectament, tenint en compte la disposició relativa dels estrats que els contenen.

El **registre fòssil**, el conjunt de fòssils que es coneix, és incomplet. Això és conseqüència, entre d'altres, dels motius següents:

- El fet que un organisme deixi fòssils és poc freqüent.
- La fossilització és un procés llarg i difícil, que es dona sobretot en sediments dipositats en el medi aquàtic.
- La fossilització de parts toves d'organismes encara és més difícil, perquè aquestes parts es deterioren en poc temps. Aquesta dificultat és fonamental en el cas dels organismes formats només per parts toves.
- La major part dels fòssils que hi ha actualment estan enterrats a l'interior de les roques, en l'escorça terrestre.

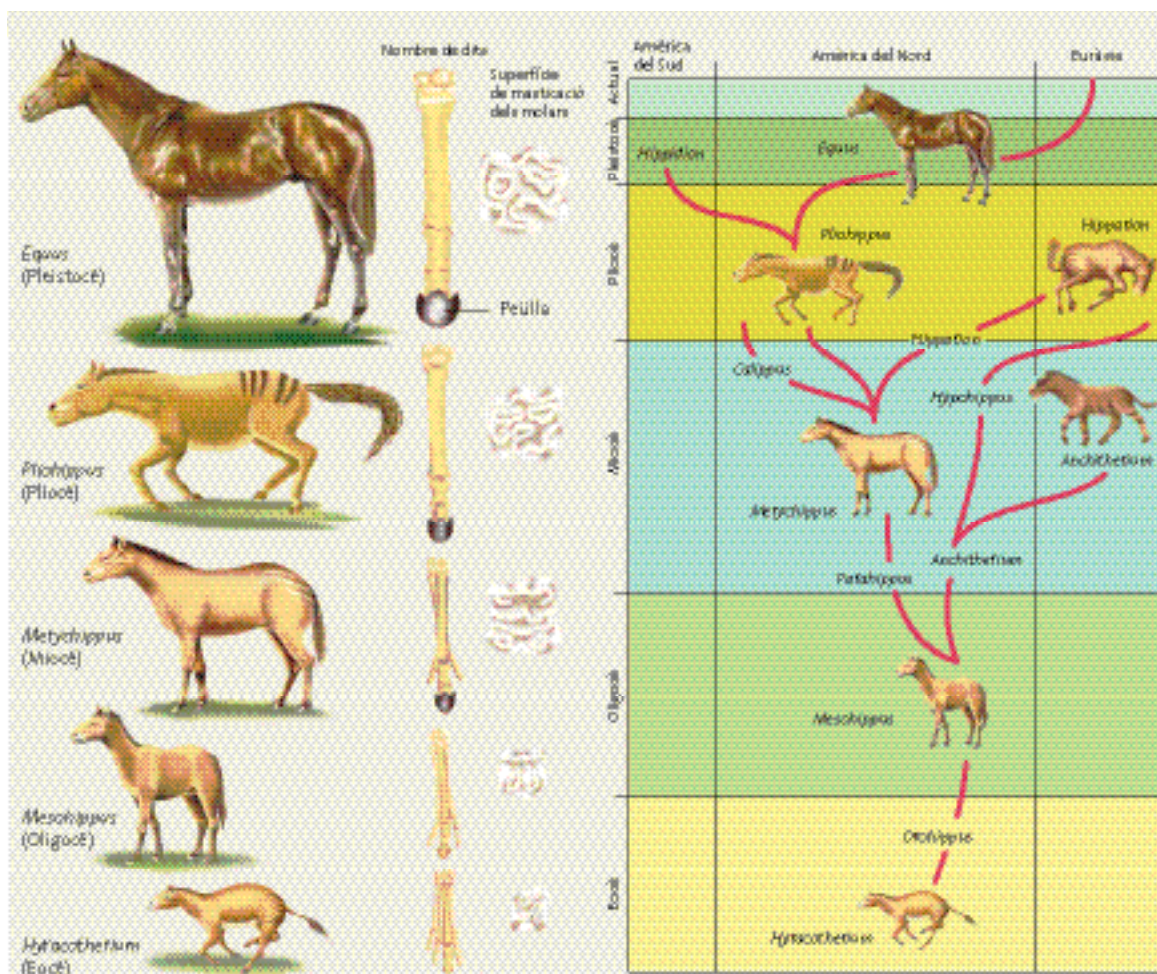
Malgrat aquestes dificultats, els paleontòlegs han observat que:

- Cada era, període o època en la història de la Terra presenta un conjunt de fòssils característics, els **fòssils guia**.
- Els éssers vius han anat canviant al llarg del temps. Cada espècie apareix en un moment determinat, es conserva durant períodes més o menys llargs de temps i s'acaba extingint.



Concepte d'espècie. Evidències del fet evolutiu

- Els grups d'èssers vius apareixen en un moment determinat, a partir d'un grup anterior. Per exemple, els primers rèptils van sorgir fa uns 325 milions d'anys (a partir d'un grup d'amfibis), i els primers mamífers, fa uns 210 milions d'anys (a partir d'un grup de rèptils).
- Com més separades estan dues èpoques en el temps, més diferents són els seus fòssils; per exemple, els fòssils del cretaci (fa 100 milions d'anys) són molt més semblants als del juràssic (fa 150 milions d'anys) que als del carbonífer (fa 300 milions d'anys).
- En molts casos s'han trobat successions d'espècies semblants, esglaonades en el temps, que en conjunt mostren una evolució ramificada. Un dels casos més divulgats és el dels avantpassats dels cavalls (vegeu la figura 6).

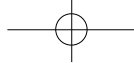


◀ **Figura 6.** Els cavalls actuals i els seus avantpassats i parents evolutius. Observa que moltes espècies es van extingir sense deixar descendència.

- També s'han trobat formes de transició entre grups d'organismes diferents. Un dels més famosos és el fòssil d'*Archaeopteryx*, que presenta característiques intermèdies entre els rèptils i les aus (vegeu la figura 7).



▶ **Figura 7.** Fòssil d'*Archaeopteryx*, un animal que presenta plomes i ales d'ocell, amb cua i dents de rèptil.



35 Concepte d'espècie. Evidències del fet evolutiu

► La biogeografia

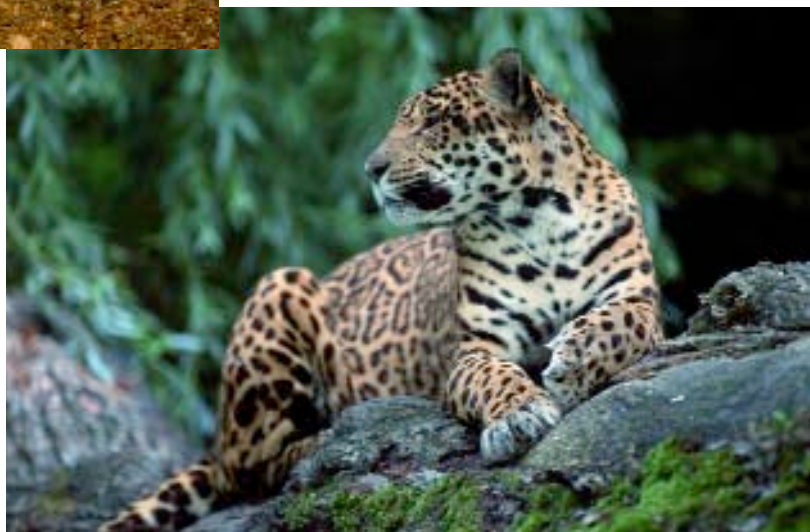
La **biogeografia** és la ciència que estudia la distribució geogràfica de les espècies vives.



▲ **Figura 8.** Lleopard (*Panthera pardus*), depredador del continent africà.

Cada continent i cada illa mostren una flora i una fauna particulars, amb espècies diferents de les d'altres llocs, encara que amb característiques adaptatives similars; per exemple, a l'Amèrica del Sud i l'Àfrica, amb climes similars, hi viuen espècies diferents, com el jaguar i el lleopard (vegeu les figures 8 i 9).

Això és conseqüència del fet que les espècies existeixen únicament en els ambients amb condicions favorables que han estat colonitzats pels seus avantpassats; per exemple, els avantpassats dels lleopards van arribar a l'Àfrica, però no a l'Amèrica del Sud.

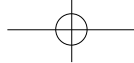


▲ **Figura 9.** Jaguar (*Panthera onca*), depredador del continent sud-americà.

En molts arxipèlags, com ara les Galápagos o les illes Hawaii, hi ha molt pocs grups d'organismes vius, cadascun dels quals té una gran diversitat d'espècies *endèmiques* (que només es troben allà). Això s'explica perquè els pocs organismes que van arribar a aquests arxipèlags els van colonitzar i van evolucionar de manera diferent a cada illa, i així es va originar la gran diversitat d'espècies actuals.



◀ **Figura 10.** A les illes Galápagos hi ha moltes espècies endèmiques de pinsans, que ja van ser observades per Darwin.



▶ Selecció artificial

Els animals domèstics i les plantes cultivades provenen d'animals i plantes salvatges, criats pels éssers humans des de fa uns pocs milers d'anys. Moltes vegades, aquests animals i plantes tenen aspectes força diferents dels dels seus parents salvatges, com passa en els gossos i els llops.

En algunes espècies domèstiques hi ha varietats d'aspecte tan diferent com un gos pastor alemany i un gos terrier escocès (vegeu la figura 11). En aquests animals i plantes domèstics, es trien com a reproductors els individus que es consideren millors, els que tenen les característiques més valorades. Per exemple, els bous que donen més llana, les vaques que fan més llet, el blat més productiu o més resistent als factors climàtics, etc.

Amb aquest procés de selecció artificial hem fet evolucionar, en uns pocs milers d'anys, els animals domèstics i les plantes conreades, utilitzant un mecanisme equivalent a la selecció natural.



1875



1925



1975

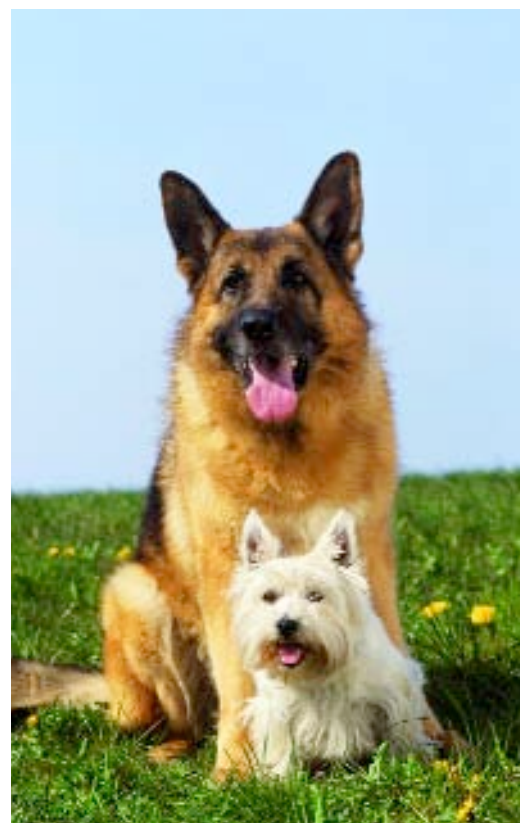


Figura 11. Dues races de gos, el pastor alemany i el terrier escocès.

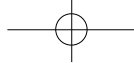


Figura 13. Diverses varietats de col.



Figura 14. Diferents varietats de llavors d'arròs.

◀ Figura 12. Evolució per selecció artificial dels gossos Dachshund.



35 Concepte d'espècie. Evidències del fet evolutiu

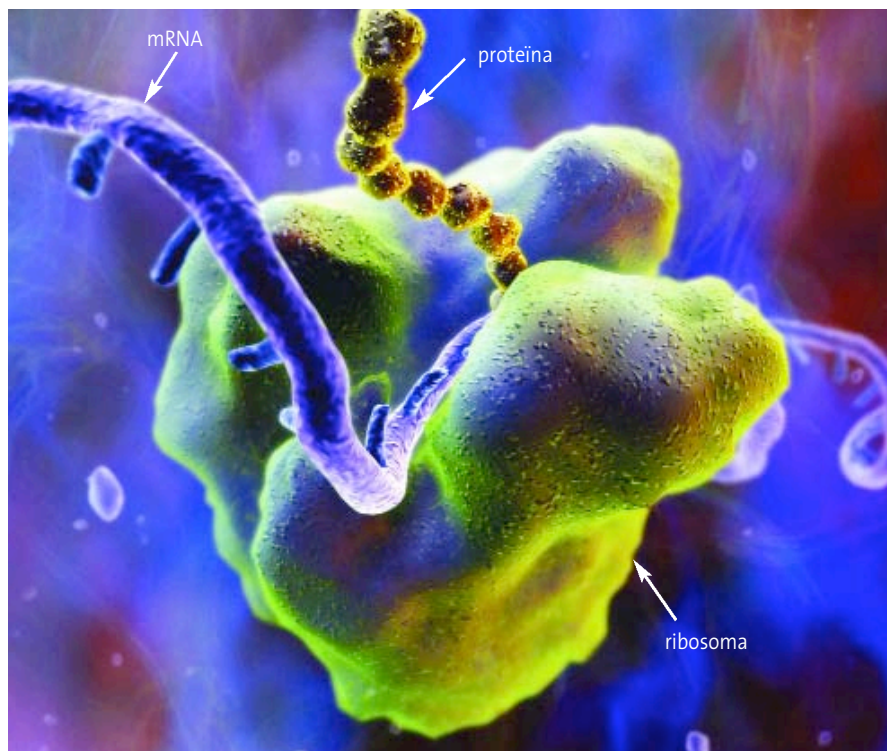
► Evidències microscòpiques i moleculars

El desenvolupament de la microscòpia, la bioquímica i la biologia molecular ha mostrat noves evidències del fet evolutiu. Aquestes evidències es poden classificar en tres grans grups, que s'expliquen a continuació.

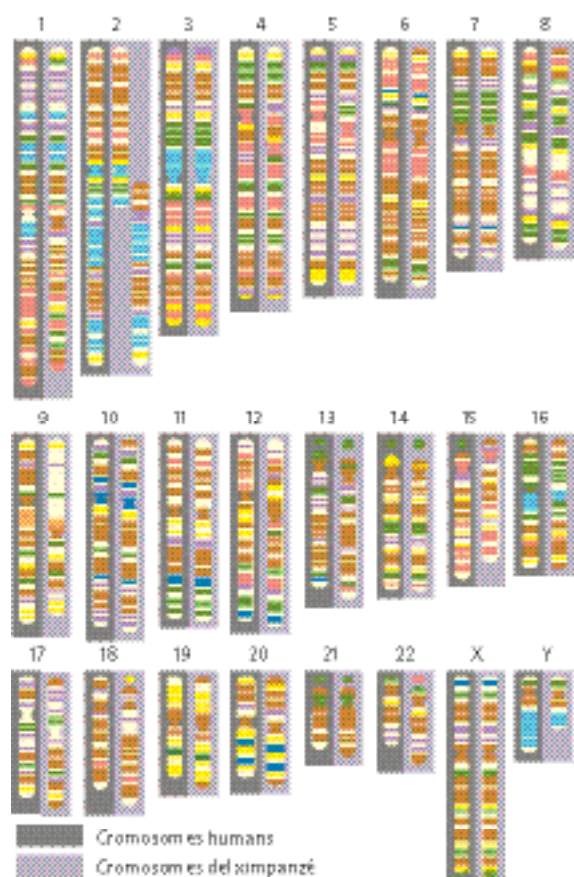
Universalitat dels mecanismes vitals bàsics

Tots els éssers vius coneguts de la Terra utilitzen els mateixos mecanismes moleculars bàsics (vegeu la figura 15), tot i que aquests mecanismes podrien funcionar bé igualment de manera diferent. Això ens indica un origen evolutiu comú:

- Utilitzem **DNA** com a material genètic.
- Fem servir **RNA** com a intermediari en l'expressió de la informació genètica.
- Usem les **proteïnes** com a enzims i per a realitzar nombroses funcions biològiques.
- Construïm les proteïnes amb els mateixos 20 **aminoàcids**.
- Utilitzem gairebé el mateix **codi genètic** per llegir la informació genètica.
- Fem servir **ATP** per transferir energia.
- Utilitzem **glucosa** com a font d'energia i per construir altres substàncies.



▲ **Figura 15.** Ribosoma traduint una molècula de mRNA per fabricar una proteïna. La manera com fabriquem proteïnes tots els éssers vius de la Terra és gairebé idèntica.

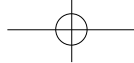


Comparació de cèl·lules i òrgànuls

Si es comparen els organismes de la Terra, es pot observar que tots els animals tenim cèl·lules molt similars, i també són semblants les cèl·lules dels vegetals. Tant les cèl·lules dels animals com les dels vegetals són diferents de les cèl·lules dels bacteris.

En aquesta comparació, també es fa evident que les espècies evolutivament properes tenen cromosomes molt similars (vegeu la figura 16). En canvi, les espècies evolutivament distants tenen cromosomes molt diferents.

◀ **Figura 16.** Els cromosomes de l'espècie humana i els del ximpanzé són molt similars.



Concepte d'espècie. Evidències del fet evolutiu

Comparació de seqüències gèniques

Alguns gens i algunes proteïnes són presents en un gran nombre d'éssers vius. Habitualment, cada espècie en presenta la seva pròpia seqüència, semblant a les seqüències d'espècies evolutivament properes i molt més diferent d'altres espècies; per exemple, el gen que codifica la cadena beta de l'hemoglobina en humans té 444 parells de nucleòtids.

Tot seguit hi ha els resultats de la comparació d'aquest gen en diferents espècies de mamífers:

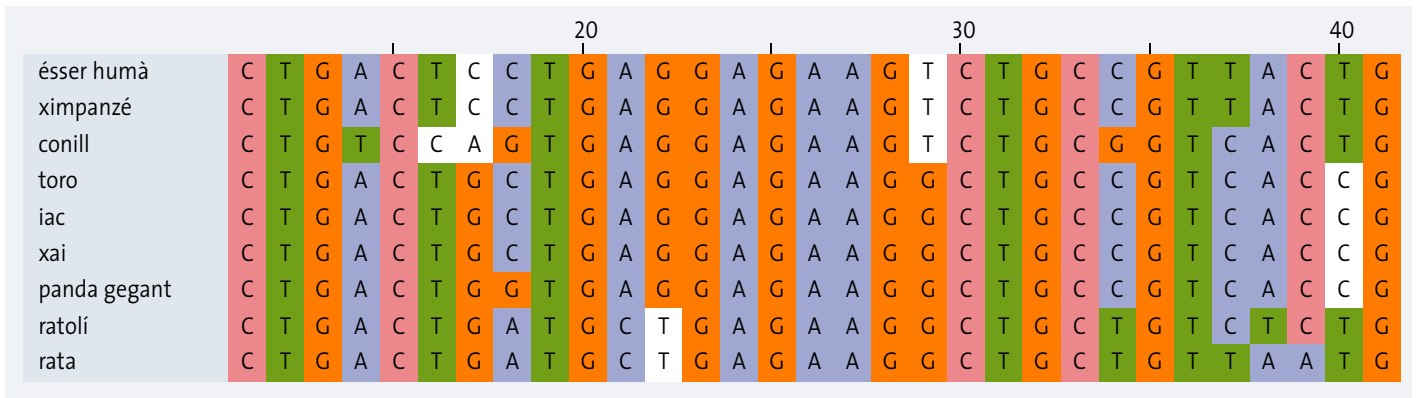


Figura 17. Fragment de la comparació del gen de la cadena beta de l'hemoglobina en diferents espècies de mamífers.

| Espècies | % identitat | Espècies | % identitat | Espècies | % identitat |
|---------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| ésser humà – ximpanzé* | 99 | ésser humà – rata | 82 | ximpanzé – rata | 83 |
| ésser humà – conill | 88 | ximpanzé – conill | 88 | ratolí – rata | 92 |
| ésser humà – panda gegant | 88 | ximpanzé – panda gegant | 88 | ratolí – conill | 80 |
| ésser humà – toro | 86 | ximpanzé – toro | 86 | ratolí – xai | 78 |
| ésser humà – iac | 85 | ximpanzé – iac | 85 | xai – toro | 93 |
| ésser humà – xai | 84 | ximpanzé – xai | 84 | xai – iac | 93 |
| ésser humà – ratolí | 82 | ximpanzé – ratolí | 83 | toro – iac | 99 |

* En blau s'indiquen les parelles d'espècies més properes evolutivament, amb més del 90 % de semblança entre els gens de la cadena beta de l'hemoglobina.

Taula 1. Comparació del gen de la cadena beta de l'hemoglobina entre diferents espècies de mamífers.

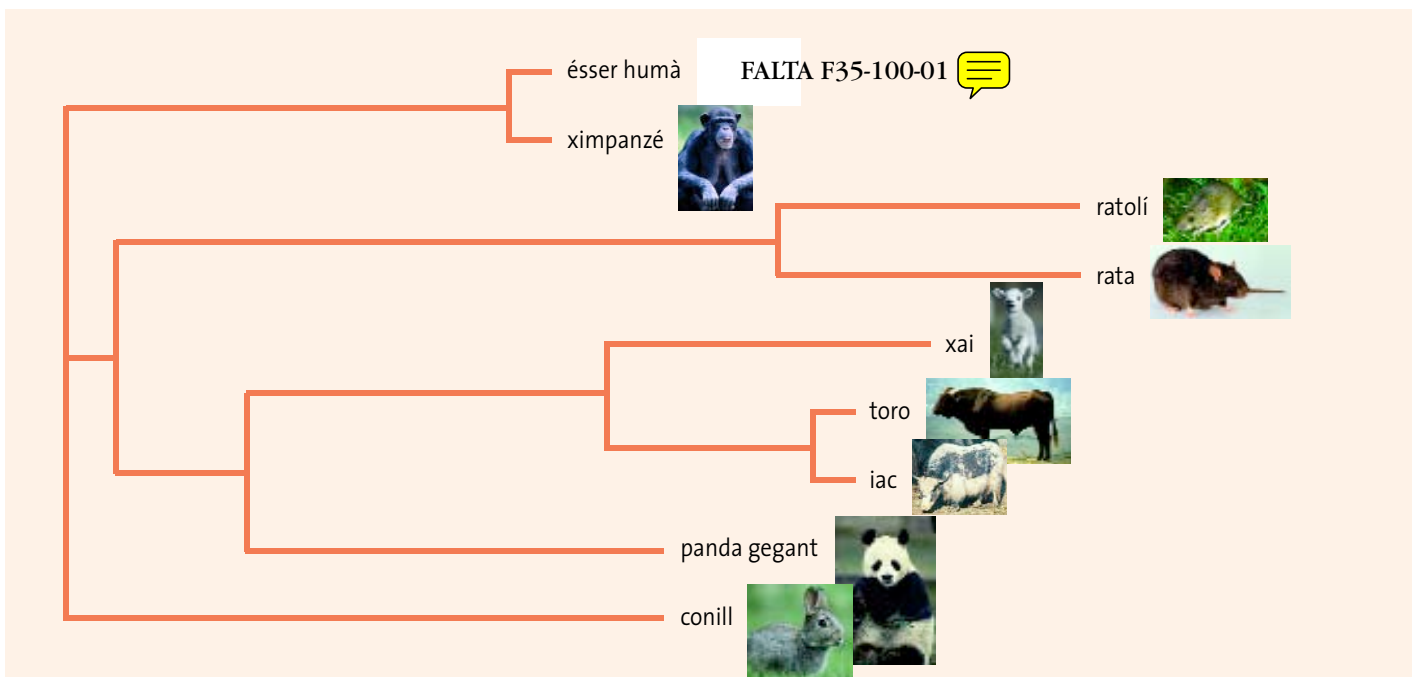


Figura 18. Arbre evolutiu generat per ordinador a partir de la comparació del gen de la cadena beta de l'hemoglobina. Observeu que les espècies evolutivament més properes (com els humans i els ximpanzés) queden agrupades en l'arbre. Amb altres gens s'obtenen arbres molt similars.