Colegio de
San Francisco de Paula

Tema 3. Genética y evolución

3.5 Acervos génicos y especiación[DP]

Germán Tenorio
Biología NS-Diploma BI

" The court sentences you to be removed from the gene pool. "

Idea Fundamental: Los acervos génicos experimentan variaciones a lo largo del tiempo.

Programación

10.3 Acervos génicos y especiación

Naturaleza de las ciencias:

Búsqueda de patrones, tendencias y discrepancias: los patrones en el número de cromosomas de algunos géneros se pueden explicar mediante la especiación por poliploidía. (3.1)

Comprensión:

- Un acervo génico consiste en todos los genes y sus diferentes alelos presentes en una población donde sus miembros son capaces de reproducirse entre sí.
- La evolución requiere que todas las frecuencias alélicas varíen con el paso del tiempo en las distintas poblaciones.
- El aislamiento reproductivo de las poblaciones puede ser temporal, conductual o geográfico.
- La especiación debida a la divergencia de poblaciones aisladas puede ser gradual.
- La especiación puede producirse de forma abrupta.

Aplicaciones y habilidades:

- Aplicación: Identificación de ejemplos de selección direccional, estabilizante y disruptiva.
- Aplicación: Especiación en el género *Allium* por poliploidía.
- Habilidad: Comparación de las frecuencias alélicas de poblaciones aisladas geográficamente.

Orientación:

- El equilibrio puntuado implica unos largos períodos sin variaciones apreciables y cortos períodos de rápida evolución.

Teoría del Conocimiento:

- Durante mucho tiempo se consideró el equilibrio puntuado como una teoría alternativa de la evolución y un desafío para el paradigma bien establecido del gradualismo darwiniano. ¿Cómo se producen los cambios de paradigma en la ciencia y qué factores deben estar presentes para que ocurran?

Utilización:

- Se han creado muchas especies de cultivo para que sean poliploides. La poliploidía aumenta la diversidad alélica y permite que se generen fenotipos novedosos. También conduce a un vigor híbrido.

Vínculos con el resto del programa de estudios y con otras asignaturas del programa:
Biología
Tema 5.1: Pruebas de la evolución

Acervo génico

- El **concepto biológico de especie**, define a una especie como un grupo de poblaciones que pueden potencialmente reproducirse entre sí y que comparten un acervo génico común aislado reproductivamente de otras especies.
- Por tanto, un **acervo génico consiste en todos los genes y sus diferentes alelos presentes en una población donde sus miembros son capaces de reproducirse entre sí.**
- Cada especie tiene un acervo génico específico, que no se mezcla con el de otra especie.
- Un acervo génico **grande** existe en una población que muestra una variedad sustancial en sus rasgos o caracteres.

IMAGEN: abc.es/ciencia

- Un acervo génico **pequeño** se da en una población en la que sus miembros presentan poca variación.

Frecuencia alélica y evolución

- Los acervos génicos son relativamente estables a lo largo del tiempo, pero no siempre:

  - Nuevos alelos pueden ser introducidos por mutación.

  - Alelos viejos pueden desaparecer cuando el último de los individuos que lo posee muere.

- El término **evolución** se define como el cambio acumulativo en las características heredables de una población a lo largo del tiempo.

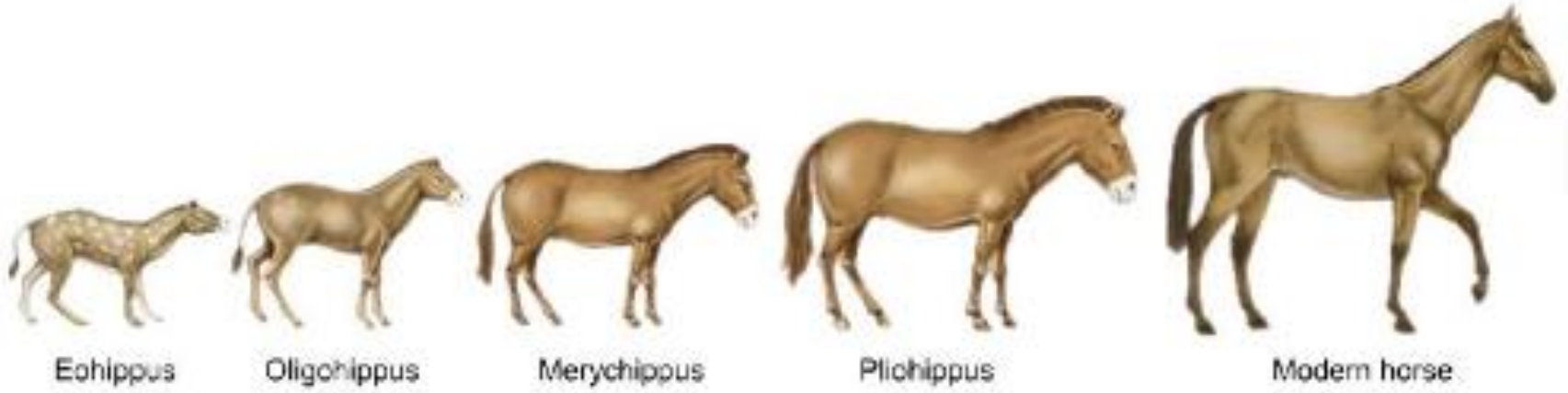


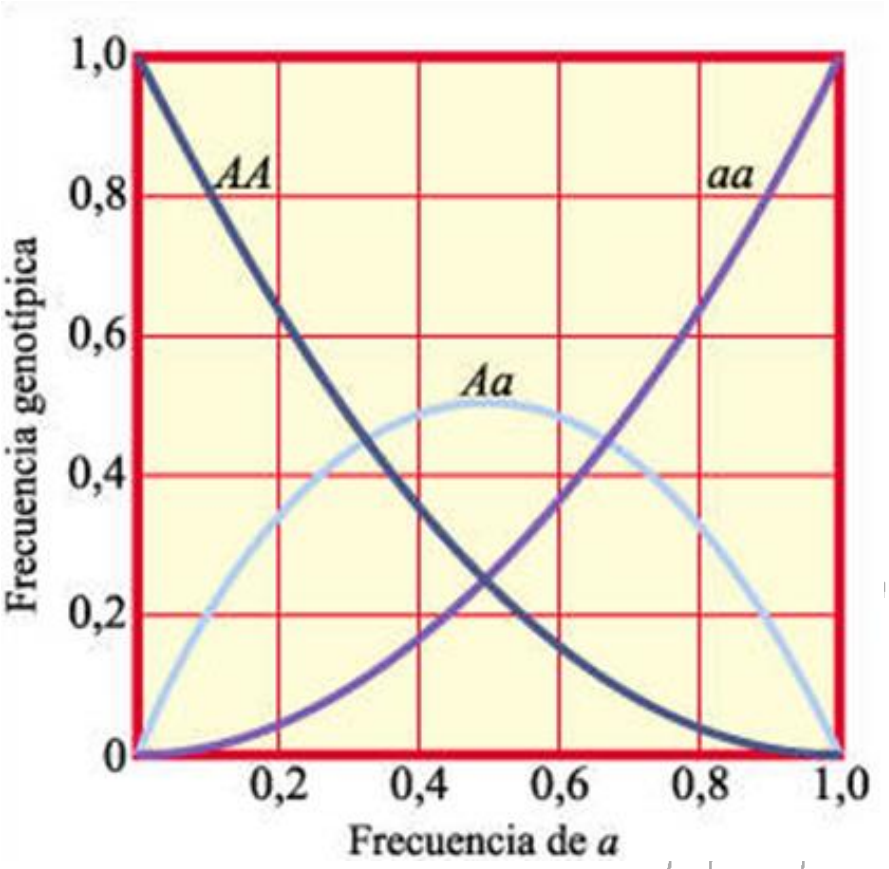
IMAGEN: memrise.com

Frecuencia alélica y evolución

- Se define **frecuencia alélica** como la medida de la abundancia de un alelo particular en una población.

  - Se expresa como proporción (variando de 0.0 a 1.0), o porcentaje (0.0% -100%).

  - Pudiera parecer raro que un gen tuviera una frecuencia de cero, pero hay que recordar que se aplica a una población, y el alelo pudiera estar presente en otra población de esa misma especie.

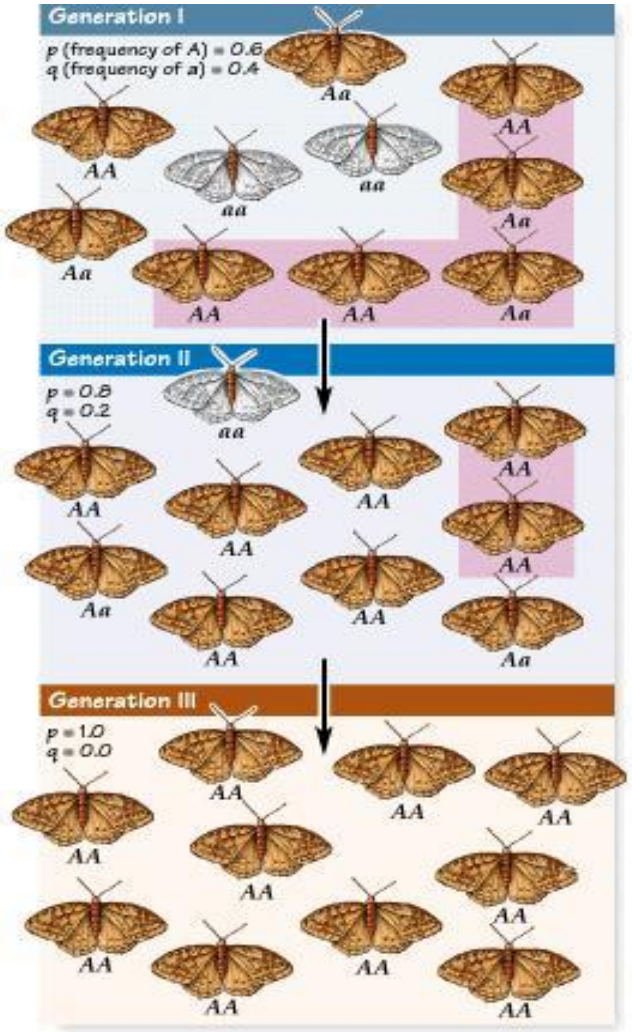


Frecuencia alélica y evolución

- **La evolución, y por tanto la formación de nuevas especies, requiere que todas las frecuencias alélicas del acervo génico varíen con el paso del tiempo en las distintas poblaciones**.

  - Los alelos más ventajosos se hacen más frecuentes en el acervo después de varias generaciones de selección natural (aumentan su frecuencia alélica).

  - Los alelos menos ventajosos para la supervivencia del organismo en la población se hacen cada vez menos frecuentes en el acervo (disminuyen su frecuencia alélica).



APLICACIÓN: Identificación ejemplos selección natural

- La idoneidad de un genotipo o fenotipo es la probabilidad de que sea encontrado en la siguiente generación. La presión selectiva es ejercida por factores ambientales, que actúan selectivamente sobre ciertos fenotipos, resultando en una selección natural.

Variación en las poblaciones

Las variaciones pueden heredarse

Las poblaciones producen más descendencia de la que el ambiente puede mantener

o

Cambios ambientales

Lucha por la supervivencia (presión selectiva)

Variaciones desventajosas son seleccionadas negativamente (muerte)

Menor probabilidad de reproducción & herencia en los genes

La frecuencia de los genes en el acervo génico disminuye

Variaciones ventajosas son seleccionadas positivamente (supervivencia)

Mayor probabilidad de reproducción & herencia en los genes

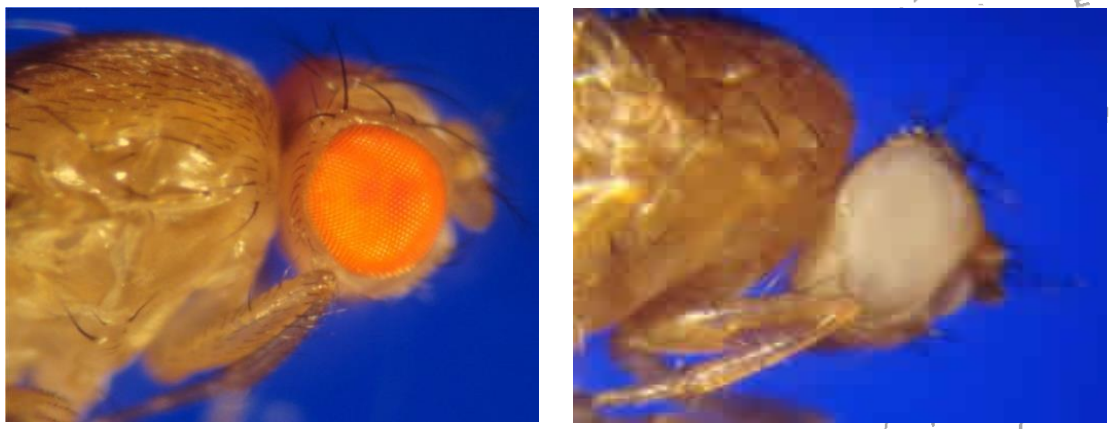
La frecuencia de los genes en el acervo génico aumenta

La población evoluciona para adaptarse al ambiente

Selección Natural

Ecuación de Hardy-Weinberg

- La **frecuencia alélica** mide la abundancia de un alelo particular en el acervo génico de una población.
- La frecuencia de los alelos para un determinado gen en la población siempre se considera 1.
- ***p*** = Frecuencia del alelo **dominante A** en la población.
- ***q*** = Frecuencia del alelo **recesivo a** en la población.
- La máxima frecuencia de un alelo en el acervo génico es 1 (100%) y el mínimo es 0.
- Por tanto, $p + q = 1$



Color del ojo en *Drosophila melanogaster*

Ecuación de Hardy-Weinberg

- Si asumimos que el proceso de fertilización ocurre al azar:

  - Un espermatozoide con un alelo *p* tiene igual probabilidad de fusionarse con un óvulo que porta el alelo *p* que con un óvulo que porta el alelo *q*.

  - Un espermatozoide con un alelo *q* tiene igual probabilidad de fusionarse con un óvulo que porta el alelo *p* que con un óvulo que porta el alelo *q*.

- Introduciendo estos datos en un cuadro de Punnett:

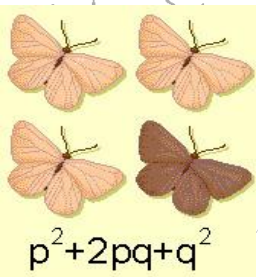
		Hembras	
		A (*p*)	a (*q*)
Machos	A (*p*)	AA (p^2)	Aa (pq)
	a (*q*)	Aa (pq)	aa (q^2)

- Las tres posibles frecuencias genotípicas finales de la descendencia son:

  f(**AA**) = $\boldsymbol{p}^2$ f(**Aa**) = $2\boldsymbol{pq}$ f(**aa**) = $\boldsymbol{q}^2$

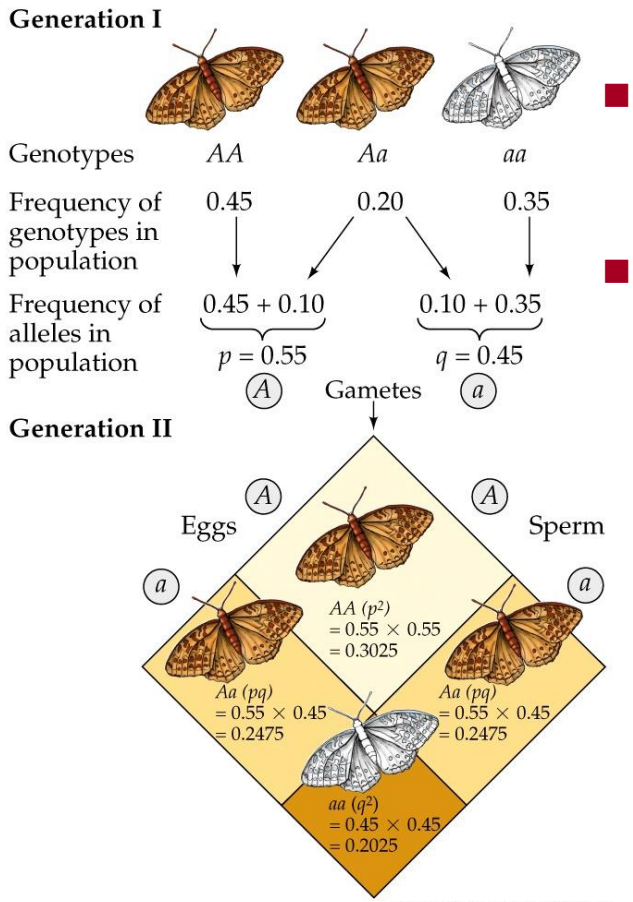
- La suma de todas las frecuencias genotípicas debe ser igual 1.

  $\boldsymbol{p}^2 + 2\boldsymbol{pq} + \boldsymbol{q}^2 = 1$ **(Ecuación de Hardy-Weinberg)**



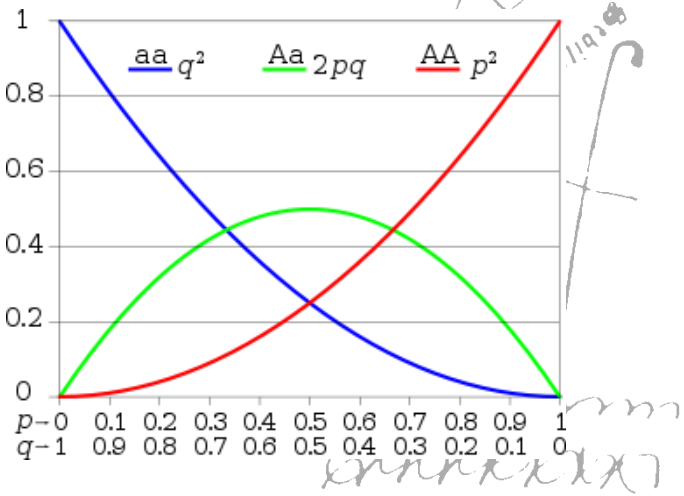
Principio de Hardy-Weinberg

- Este principio enuncia que si la frecuencia de un alelo A, es *p*, y la frecuencia del otro alelo a, es *q*, entonces la **frecuencia de los genotipos** es:



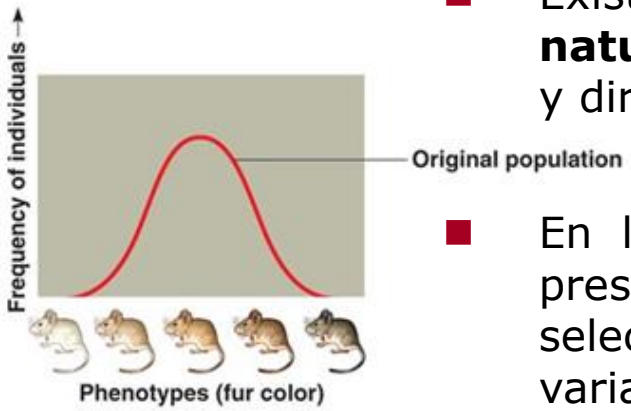
$$f(\mathbf{AA}) = \boldsymbol{p^2} \qquad f(\mathbf{Aa}) = 2\boldsymbol{pq} \qquad f(\mathbf{aa}) = \boldsymbol{q}^2$$

- Si se conoce la frecuencia de un alelo, podemos conocer la frecuencia del otro utilizando la ecuación $p + q = 1$.
- Si se conoce la frecuencia del fenotipo recesivo, entonces podemos conocer las frecuencias del genotipo homocigoto dominante y del heterocigoto utilizando la ecuación Hardy-Weinberg.



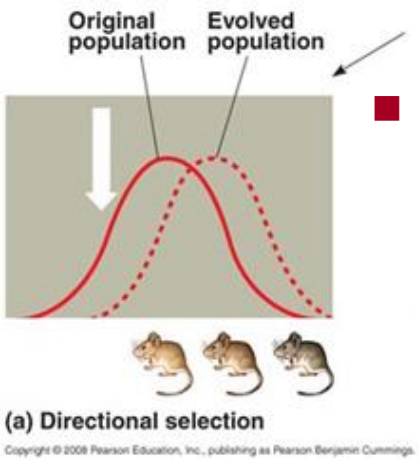
APLICACIÓN: Identificación ejemplos selección natural

IMAGEN: bio.miami.edu



- Existen **3 patrones de selección natural**: estabilizadora, disruptiva y direccional.

- En la **selección direccional**, la presión selectiva actúa seleccionado una determinada variación, eliminando el resto.



- Si debido a la contaminación, el hábitat de un determinado roedor se cubre polvo que lo oscurece, aquellos roedores que tengan el pelaje más oscuro serán menos visibles para los depredadores que el resto, por lo que no serán cazados. Por tanto, se reproducirán más y la frecuencia del alelo del color oscuro aumentará en la siguiente generación.

- La población original cambia hacia una variedad extrema del rango de variación porque está mejor adaptada.

APLICACIÓN: Identificación ejemplos selección natural

- En la **selección disruptiva**, la presión selectiva actúa eliminando las variedades intermedias, favorenciado las extremas.

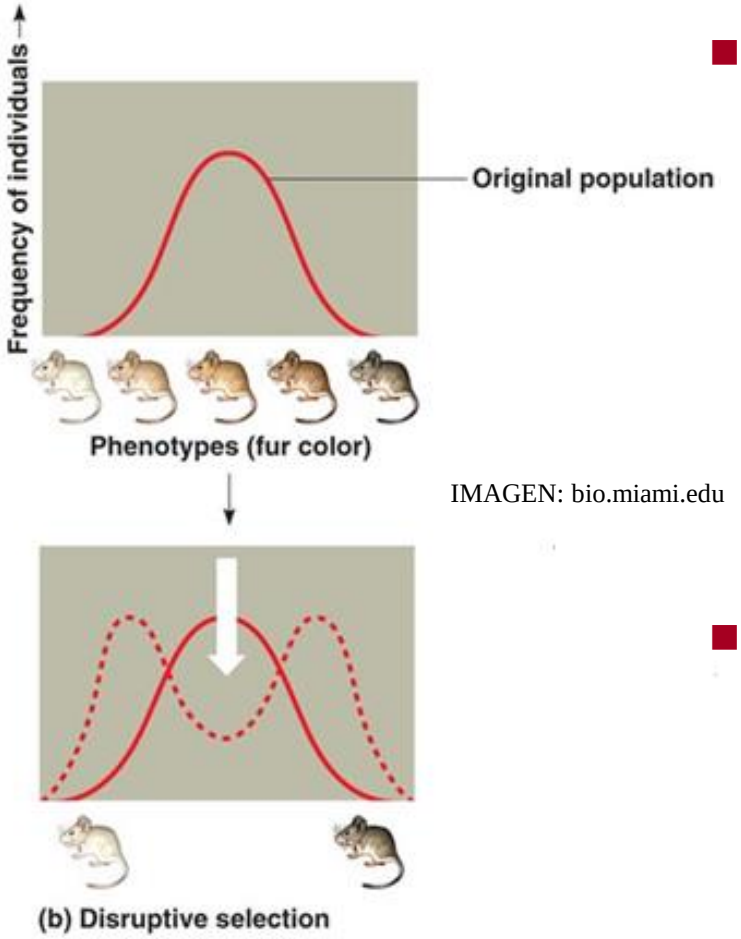


IMAGEN: bio.miami.edu

- Si debido a una mutación, las hembras de los roedores encuentran más atractivos a los machos de pelaje muy claro o muy oscuro, aquellos roedores que tengan un pelaje intermedio, no serán seleccionados por las hembras para aparearse, y por tanto, la frecuencia del alelo responsable del color intermedio disminuirá en la siguiente generación frente a los alelos responsables de los colores extremos.
- Se favorece los colores de pelaje extremos, de manera que se seleccionan a los individuos por encima o por debajo de las variaciones intermedias del rango.

APLICACIÓN: Identificación ejemplos selección natural

- En la **selección estabilizadora**, la presión selectiva actúa eliminando variaciones extremas.
- Para un determinado habitat, si el color del pelaje del roedor es demasiado oscuro, será más visible a los depredadores, por lo que será cazado, no reproduciéndose y por tanto, la frecuencia del alelo responsable del color oscuro disminuirá en la siguiente generación.
- Igualmente, si el color es demasiado claro, será también más visible a los depredadores, disminuyendo la frecuencia del alelo responsable del color claro.
- En ambos casos, se favorece un color del pelaje intermedio, estabilizando este fenotipo medio frente a los extremos.

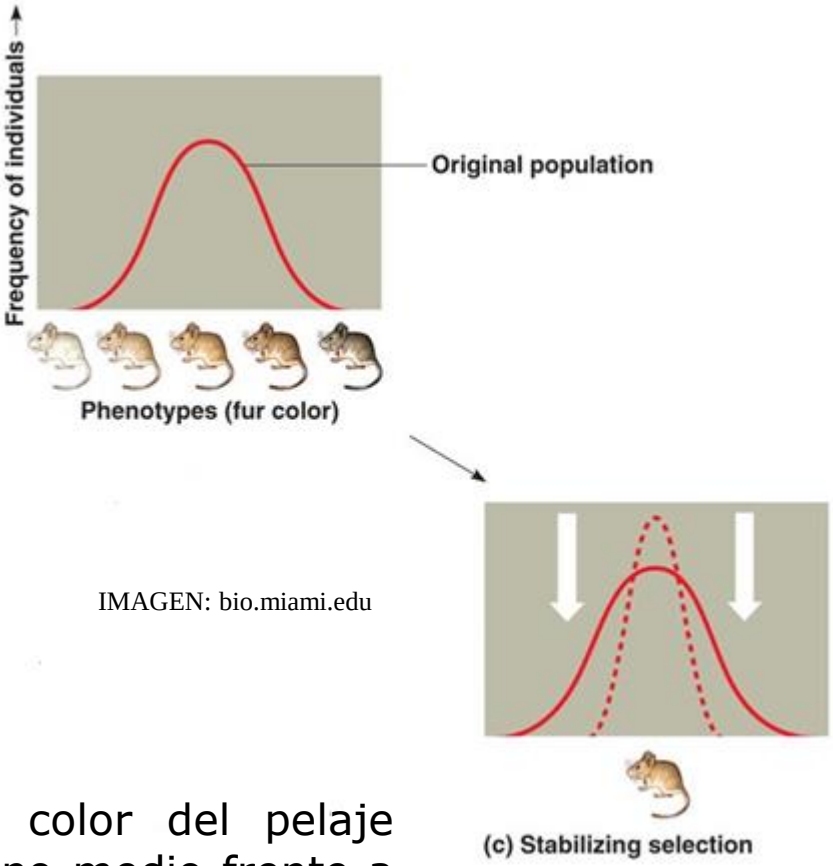
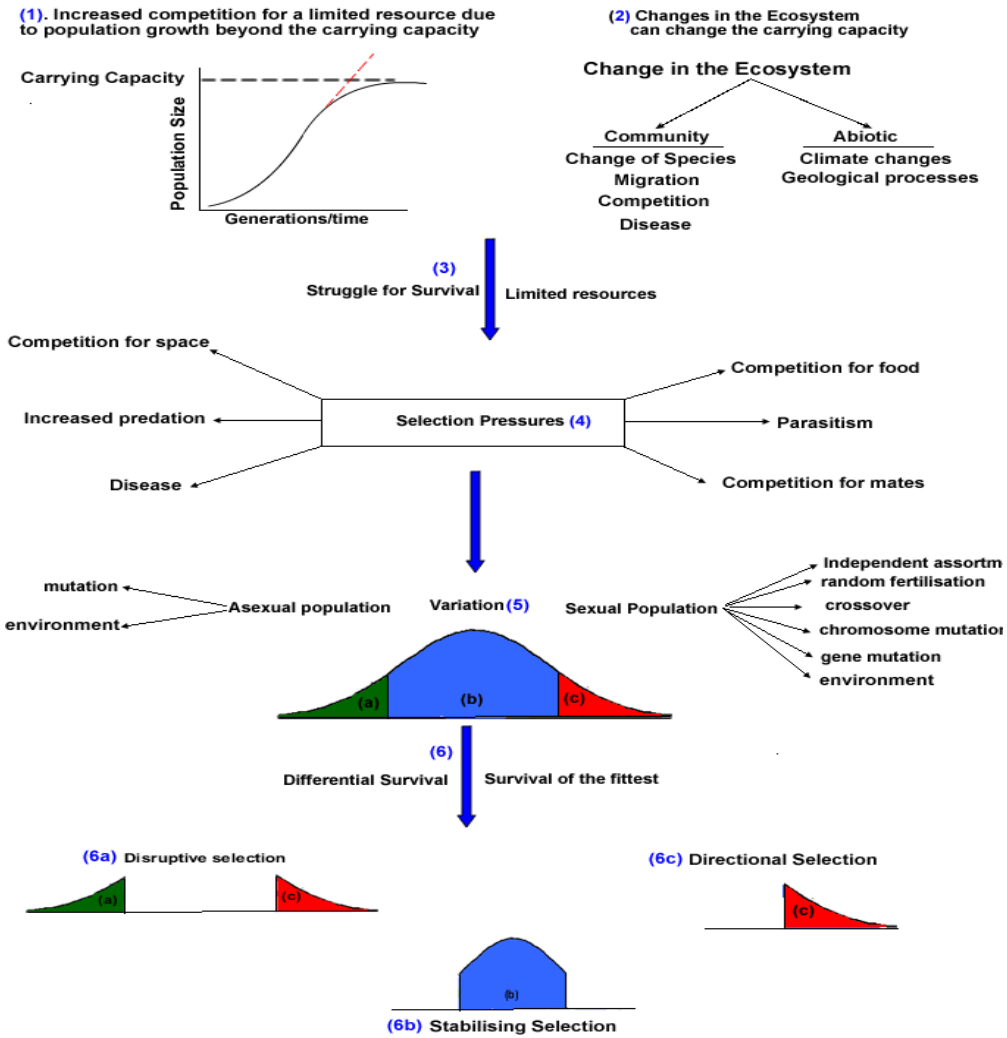


IMAGEN: bio.miami.edu

Colegio de
San Francisco de Paula

APLICACIÓN: Identificación ejemplos selección natural



(1) Competencia por los recursos limitados como consecuencia del crecimiento exponencial de la población.

(2) Cambio medioambiental en el ecosistema.

(3) Lucha por la supervivencia.

(4) Presión selectiva.

(5) Existencia de variación en la población.

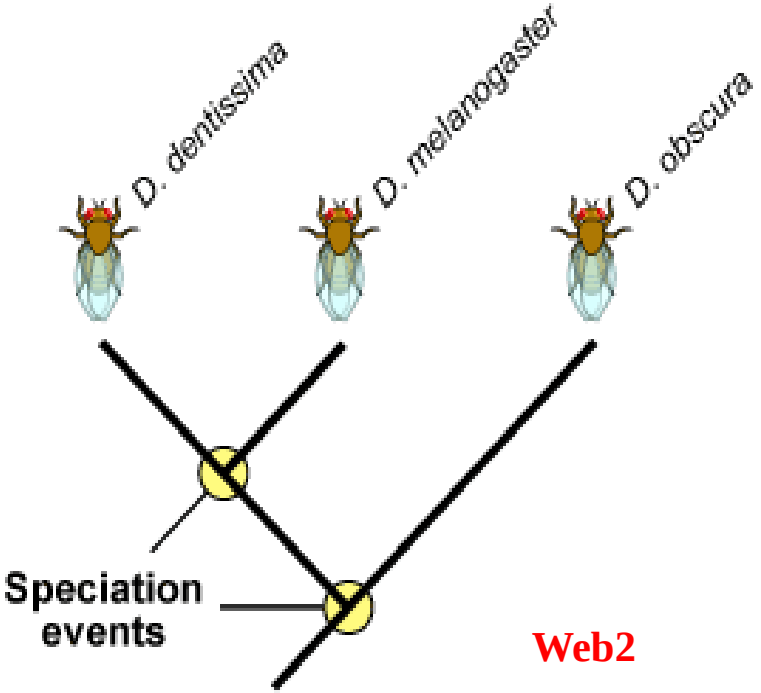
(6) Supervivencia diferencial:

- (6a) Selección disruptiva.
- (6b) Selección estabilizadora.
- (6c) Selección direccional

Web1
Video1

Aislamiento reproductivo

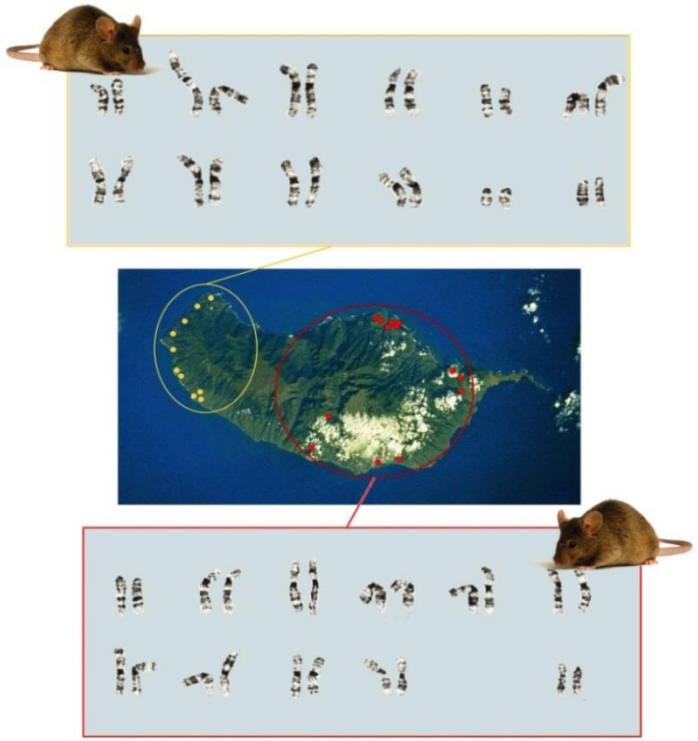
- Se **define especiación como la formación de una nueva especie por separación de una población existente.**
- La especiación es por tanto el proceso por el que una población que se ha separado de otra, sufre cambios evolutivos tan significativos que hace que la producción de descendientes con la población original llegue a ser imposible.
- Para que el proceso de especiación tenga lugar, **el flujo genético entre ambas poblaciones debe interrumpirse**, de manera que lleguen a poseer distintos acervos génicos.
- Varias **barreras** pueden aislar el acervo génico de una población del de otra. Así, **el aislamiento reproductivo de las poblaciones puede ser temporal, conductual o geográfico.**



Web2

Aislamiento reproductive de tipo geográfico

- Si el aislamiento reproductivo se debe a una **separación geográfica** de las poblaciones como consecuencia de una barrera física entre ambas, el proceso de especiación se denomina **especiación alopátrica**.



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

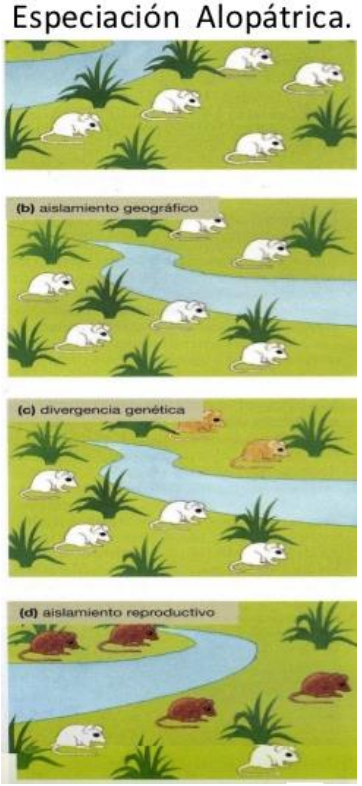
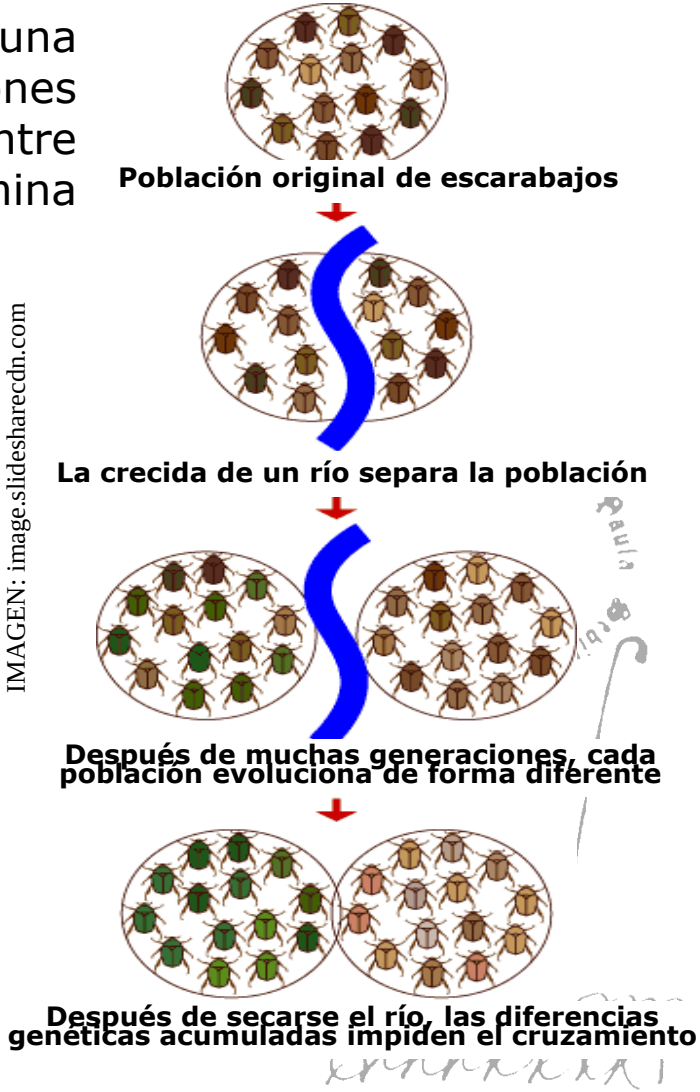
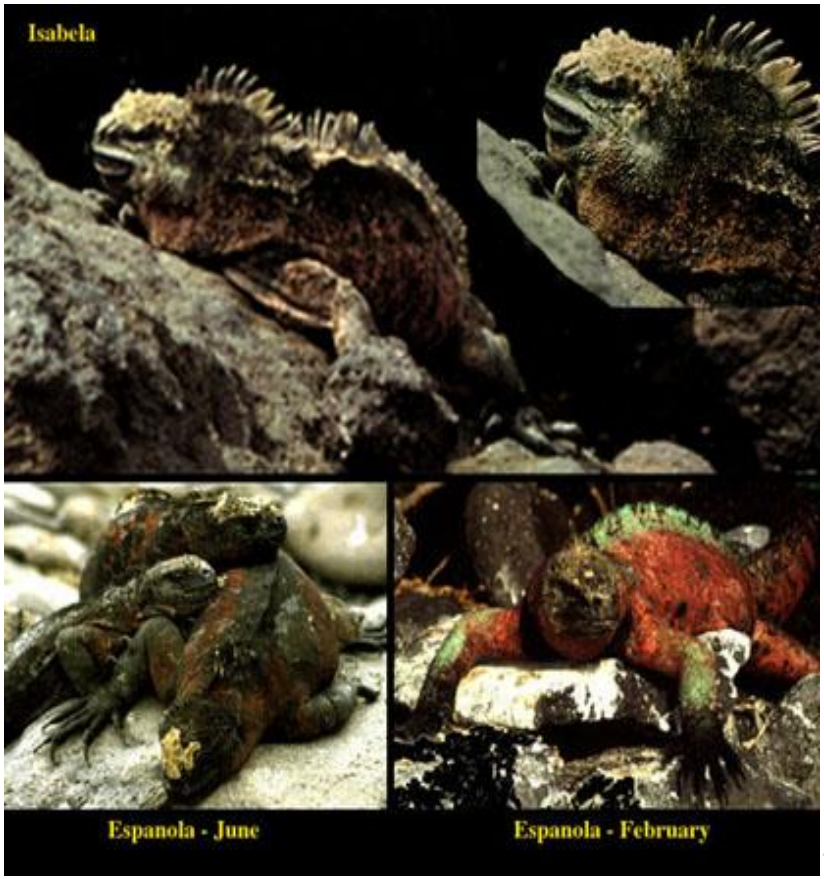


IMAGEN: image.slidesharecdn.com



Especiacion alopátrica

- Un **ejemplo** pudiera ser el de la **iguana verde de Sudamérica**, que se piensa es el ancestro de la iguana marina de las Islas Galápagos.
- Las iguanas verdes son excelentes nadadoras por lo que un grupo pudo haber emigrado hasta esta isla formando una población separada de la original en Sudamérica.
- **Cada población** continúa con su **propia ruta evolutiva** conforme **experimentan diferentes** mutaciones y **presión selectiva,** desarrollándose un **aislamiento reproductivo**.



Web3

Especiación simpátrica

- El aislamiento de los acervos génicos puede ocurrir en el mismo área geográfica, denominándose al proceso **especiación simpátrica**.
- En este caso, el aislamiento reproductivo se debe a una **separación conductual o temporal/estacional** de las poblaciones.
- Un **ejemplo** es el de las larvas de la mosca del manzano (*Rhagoletis pomonella*).

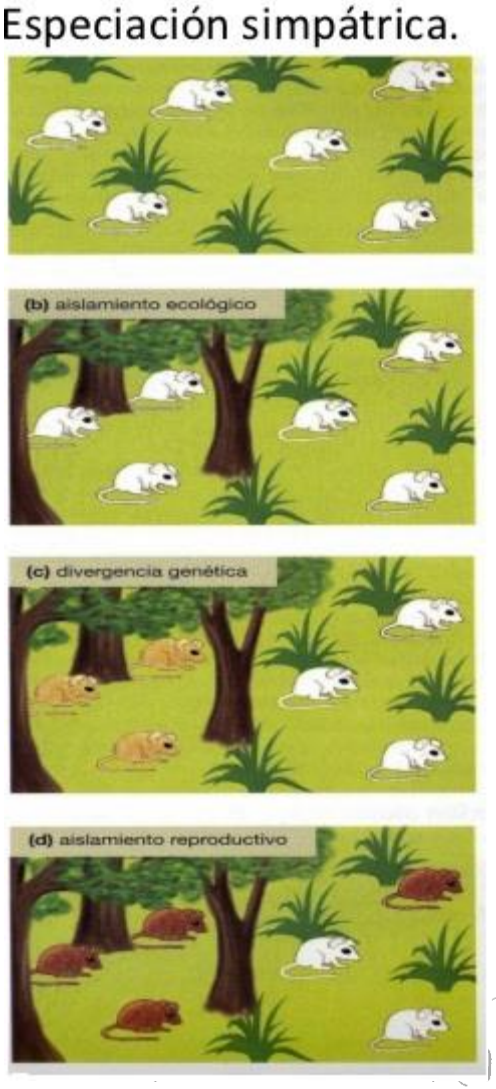


IMAGEN: image.slidesharecdn.com

IMAGEN: sbs.utexas.edu

Figure 18-4 *Rhagoletis pomonella*, the apple maggot fly, seems to be undergoing sympatric speciation through ecological isolation on two host trees: apples and hawthorns.

Aislamiento reproductivo de tipo conductual

- Hace 200 años, los ancestros de estas moscas solo colocaban sus huevos en el majuelo o espino blanco (nativos de América), pero ahora, colocan los huevos tanto en los majuelos como en los manzanos domésticos (introducidos en América por los inmigrantes).
- Las hembras suelen poner los huevos en el tipo de fruto en el que crecieron, mientras que los machos suelen buscar pareja en el tipo de fruto en el que crecieron.
- Esto hace que las moscas del espino y las del manzano no se reproduzcan entre ellos, consituyendo una barrera que impide el fujo genético entre ambas poblaciones.

apple maggot flies apples hawthorns

Gene flow has been reduced between flies that feed on different food varieties, even though they both live in the same geographic area.

IMAGEN: evolution.berkeley.edu

Aislamiento reproductivo de tipo temporal

- Aunque dos poblaciones de organismos pueden vivir en una misma región geográfica sus periodos reproductivos pueden ocurrir diferentes en diferentes momentos o estaciones del año, resultando en que los organismos de una población no pueden aparearse con los miembros de la otra, a pesar de que sea posible el contacto físico entre los dos.
- Este tipo de aislamiento es común entre las plantas, con individuos que maduran sexualmente en diferentes estaciones del año.
- Un buen ejemplo son los pinos, *Pinus radita y Pinus muricata*, que crecen juntos en la península de Monterrey en California pero que al tener la primera especie su descendencia en febrero y la segunda en abril, se encuentran aisladas reproductivamente, constituyendo un ejemplo de especiación simpátrica.

pino monterrey (Pinus radiata)

IMAGEN: https://slideplayer.es/slide/7250484/

Pino obispo (Pinus muricata)

HABILIDAD: Comparación de frecuencias alélicas de poblaciones aisladas geográficamente

- La mayoría de poblaciones humanas nunca más volverán a encontrarse en una situación de aislamiento geográfico, gracias a la facilidad con la que podemos viajar en el mundo globalizado actual.
- Sin embargo, existen patrones de variación, especialmente cuando se comparan las poblaciones de islas remotas con las poblaciones continentales.

IMAGEN: www7.uc.cl

IMAGEN: survival.es

HABILIDAD: Comparación de frecuencias alélicas de poblaciones aisladas geográficamente

- Un ejemplo de ello lo contituye el gen *Pan*I del bacalao, que codifica para la proteína integral de membrana pantofisina.
- Dos alelos del gen, *Pan*I^A y *Pan*I^B, codifican para versiones de la pantofisona que difieren en 4 aminoácidos de una región de la proteína.

- Muestras de bacalao de 23 localizaciones del Atlántico Norte fueron recogidas para determinar la proporción de ambos alelos en cada población, es decir su frecuencia alélica.
- El sector gris y el sector negro de cada gráfico circular indica la frecuencia del alelo *Pan*I^A y *Pan*I^B, respectivamente.
- Como puede observarse, la frecuencia del alelo *Pan*I^B es mayor cuanto más al norte, y viceversa.

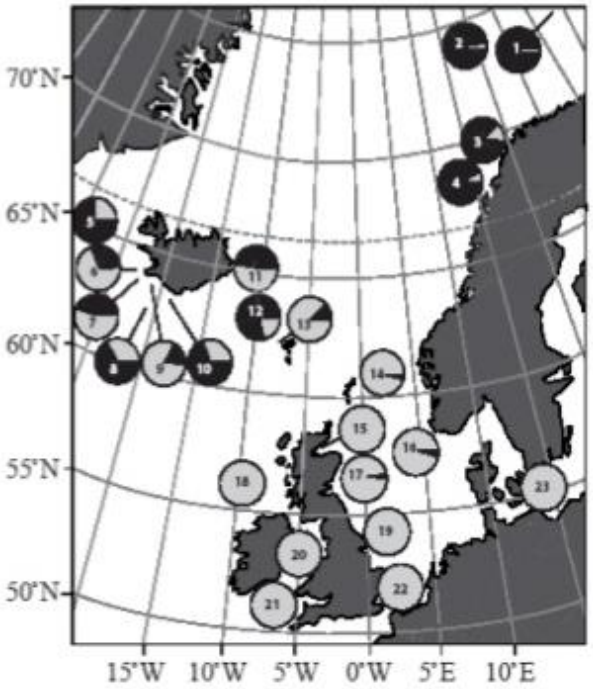
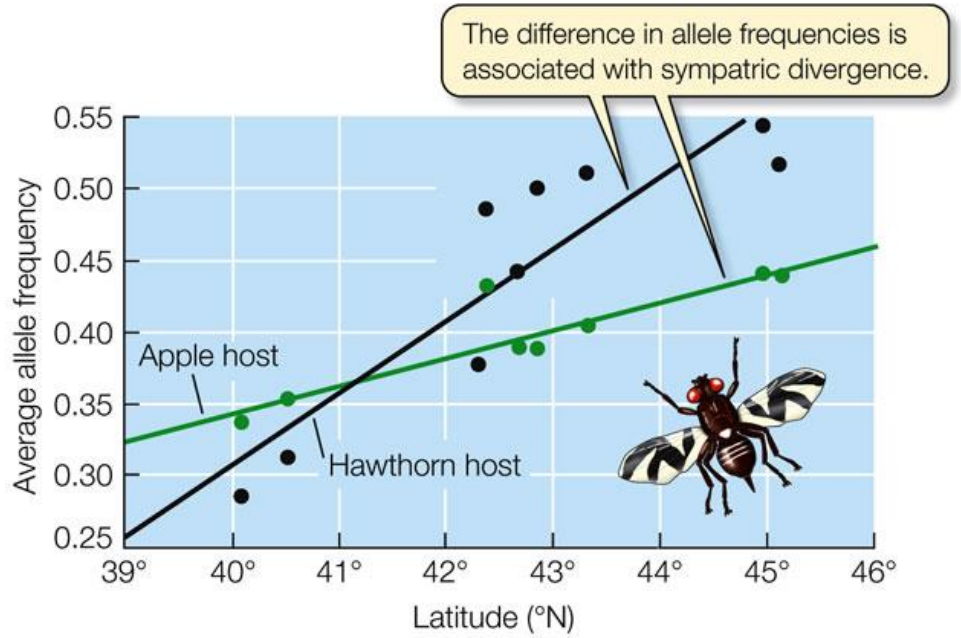


IMAGEN: aulavirtual.usal.es

HABILIDAD: Comparación de frecuencias alélicas de poblaciones aisladas geográficamente

- Otro ejemplo lo constituye las poblaciones de las moscas del majuelo y mazano. La diferencia en las frecuencias alélicas está asociada a un procesos de especiación divergente simpátrica.
- Las frecuencias alélicas varían en función de la localización geográfica de la población.



LIFE 8e, Figure 23.6

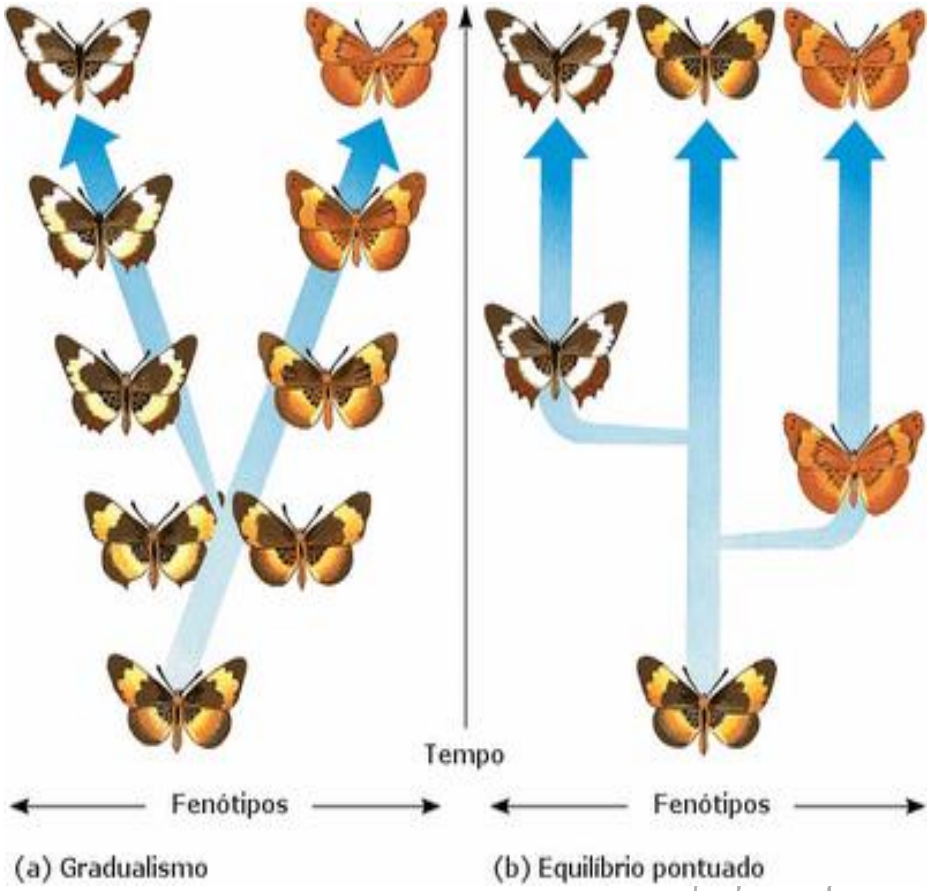
LIFE: THE SCIENCE OF BIOLOGY, Eighth Edition © 2007 Sinauer Associates, Inc. and W. H. Freeman & Co.

El ritmo de la evolución

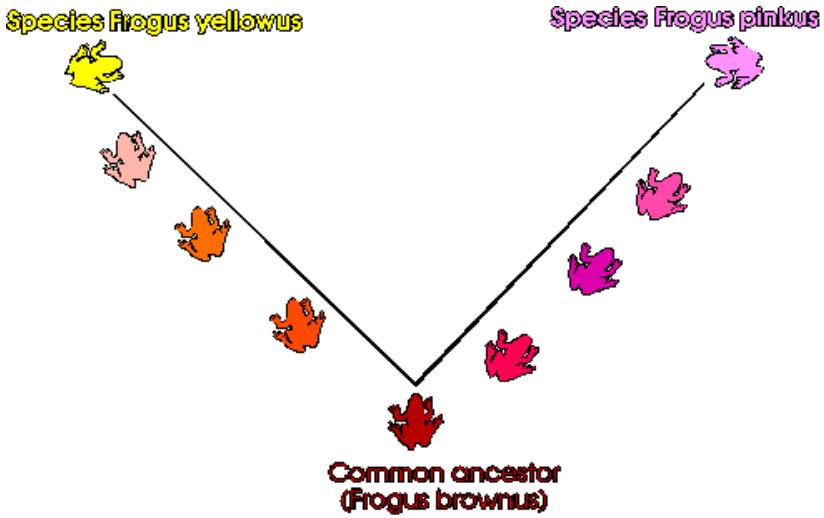
- Si dos poblaciones de una misma especie se aislan, ¿cómo de rápido es el proceso de especiación?
- Existen dos teorías sobre el ritmo a la cual las especies evolucionan:

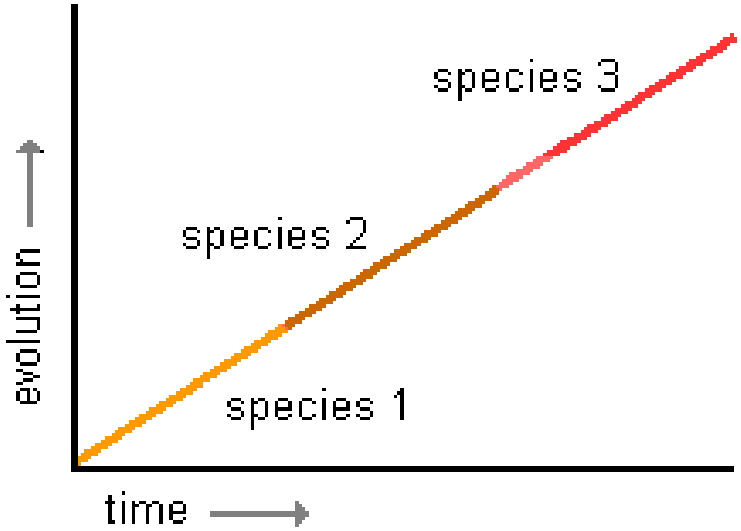
  - **Gradualismo**: Mantiene que los cambios evolutivos son pequeños, continuos y lentos.

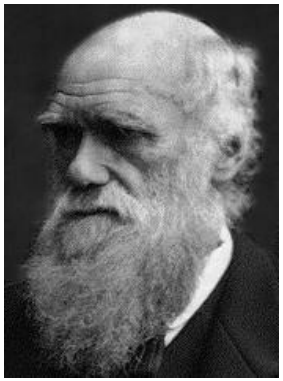
  - **Equilibrio puntuado**: Mantiene que los cambios evolutivos son relativamente rápidos pero seguidos de largos periodos de cambios inapreciables.



Gradualismo



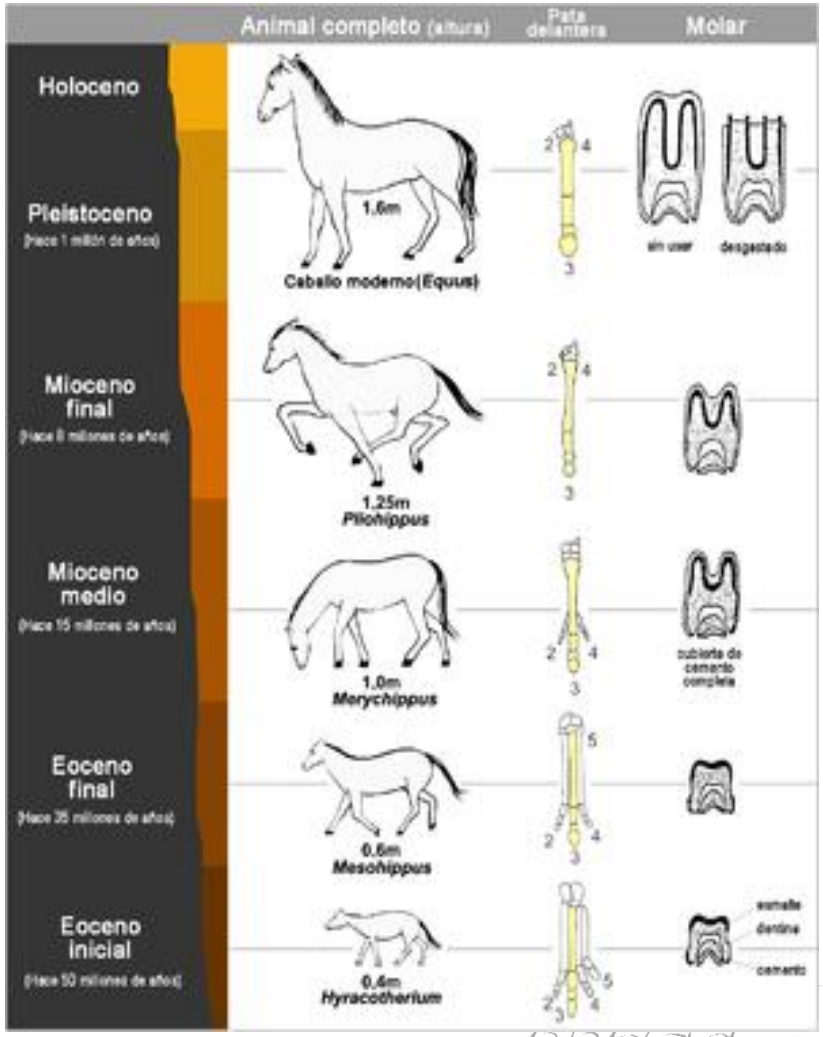




- Propuesto a finales del **siglo XVIII** en base a ideas geológicas, fue adoptado por Darwin.
- Mantiene que **la especiación** debida a la divergencia de poblaciones aisladas **es gradual**.
- El gradualismo mantiene que existe un cambio lento de una forma a otra, es decir, una divergencia gradual a lo largo de grandes periodos de tiempo. Darwin era un estricto seguidor de este lema: "*Natura non facit saltum*", la frase latina, atribuida a Linneo, mantiene que **la naturaleza no da saltos**.
- Pruebas a favor del gradualismo lo constituyen los registros fósiles más completos que existen, como el de la ballena o el caballo.

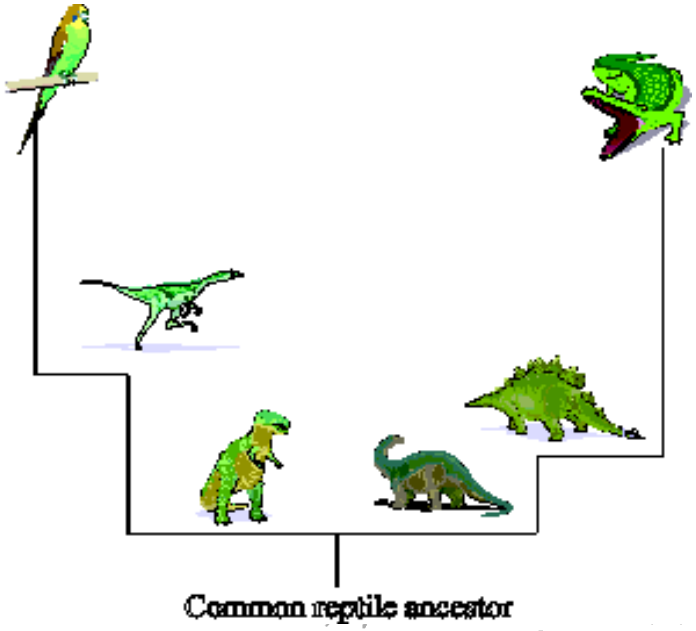
Gradualismo

- Sus defensores argumentan que los registros fósiles muestran una sucesión de pequeños cambios en los fenotipos de las especies, indicando que **el proceso de especiación es lento y constante**, existiendo **eslabones de transición** entre los grandes cambios que se dan en una línea filogenética.
- Además, dado que actualmente no vemos que la evolución ocurra rápidamente en la naturaleza, concluyen que **el proceso ocurre gradualmente**.
- **En su contra**, el gradualismo tiene que sólo es aplicable si se dispone de un gran número de fósiles, ya que faltan especies intermedias en el registro fósil que lo evidencien.



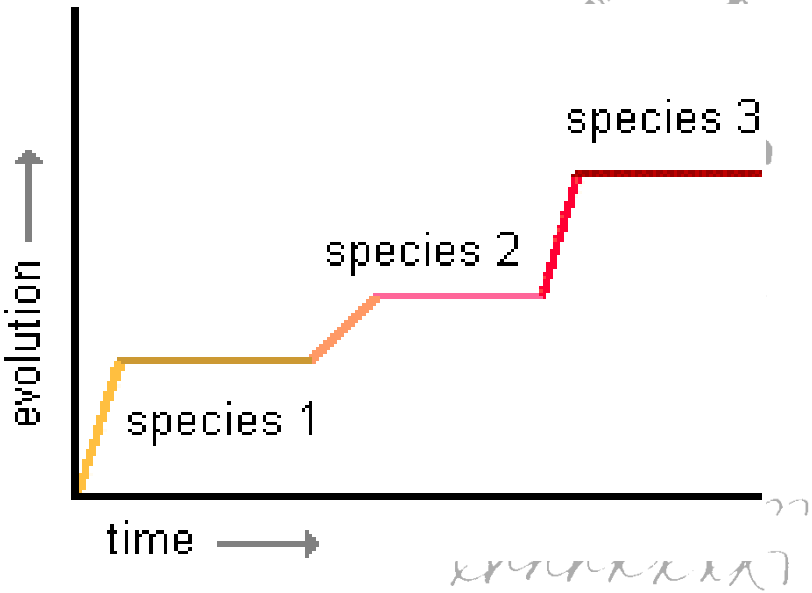
Equilibrio puntuado

- Teoría propuesta por **Niles Eldredge** y **Stephen Jay Gould** a finales del **siglo XX**.
- Esta teoría mantiene que **la especiación puede ocurrir abruptamente**, es decir, existen largos periodos de estabilidad sin variaciones apreciables, seguidos de cortos periodos de tiempo de rápida evolución.
- Sus defensores argumentan que **los cambios ocurren rápidamente y frecuentemente en respuesta a cambios ambientales**, como puede ser una erupción volcánica, el impacto de un meteorito o un gran cambio climático.



Equilibrio puntuado

- En respuesta a este cambio ambiental, algunas especies desaparecen, pero otras se adaptan a su nuevo medio, explotando los nichos ecológicos disponibles gracias a la extinción de las otras especies (especies de mamíferos que conquistaron el hábitat dejado por los dinosaurios hace unos 65 Ma).
- El resto del tiempo, las especies viven durante millones de años sin cambios aparentes.
- **En su contra**, los críticos mantienen que los grandes cambios de esta teoría podrían ser simplemente un artefacto de poseer un registro fósil imcompleto.



Equilibrio puntuado

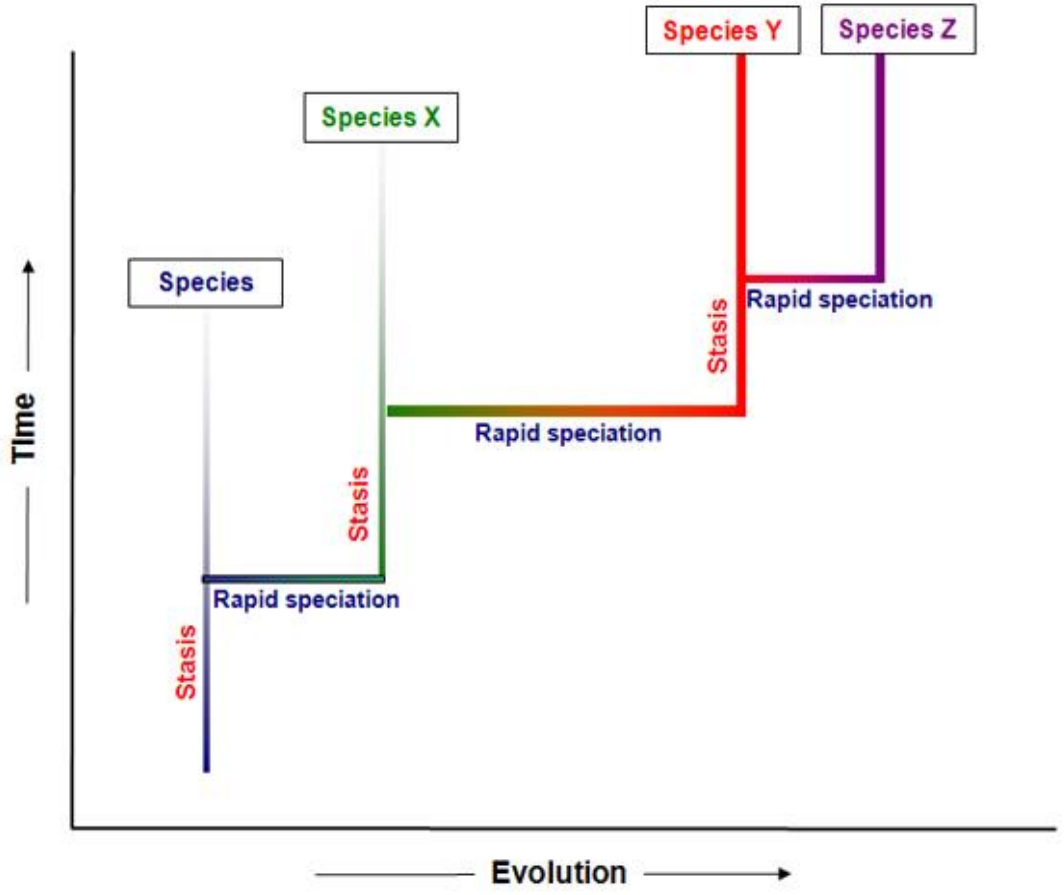
- Desde que apareció la vida en la Tierra hace más de 3 500 millones de años, se han producido 5 grandes extinciones, como la gran extinción Pérmica, que duró 1 millón de años y que acabó con el 96% de todas las especies que vivían en el planeta en ese momento.
- Estas extinciones estarían en consonancia con el equilibrio puntuado, dado que desde el carbonífero al pérmico habrían pasado unos 100 millones de años de estabilidad, seguidos de un "breve" y puntual cambrio abrupto.

Nombre/periodos	Hace (millones de años)	Duración estimada	Especies extintas
Extinciones del Ordovícico-Silúrico	444	Entre 500.000 y 1 millón de años	85 %
Extinción del Devónico-Carbonífero	360	Tres millones de años	82 %
Extinción del Pérmico-Triásico	251	Un millón de años	96%
Extinción del Triásico-Jurásico	210	Un millón de años	76 %
Extinción del Cretácico-Terciario	65	Treinta días	76 %

IMAGEN: es.wikipedia.org

Equilibrio puntuado

- El equilibrio puntuado puede tener lugar a través de una rápida selección natural en poblaciones aisladas, las cuáles se tienen que adaptar a un gran cambio en su hábitat.



Web4

Equilibrio puntuado y TdC

- Durante mucho tiempo se consideró el equilibrio puntuado como una teoría alternativa de la evolución y un desafío para el paradigma bien establecido del gradualismo darwiniano.
- ¿**Cómo se producen los cambios de paradigma en la ciencia y que factores deben estar presentes para que ocurran**?
- El historiador científico Thomas Kunt usó la ilusión óptica del pato-conejo para demostrar la forma en que un cambio de paradigma podía provocar que la misma información se viese de forma totalmente diferente.

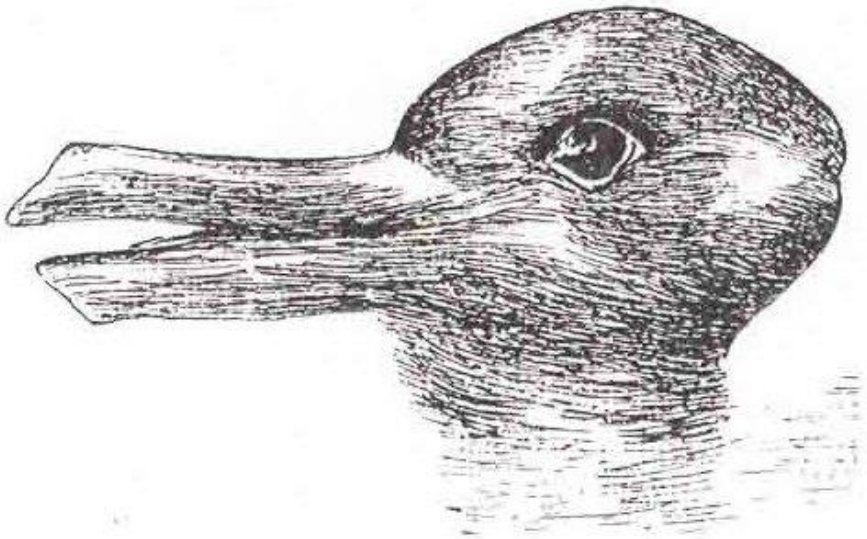


IMAGEN: es.wikipedia.org

NATURALEZA CIENCIAS: Búsqueda de patrones, tendencias y discrepancias

- Un organismo poliploide es aquel que tienen más dos juegos de cromosomas homólogos.
- La **poliploidía** puede aparecer por eventos de hibridación entre diferentes especies, como ha ocurrido con las plantas del género *Spartina*. La plantas poliploides puede autopolinizarse o cruzarse con otras plantas poliploides, pero no con el resto, conduciendo a un proceso de **especiación** simpátrica.

Animación2

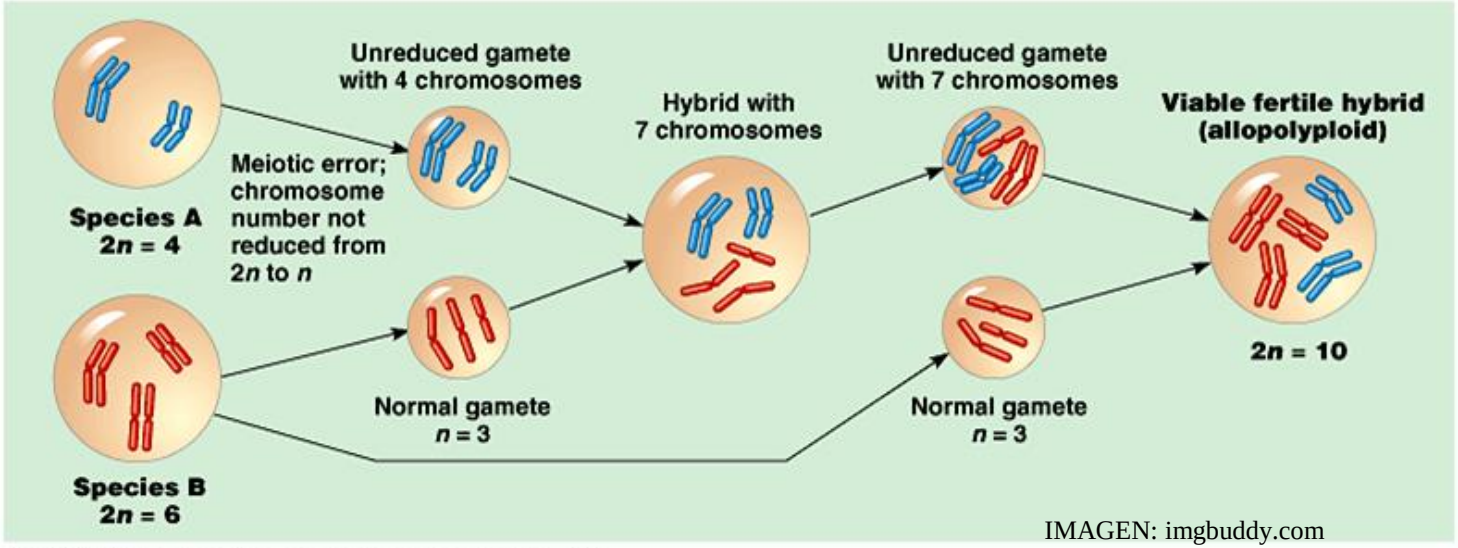


IMAGEN: imgbuddy.com

Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

NATURALEZA CIENCIAS: Búsqueda de patrones, tendencias y discrepancias

- Aunque es menos frecuente en animales, un ejemplo de poliploidía lo constituye el caso del roedor argentino *Tympanoctomys barrerae*, que posee más cromosomas que ningún otro mamífero (4n=102), y que se cree resultado de la poliploidía.

IMAGEN: projectnoah.org

IMAGEN: nhptv.org

- La rata vizcacha es un pariente de la misma familia, cuya dotación cromosómica es 2n =56, por lo que se cree que el proceso de poliploidía pudo haber tenido lugar a partir de un ancestro común.
- Por tanto, los **patrones en el número de cromosomas de algunos géneros puede explicarse mediante la especiación por poliploidía**.

APLICACIÓN: Especiación del género *Allium* por poliploidía

- Se estima que del 50-70% de las especies de angiospermas han experimentado un evento de poliploidía.
- En el género *Allium* que incluye ajo, cebolla, puerro y cebollino, los eventos de poliploidía son comunes, lo que resulta en un número de poblaciones similares pero reproductivamente aisladas.
- Muchas especies de *Allium* se reproducen asexualmente y la poliploidía puede conferir una ventaja sobre la diploidía bajo ciertas presiones selectivas.

IMAGEN: rhubarbandhoney.com/

APLICACIÓN: Especiación del género *Allium* por poliploidía

- La cebolla silvestre (*Allium canadense*) es nativa de Norteamérica y tiene una dotación diploide es 2n=14. Sin embargo, hay variantes tales como *A.c. ecristatum* y *A.c. lavendulae* (4n=28).

IMAGEN: flickr.com

- *Allium angulosum* y *Allium oleraceum* son dos especies propias de Lituania. Una es diploide 2n=16 y otra tetraploide 4n=32 cromosomas.