

# Evolució

2nBAT

Alejandro Alfaro

# Teories evolutives al llarg de l'història

- ▶ Antiguitat (abans de C. fins Edat Mitjana): pensadors amb idees evolucionistes: Heraclito, Buda...
- ▶ Edat Mitjana: s'imposa la visió fixista (les espècies no canvien) amb la teoria del creacionisme (tots els essers vius són creats per deu).
- ▶ Segle XVII: pensadors com Descartes o Francis Bacon rebutjen el creacionisme com els pioners del nou canvi de paradigma.
- ▶ Segle XVIII: es senten les bases sobre les que s'enunciaran les teories evolutives en el futur per diversos autors: Linneo (tècniques de classificació), comte de Buffon (inícis de la biogeografia), Cuvier (estudis d'anatomia comparada)...
- ▶ A partir d'aquí es formularien les primeres teories evolutives

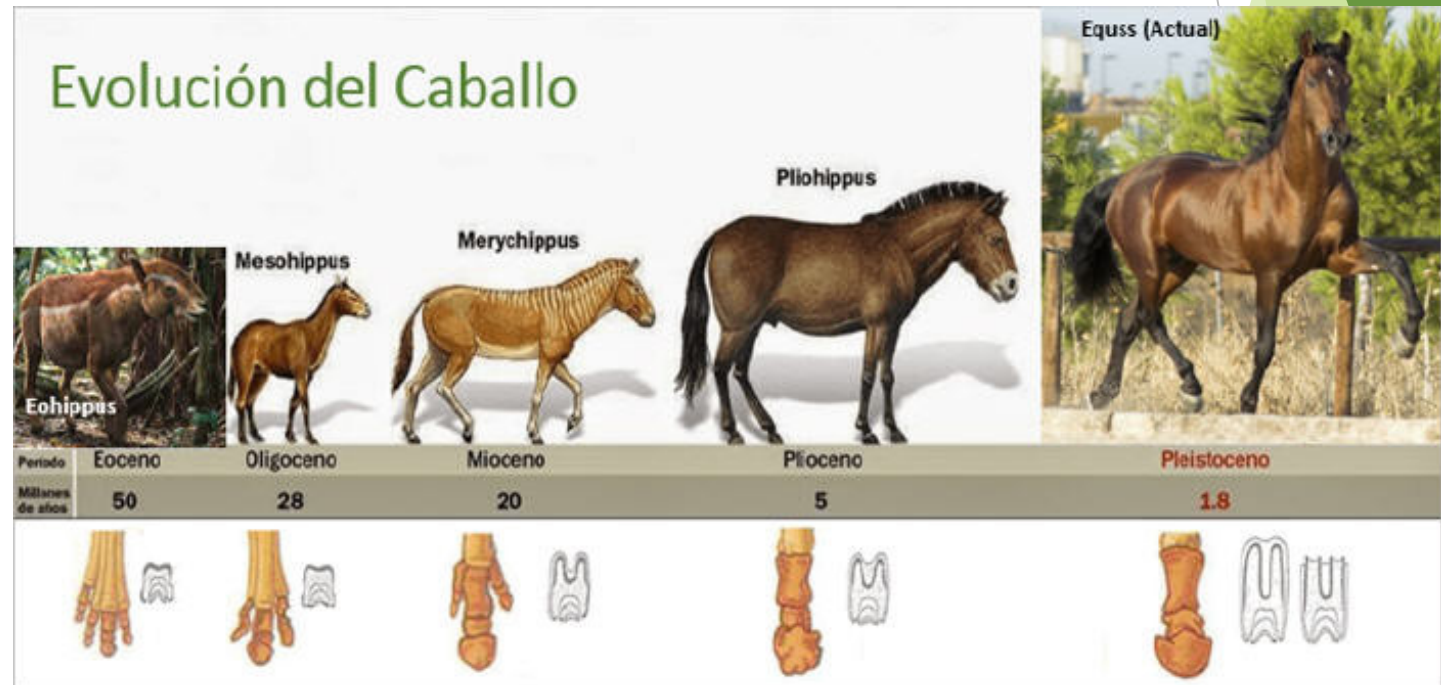
- ▶ Lamarckisme: formulat per Jean Baptiste de Monet, caballer de Lamarck (XVIII-XIX). La seva teoria es basa en:
  - ▶ La tendència dels organismes a fer-se més complexos.
  - ▶ L'adaptació al medi per l'ús o el desús dels òrgans.
  - ▶ Els caràcters adquirits s'hereden. **Fals: només heredem gens dels nostres pares**
- ▶ Darwinisme (XIX): formulat per Charles Darwin i Alfred Russel Wallace. La teoria es basa en:
  - ▶ L'elevada capacitat reproductora de les espècies respecte als recursos disponibles.
  - ▶ La variabilitat de la descendència.
  - ▶ La selecció natural: el número de descendents que genera una espècie és superior a el que els recursos poden mantenir al llarg del temps. S'estableix per tant una lluita per la supervivència, en la que només els millors adaptats podran arribar a l'edat adulta i reproduir-se en major número, passant la seva base genètica a la major part de la següent generació.

Ni Darwin ni Wallace coneixien encara l'existència dels gens, així que fallaren en explicar com s'heredaven els caràcters

# Proves de l'evolució

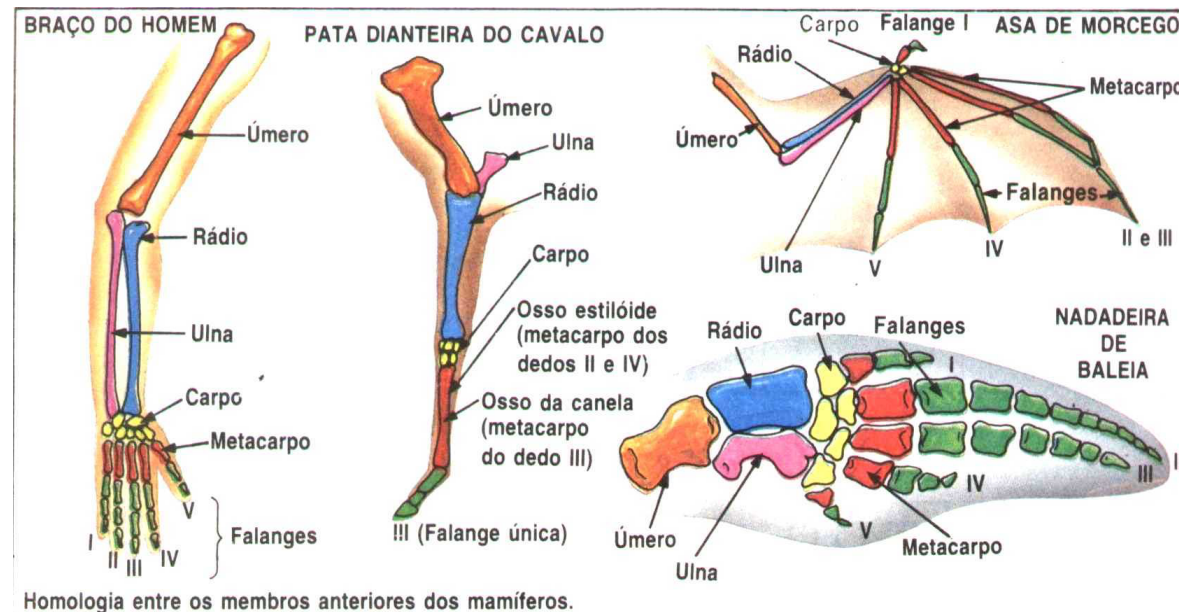
- ▶ **La jerarquia de la vida: fòssils, sistemàtica i divergència evolutiva:** es pensa que existeixen uns 10-100 milions d'espècies actuals, a les que tindriem que sumar les extintes. L'evolució permet agrupar aquest gran nombre en tàxons per el nombre d'homologies compartides, permetint agrupar-les per la seva proximitat evolutiva i seguir la evolució d'estructures en els casos que s'han conservat una gran quantitat de fòssils com és el cas dels caballs. De la mateixa manera, contra més allunyades o aïllades es troben dues espècies emparentades, més allunyat estara el seu avantpassat comú.

- ▶ Estudi d'homologies:
- ▶ Ontogènies:
- ▶ Marcadors moleculars:



- ▶ La jerarquia de la vida: fòssils, sistemàtica i divergència evolutiva:
- ▶ **Estudi d'homologies:** dos òrgans són homòlegs quan tenen el mateix origen, encara que s'hagen pogut diferenciar molt al llarg del temps. Les nostres extremitats anteriors són clarament homòlogues a les dels primats per exemple, però també ho són a les ales de les aus o les aletes de les balenes (divergència evolutiva). Són interessants per al estudi d'homologies els òrgans vestigials (òrgans superflus, sense funció ni perjudici en l'espècie actual, remanents d'una etapa passada en la història evolutiva). No s'han de confondre les homologies amb les analogies: òrgans que han evolucionat cap a formes semblants (convergència evolutiva), però tenen diferent origen (exemple: els ulls dels polps i dels mamífers, les ales de les aus i dels insectes...)

- ▶ Ontogènies:
- ▶ Marcadors moleculars:



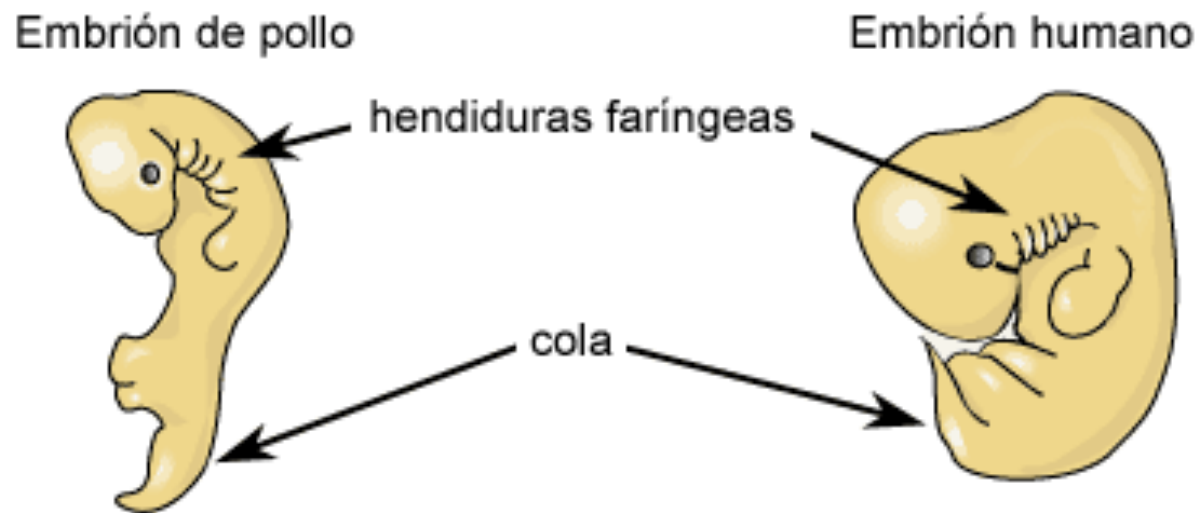
### -Divergència evolutiva:

Al ser diferents les condicions ambientals en que diferents essers vius es troben, l'evolució afavorirà formes diferents als òrgans (com la reconversió d'una extremitat a una aleta en cetacis).

### -Convergència evolutiva:

Diferents òrgans poden donar estructures semblants al arribar a solucions semblants a problemes del seu ambient (els ulls dels polps incrementen la seva eficàcia com a caçador).

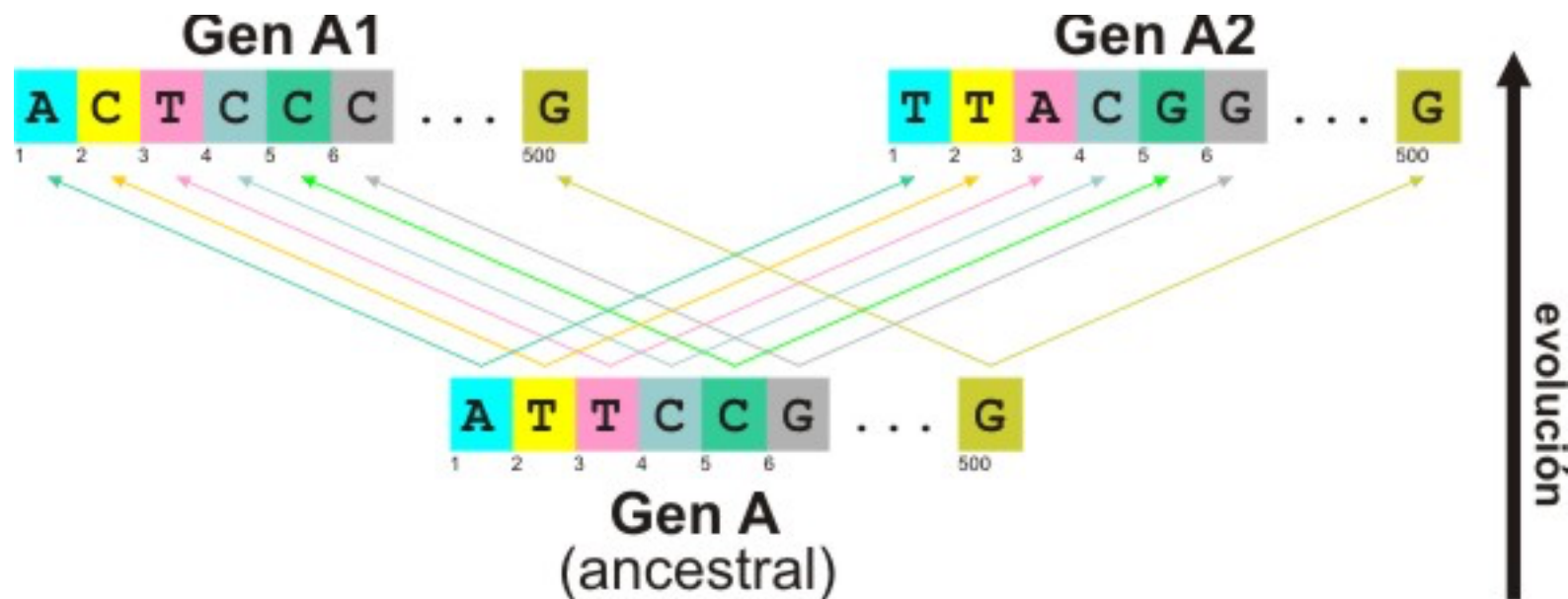
- ▶ La jerarquia de la vida: fòssils, sistemàtica i divergència evolutiva:
- ▶ Estudi d'homologies:
- ▶ **Ontogènies:** reconstruccions de l'història evolutiva en embrions, al pasar per etapes semblants i veure's reflectides caràcters ancestrals que desapareixen en l'adult. Permet també diferenciar les homologies de les analogies.



- ▶ Marcadors moleculars:



- ▶ La jerarquia de la vida: fòssils, sistemàtica i divergència evolutiva:
- ▶ Estudi d'homologies:
- ▶ Ontogènies:
- ▶ **Marcadors moleculars:** la diversitat estructural, fisiològica i etològica dels éssers vius és molt més baixa al estudiar les molècules que intervien en les reaccions dintre de les cèl·lules, permetint-nos establir homologies de forma més precisa. La molècula més usada per aquests estudis es el DNA (però també proteïnes). Cal dir que l'universalitat del codi genètic és altra prova de que tots venim d'un antepassat comú.



Un altra prova (però que no s'utilitza avui en dia) son les proves antigen-anticòs: Al introduir sang d'un organisme en un altre, la reacció d'aglutinació produïda per els anticossos generats com a rebuig sera més forta contra més allunyades estiguin les seves espècies.

\* Els anticossos presents a la sang donen una resposta d'aglutinació com vorem al tercer trimestre.

# Les teories actuals: el neodarwinisme

Amb el descobriment de l'ADN i els gens, diversos genetistes varen descobrir les mutacions en els gens, les quals són responsables de l'aparició de nous caràcters. Aquests proposaren una nova teoria evolutiva, el mutacionisme, basada en aquest fet, però que no prestava atenció a la selecció natural i va ser per tant rebutjada. No obstant, el juntar les seves aportacions a la teoria clàssica darwiniana va donar llum a la teoria del neodarwinisme:

- ▶ El neodarwinisme explica la evolució com la suma de la selecció natural, les mutacions i l'atzar.
  - ▶ Mutacions: generen nous gens i nous al·lels de gens preexistents.
  - ▶ Selecció natural: el ambient al que s'enfrenten els descendents determinara quins estara millor adaptat, afavorint que les mutacions que augmenten l'eficiencia es mantinguen en el temps i es propaguen per la població, mentres elimina les negatives.
  - ▶ L'atzar: les mutacions que apareixen en cada generació són aleatories, aixi com la recombinació genètica que genera aleatoriament noves combinacions al·leliques en la meiosi.



Posteriorment el neodarwinisme o teoria sintètica de l'evolució ha anat incorporant noves idees, concretant més el seus punts principals al sumar-se més autors a aquesta teoria:

- ▶ El procés evolutiu es basa la selecció natural, la variabilitat genètica (mutacions + recombinació genètica) i l'atzar.
- ▶ Les mutacions creen nous gens (i al·lels) mentre que la recombinació genètica crea noves combinacions de gens (al·lels).
- ▶ Es considera l'evolució des del punt de vista de les poblacions i no dels individus, canviant les freqüències gèniques al llarg de les generacions.
- ▶ Els factors que modifiquen les freqüències gèniques són la selecció natural, les mutacions, les migracions i la deriva genètica.
- ▶ Perquè es produeixi especiació (evolució d'una espècie a dos diferents) és necessari aïllament entre poblacions.

No obstant el debat mai va acabar ja que noves teories han aparegut dintre de les idees neodarwinistes:

- Teoria neutralista: suposa la deriva genètica com el motor fonamental de l'evolució, sent la majoria de mutacions que apareixen per atzar de tipus neutre. Els canvis evolutius no serien per tant adaptatius la major part del temps.
- Teoria de l'equilibri puntuat: els canvis en les poblacions són la major part del temps molt petits, trobant-se en equilibri en el seu medi. És únicament en moments puntuals de l'història quan es produeix un canvi (una catàstrofe, un canvi en el medi, etc) que dona lloc a l'evolució, succeint-se gran quantitats de canvis en poc de temps i generant noves espècies.

# La deriva genètica

Quan una mutació apareix pot ser **beneficiosa** per al individu, sent afavorida en la població per la selecció natural; pot ser **perjudicial**, sent eliminada de la població per la selecció natural; o, el cas de les mutacions majoritàries, pot ser **neutra**, sense afavorir o perjudicar al individu.

Sobre les mutacions neutres no pot actuar la selecció natural doncs, si no que el mecanisme evolutiu que actua únicament sobre elles es la deriva genètica. La deriva genètica és el canvi per atzar que es dona en les freqüències gèniques d'una població. Contra més petit siga una població, major és el efecte de la deriva genètica.

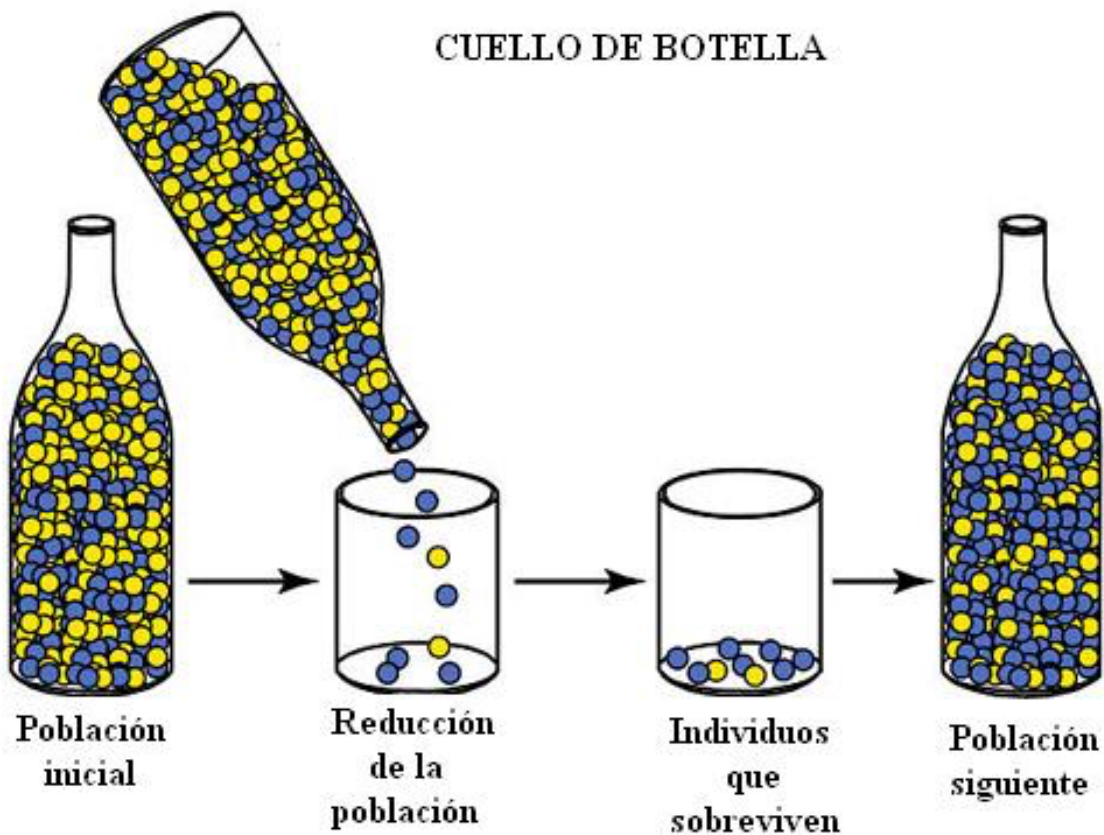
La deriva genètica té molt de pes en dos cassos concrets:

- Efecte fundador: es dona quan uns pocs individus emigren d'una població a un nou territori on no hi ha més membres de la espècie. La nova població que es formara estara altament influenciada pels gens que porten aquestos pocs individus que poden no ser representatius de la població original.
- Coll d'ampolla: es dona quan hi ha una catastrofe puntual (un incendi, una plaga, etc), que acaba amb la major part d'una població. Al reduir-se dràsticament la població, la deriva actuara sobre els gens dels supervivents.

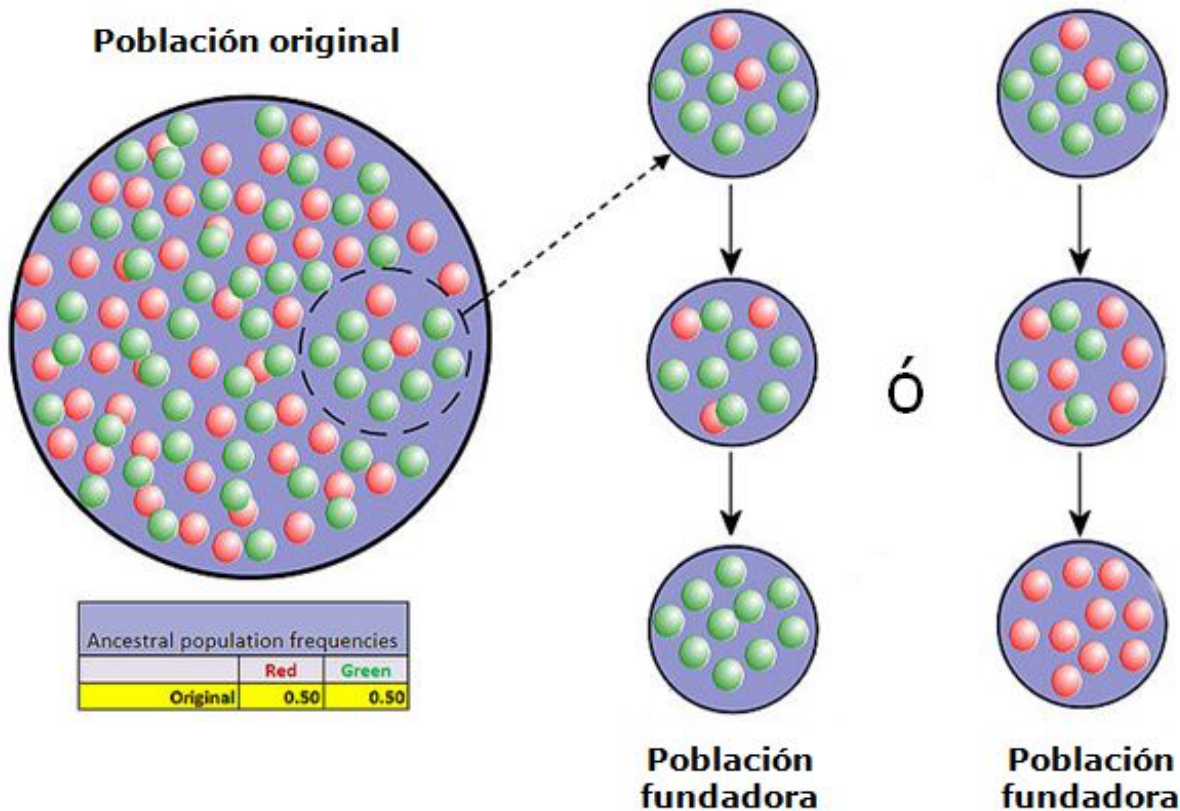
Freqüència gènica:  
Les freqüències gèniques en una població són les proporcions en les que apareixen els diferents al·lèls en la població. Nota: s'expressa com a proporció, no com a percentatge.

Proporció	Percentatge
0,25	25%
0,69	69%
0,07	7%

## CUELLO DE BOTELLA



## Efecto fundador



Nota: sobre les mutacions beneficioses (i perjudicials) actuen **AMBDUES**: la selecció natural i la deriva genètica

# Freqüències gèniques i genotípiques

- Frecuència genotípica: proporció dels diferents genotips en una població. Es calcula dividint els individus que hi ha d'un determinat genotip (n) entre el total d'individus de la població (N).

$$f(AA) = \frac{n_1}{N}$$

$$f(Aa) = \frac{n_2}{N}$$

$$f(aa) = \frac{n_3}{N}$$

- Frecuència gènica: proporció dels diferents al·lells en una població. A la freqüència dels al·lells se'ls denomina generalment amb la lletra "p" i "q" ("r" si hi ha 3, etc). Es pot calcular a partir de les freqüències genotípiques:

$$p = f(A) = f(AA) + \frac{1}{2}f(Aa)$$

$$q = f(a) = f(aa) + \frac{1}{2}f(Aa)$$

Nota: la suma de totes les freqüències es sempre = 1

Ej:  
Població amb 53 individus homozigots dominants (AA), 130 heterozigots (Aa), i 17 homozigots dominants(aa).

$$f(AA) = 0,265$$

$$f(Aa) = 0,65$$

$$f(aa) = 0,085$$

Ej:  
Continuant l'exemple anterior:

$$p = f(A) = 0,59$$

$$q = f(a) = 0,41$$

# Genètica de poblacions

Com ja hem dit abans, el neodarwinisme explica l'evolució des del punt de vista de les poblacions i no dels individus. Per tant la nostra unitat que tindrem que observar per veure si una espècie evoluciona és la població, i d'ahí la importància en les freqüències gèniques.

- ▶ L'equilibri de Hardy i Weinberg:

La llei de l'equilibri de Hardy i Weinberg és central en la genètica de poblacions. Aquesta llei estableix que en una població panmíctica (amb reproducció sexual en la que tots els individus s'encreuen al atzar), sense mutacions, ni migracions, ni selecció natural, les freqüències gèniques i genotípiques es mantenen constants generació rere generació. Quan es dona aquest cas, es diu que la població està en equilibri.

Obviament, aquesta situació no es dona mai en una població, però si estudiem les freqüències gèniques de alguns gens en poblacions, veurem que si hi ha casos en que es compleix l'equilibri de Hardy i Weinberg. Açò ens indica que sobre aquests gens no està actuant la selecció natural en aquest moment (tots els al·lels són neutres entre sí).

# L'equilibri de Hardy Weinberg no és compleix:

- ▶ **Les poblacions no són panmíctiques:** hi ha variabilitat genètica en cada generació i per tant, variabilitat fenotípica. Al ser diferents els individus, els encreuaments no és donen per atzar, si no per preferències basades en aquestes diferències.
- ▶ **Ocorren mutacions:** tant les beneficioses-perjudicials sobre les que actua la selecció natural i la deriva, com les neutres sobre les que actua només la deriva, introdueixen noves varietats al·leliques al pool genètic de la població, desplaçant-la del equilibri de Hardy i Weinberg.
- ▶ **Es donen migracions:** alguns individus dintre d'una població poden **emigrar**, disminuint la proporció dels seus al·lells en la població original. De la mateixa manera, individus d'altres poblacions amb freqüències gèniques diferents poden **immigrar**, alterant les freqüències gèniques de la nova població o inclús aportant al·lells que no existien en aquesta. La variació per migració entre poblacions es coneix com **flux genètic**.
- ▶ **La selecció natural actua:** eliminant els individus menys aptes mentre afavoreix els millors adaptats, es a dir, els que tenen una major **eficàcia biològica**.



La selecció natural pot actuar sobre les freqüències gèniques d'una població de 3 formes fonamentalment:

- **Selecció direccional**: actua afavorint un fenotip extrem. Per exemple, la selecció direccional actuant sobre la altura podria actuar afavorint els alts (o els baixos). Si la selecció direccional actua sobre un caràcter monogènic acabara per eliminar els altre al·lels de la població.
- **Selecció estabilitzadora**: els individus amb major eficàcia biològica són els heterozigots, de manera que la selecció mante els dos al·lels en la població, en detriment dels individus homozigots de cada generació.
- **Selecció disruptiva**: afavoreix els fenotips extrems en contra dels heterozigots. Si ambdos extrems tenen una eficàcia biològica semblant podran conviure al llarg del temps. Si la eficàcia biològica dels fenotips intermedis és molt baixa, pot desenvolupar-se en una situació d'**aïllament genètic** en que es subdivideixin els extrems en dos poblacions que portin a l'especiació.

# L'especiació

Concepte biològic d'espècie: una espècie està formada pels individus de poblacions que poden reproduir-se entre sí, donant nous individus que siguin fértils.

En la realitat, des del punt de vista evolutiu no resulta tan senzill definir on comença una espècie i on acaba un altra. Els essers vius evolucionem al llarg del temps, i els individus actuals poden no ser molt pareguts als seus antepassats de fa 5000 anys, però és torna difícil dir si podrien reproduir-se o no entre els actuals si poguerem agafar una màquina del temps.

O tot lo contrari, poden ser molt pareguts, com és el cas d'espècies de taurons o cocodrils als que es considera fòssils vius... però no hem d'oblidar que també han evolucionat igual que altres espècies, i per tant, a pesar de la seva aparença no són iguals que fa milions d'anys.

El cas on és més fàcil identificar l'aparició d'una nova espècie és quan, a partir d'una espècie, es produeix una divisió en els seus individus (cladogènesi), evolucionant de forma independent i donant dos noves espècies. Estes seràn molt paregudes al principi, però al no poder reproduir-se entre sí aniran evolucionant i diferenciar-se.

Per tant, per a que és done cladogènesi (aparició de dos espècies noves a partir d'una original) és necessari que els individus de dues poblacions d'una espècie no puguin reproduir-se entre sí, de manera que no hi haja flux gènetic entre ambdues, i les mutacions que apareguen en cadascuna siguin exclusives, igual que el efecte de la deriva (i la selecció natural si viuen en medis diferents).

Aquest aïllament pot ser de diferent tipus:

- ▶ **Especiació al·lopàtrica:** les dues poblacions queden dividides per una barrera geogràfica. Un exemple és la separació de poblacions quan es va donar la separació de continents, l'aparició d'obstacles com el canvi de curs d'un riu, o simplement, la distància entre dos poblacions.
- ▶ **Especiació simpàtrica:** les dues poblacions queden dividides per una barrera biològica. Aquesta pot actuar a nivell prezigòtic (els individus no podran formar un zigot) o postzigòtica (els individus poden encreuar-se, però el zigot sera inviàble, el cas dels híbrids esterils). Els mecanismes prezigòtics són molt numerosos:
  - ▶ Aïllament ecològic: diferents individus d'una població mostren preferència per diferents característiques del seu ecosistema (llum, T°, aliment...) dividint-se en dues subpoblacions que rarament entren en contacte.
  - ▶ Aïllament estacional: diferències en la època de floració en plantes per exemple.
  - ▶ Aïllament etològic: diferències en les estratègies reproductives que impedeixen la reproducció entre les dues poblacions.
  - ▶ Aïllament mecànic: pels propis òrgans sexuals primaris (en gossos per exemple).
  - ▶ Aïllament gamètic: els gàmetes masculins no poden sobreviure en el cos de la femella de l'altra població.

## Exemples:



Aïllament etològic: turpial gorjeador (izda) i turpial oriental (dcha). Els seus hàbitats es solapen, però tenen un cant diferent per atraure al sexe contrari, evitant que puguin reproduir-se entre sí



*Rhagoletis pomonella*

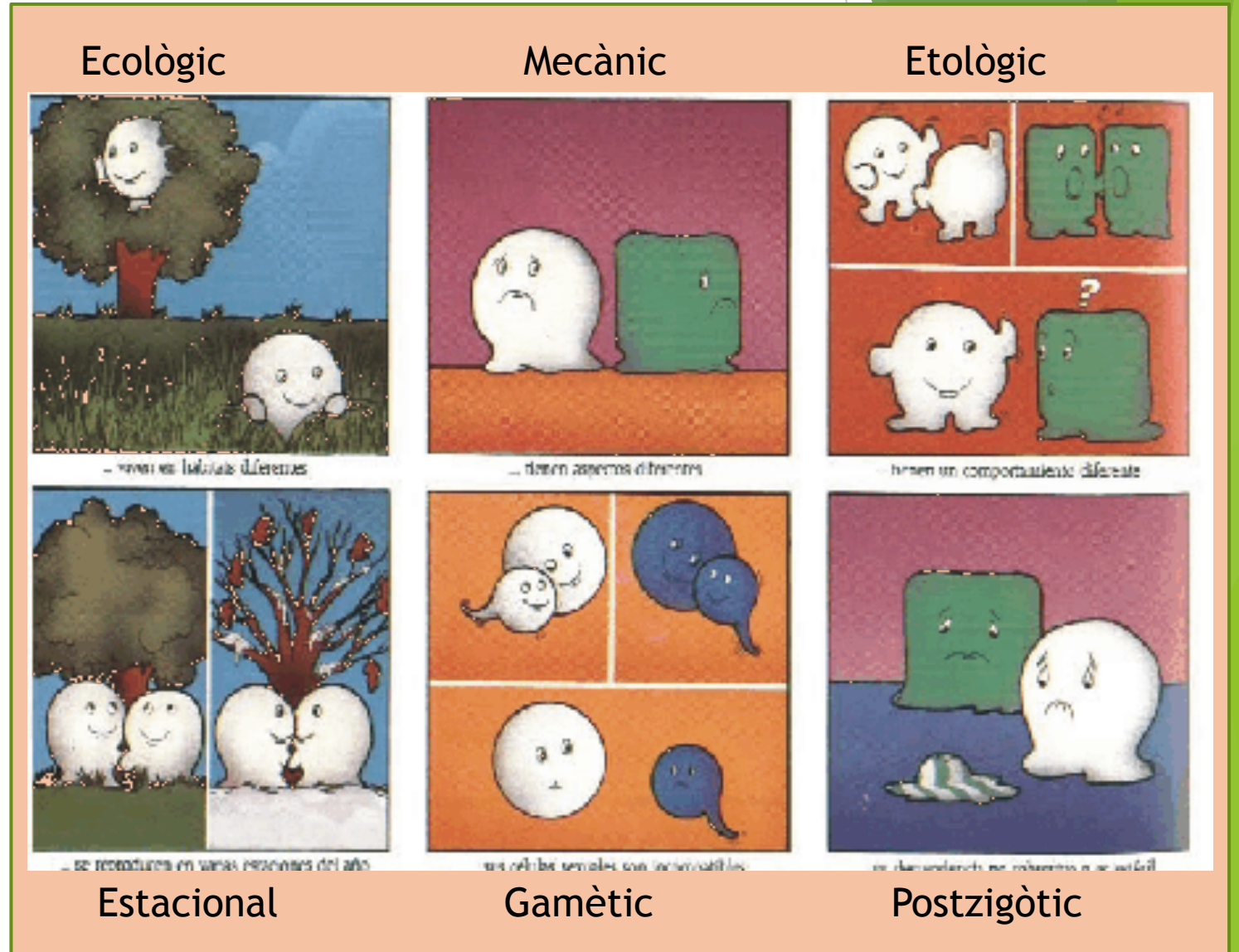


Fruto espino

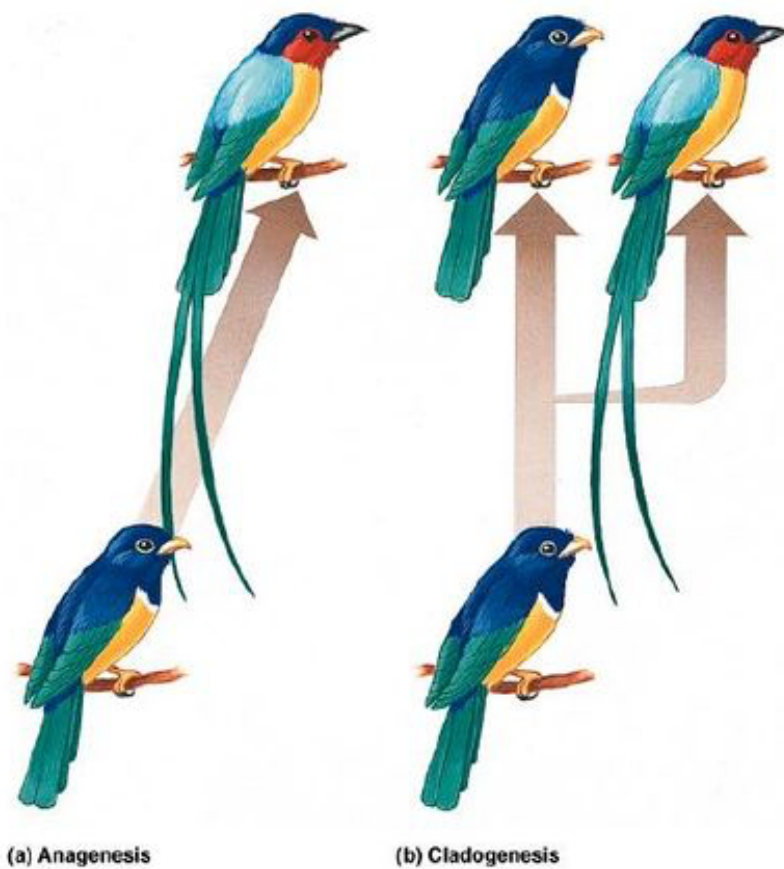


Fruto manzano

Aïllament ecològic: mateix medi, diferent hàbitat



També existeix anagènesi (aparició d'una sola nova espècie a partir d'un altra), però com hem dit, resulta més difícil identificar en aquestos casos quan una especie passa a considerar-se com una nova.





# Micro i macroevolució

- ▶ **Microevolució:** sempre present. És la que actua dintre d'una espècie, d'una població, fent que aquesta varie de mica en mica generació rere generació, modificant-se les seves freqüències gèniques, apareguent nous al·lels, etc. Després de moltes generacions de microevolució, una espècie serà molt diferent de la població original de on prové. (si no hi ha aïllament, el flux genètic impedirà que es produïxca cladogènesi).
- ▶ **Macroevolució:** actua en un espai de temps molt reduït, però en el que es donen una gran quantitat de canvis gènetics. Normalment es dona en moments puntuals, en que hi ha un gran canvi en el medi on viu una espècie, com després d'una catastrofe (actuant per tant el coll d'ampolla).