

# Estimando la especiación y la estimación dependiente de estados

---

Rosana Zenil-Ferguson  
(ella)

Profesora asistente

Departamento de Biología. Universidad de Kentucky

[roszenil@uky.edu](mailto:roszenil@uky.edu)

[@roszenil.bsky.social](https://@roszenil.bsky.social)

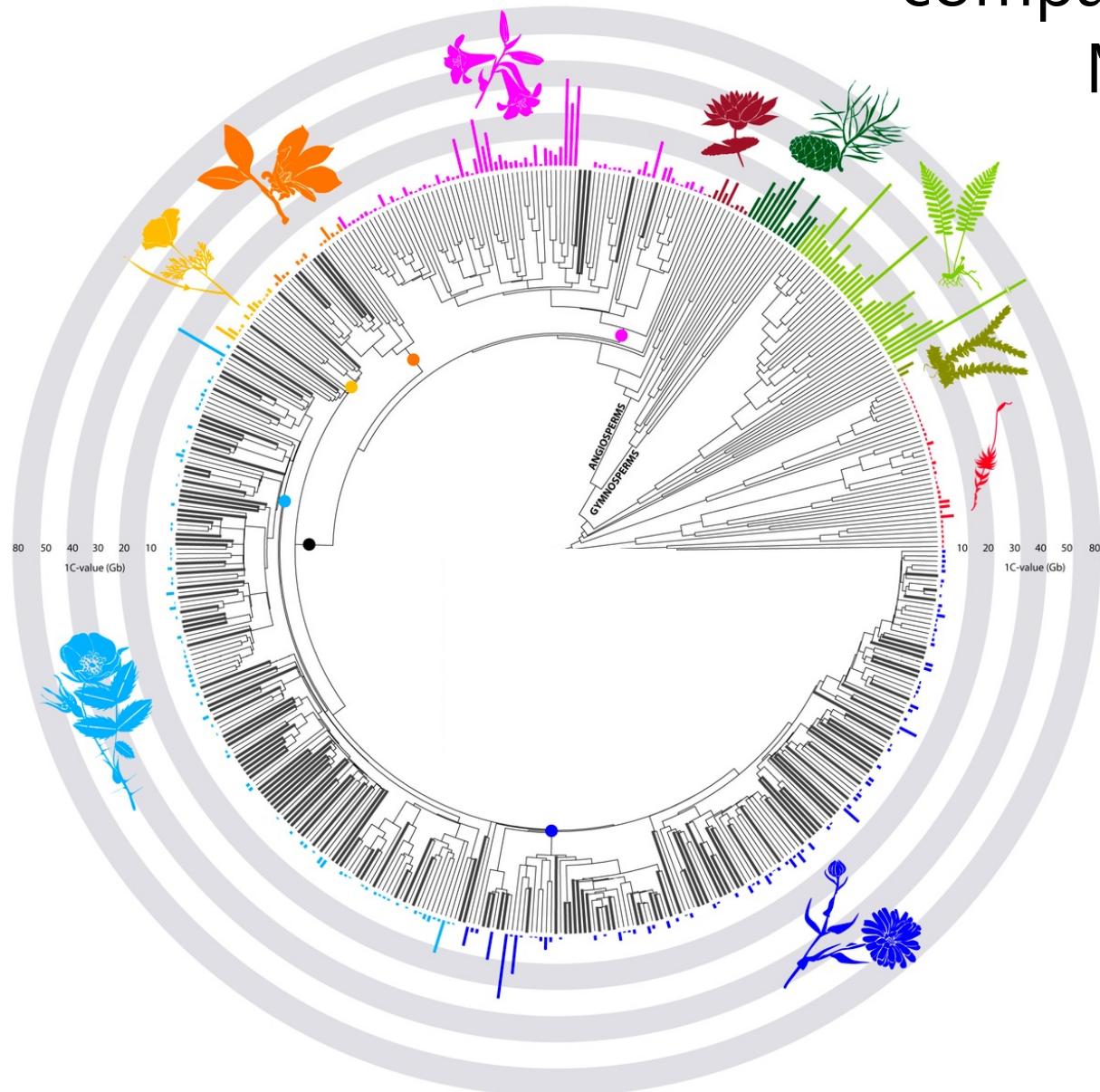


# Introducción

---

1. Métodos filogenéticos comparativos
2. Plantas con flores (angiospermas) - grandes diversificaciones
3. Caracteres que generan especiación
4. Concepto de árboles filogenéticos
5. Entendiendo el concepto de evolución en filogéncias

# ¿Qué son los métodos comparativos filogenéticos? Macroevolución



Desarrollo de modelos estocásticos y estadística

Objetivo: Conectar procesos evolutivos a gran escala con el árbol de la vida.

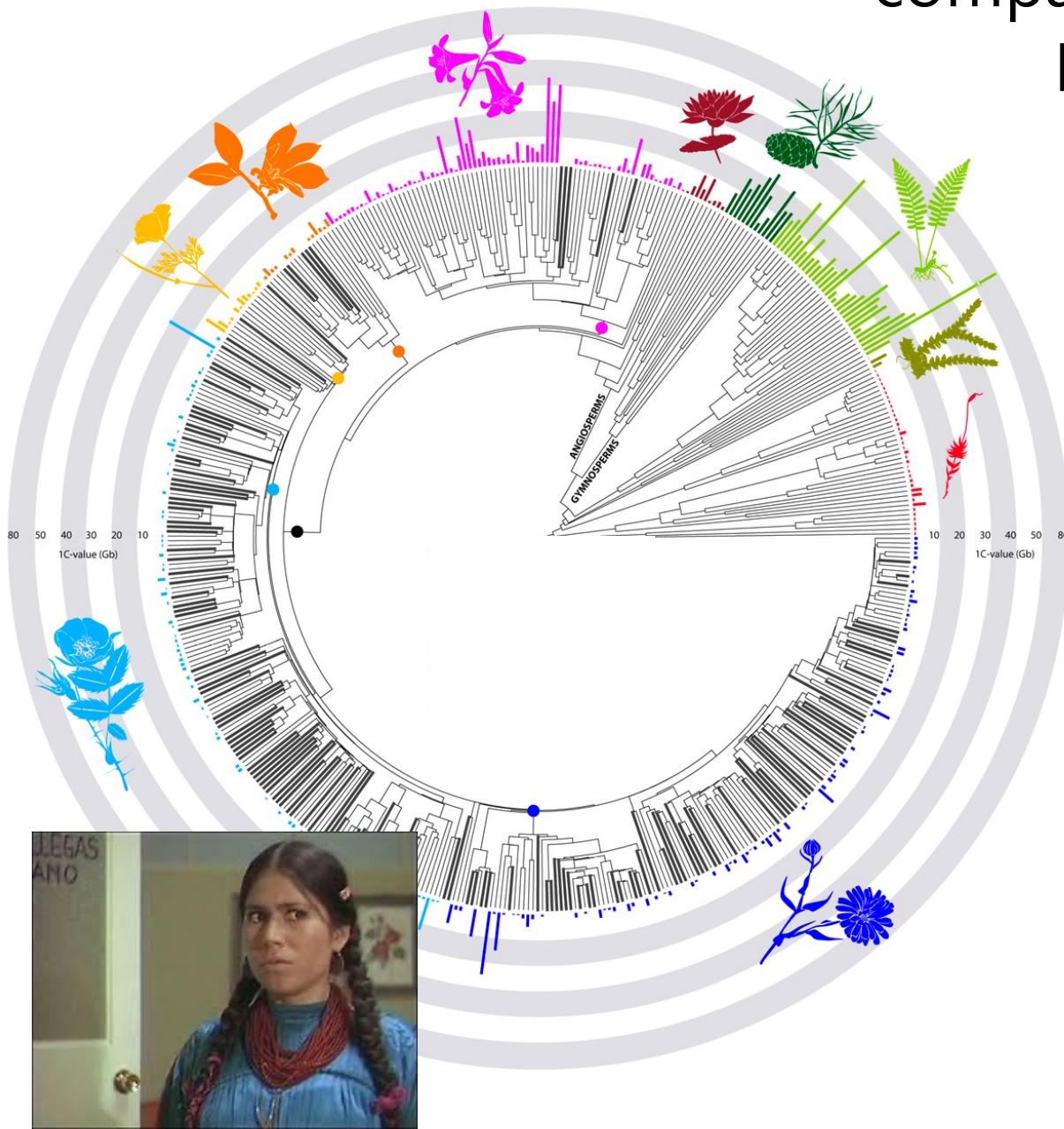
Área 100% interdisciplinaria

Evolución, Botánica,  
Matemáticas, Estadística, y  
Ciencias Computacionales.

Datos

Árboles filogenéticos y rasgos  
(características medibles)

# ¿Qué son los métodos comparativos filogenéticos? Macroevolución



Desarrollo de modelos estocásticos y estadística

Objetivo: Conectar procesos evolutivos a gran escala con el árbol de la vida.

Área 100% interdisciplinaria

Evolución, Botánica,  
Matemáticas, Estadística, y  
Ciencias Computacionales.

Datos

Árboles filogenéticos y rasgos  
(características medibles)



# The Society of Systematic Biologists

## Graduate Student Research

Graduate student research awards (GSRAs) assist students in the initiation of their systematics projects and in the collection of preliminary data to pursue additional sources of support (e.g., Doctoral Dissertation Improvement Grants from the National Science Foundation) or to enhance dissertation research (e.g., by visiting additional field collection sites or museums). For further details, see the Graduate Student Research Awards page.

## Mini-ARTS

The Mini-ARTS awards are designed to allow SSB members (students, post-docs, and faculty) to spend a summer or semester apprenticed to an expert in a particular taxonomic group or to enhance revisionary taxonomic and systematics research in novel ways. For more details, see the [Mini-ARTS Awards](#) page.

## Publisher's Award

The award is presented to the two best papers based on student research published in *Systematic Biology* during the previous year. This \$500 award is sponsored by Systematic Biology's publisher, Oxford University Press. For further details, see the Publisher's Award and Past Publisher's Award Winners pages.

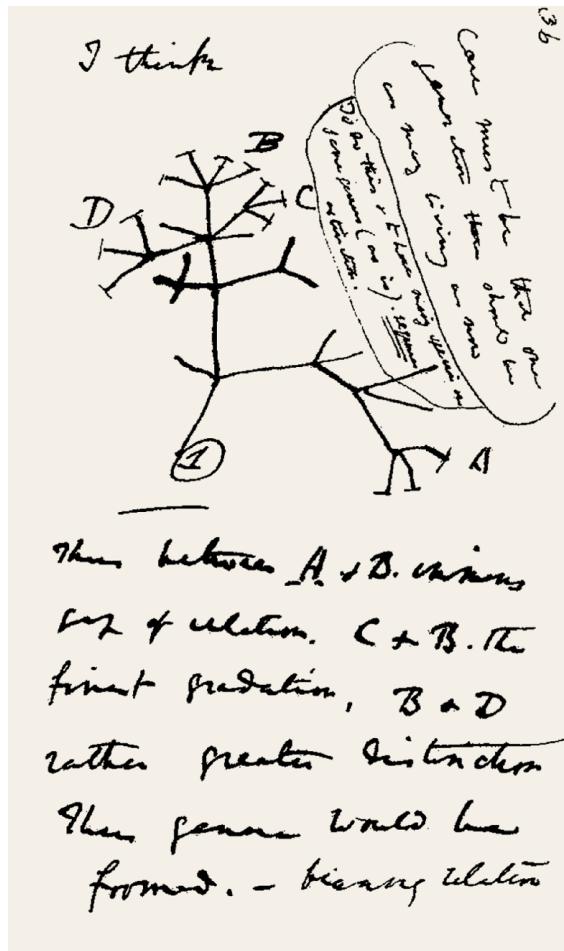
Fondos de investigación para estudiantes, postdocs y profesores!

Hay más de  
400,000 plantas  
vasculares en el  
planeta



Volcanoes photography: Maria Costantini 2021  
Plant photography: RZF and Carrie Tribble

# Darwin propuso la evolución como un proceso de ramificación



"As buds give rise by growth to fresh buds, and these, if vigorous, branch out and overtop on all sides many a feebler branch, so by generation I believe it has been with the great Tree of Life, which fills with its dead and broken branches the crust of the earth, and covers the surface with its ever branching and beautiful ramifications."

– Darwin, 1859

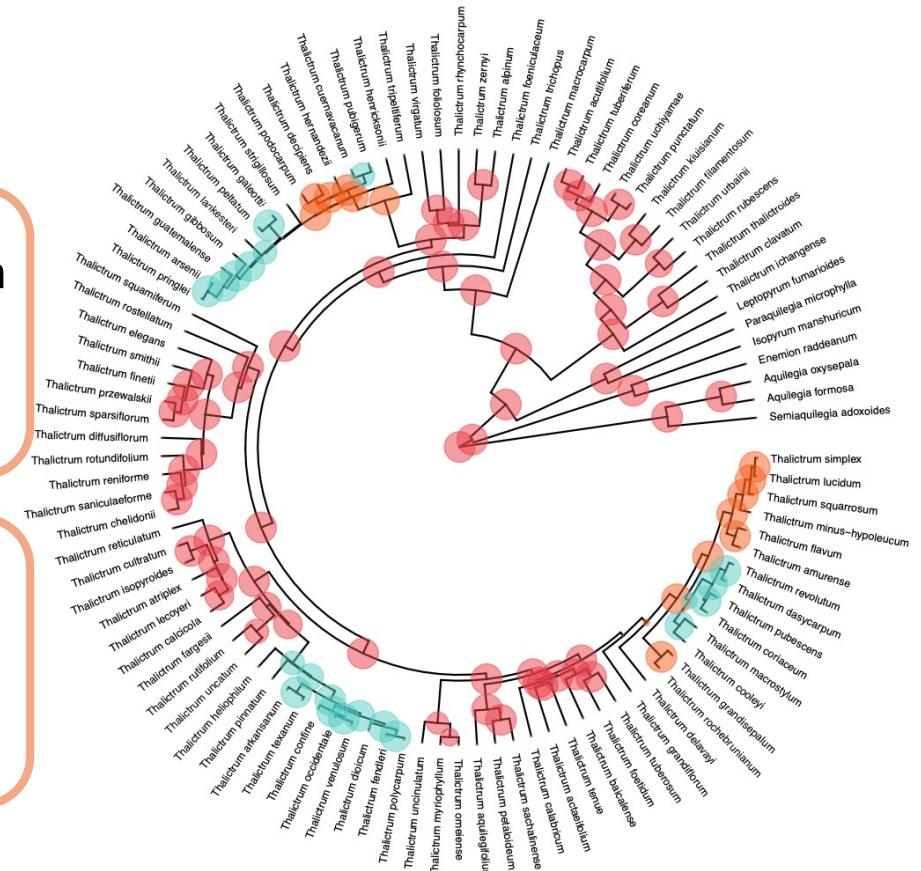
# Filogenética

## Estudio de la ancestría de las especies en el tiempo

Árboles filogenéticos son la representación más directa del principio de ancestría en común

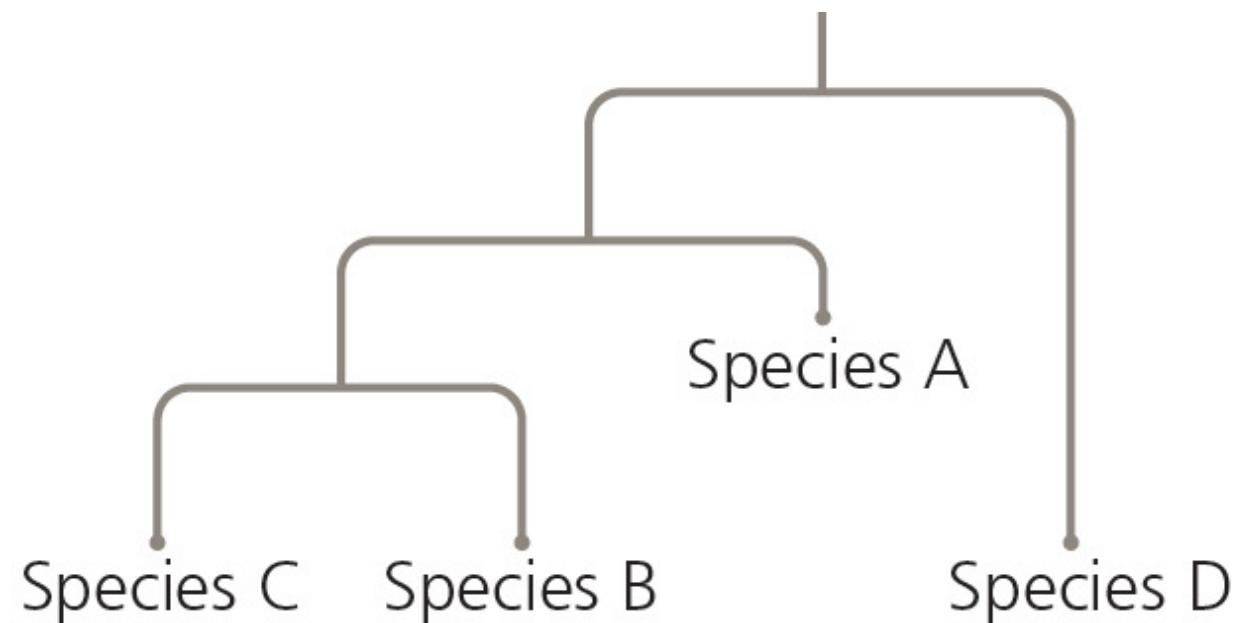
Son el corazón de la biología evolutiva y deben de tener un lugar prominente en la transmission de la teoría de la Evolución.

Filo = tribu o familia  
+  
genética = génesis



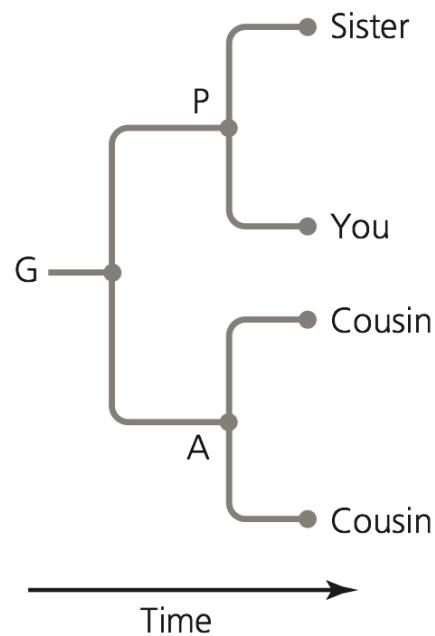
## Árboles filogenéticos o filogenias

Representación gráfica de la ancestría de las especies

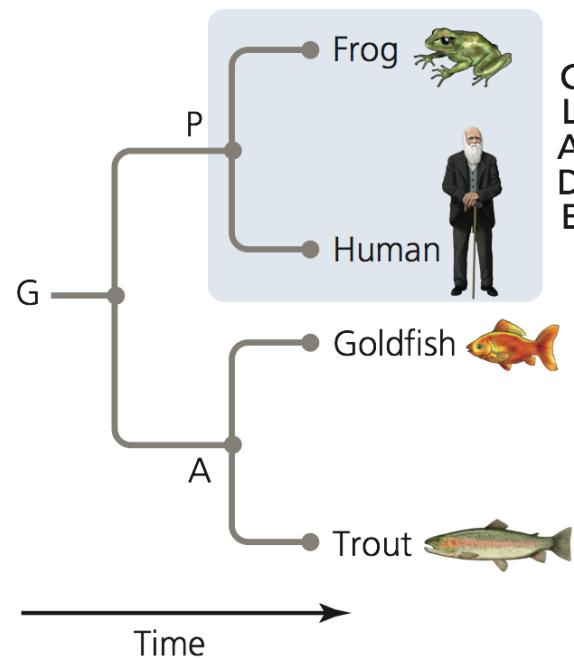


# Filogenia es como un árbol genelógico

A



B

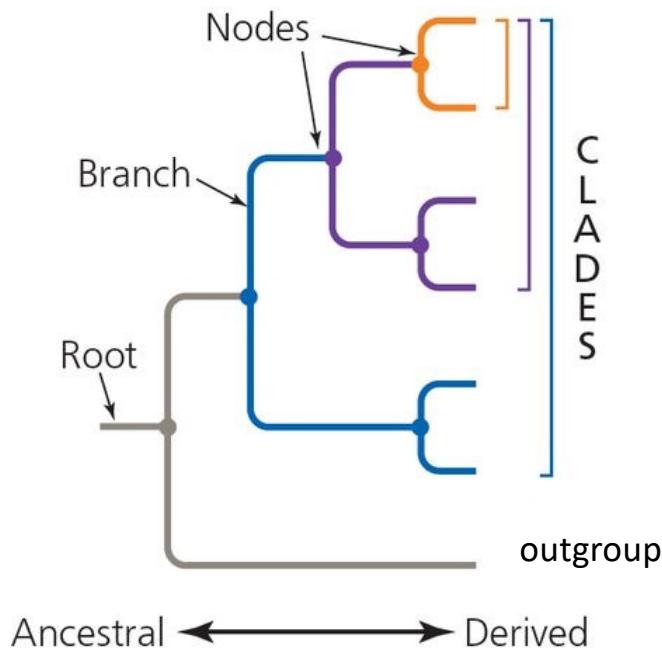


**Clado:** Un ancestro con todos sus descendientes(= grupo monofilético)

**Para interpretar las filogéncias siempre nos tememos que fijar en los ancestros.**

## Conceptos importantes

A



### Nodo (Node) :

- Punto donde dos ramas se separan
- Proceso de especiación
- Ancestro en común

### Ramas (Branches) :

- Linajes, características cambian en el tiempo
- Cambios evolutivos en el tiempo

### Puntas (Tips):

- Representan especies o poblaciones

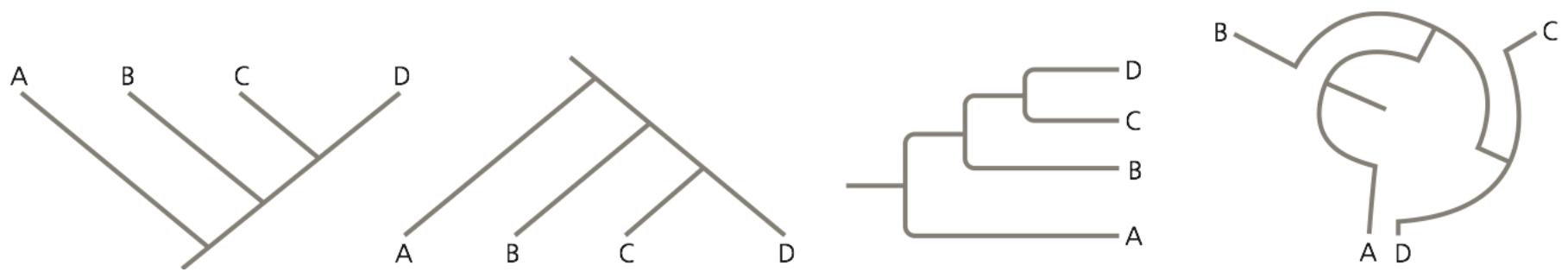
### Clado (Clade):

- Un ancestro con todos sus descendientes

### Árbol enraizado (Rooted tree) :

- Significa que sabemos un parente relacionado que esta fuera de la filogenia.
- La raíz es el ancestro comun de todas las especies de nuestra muestra.

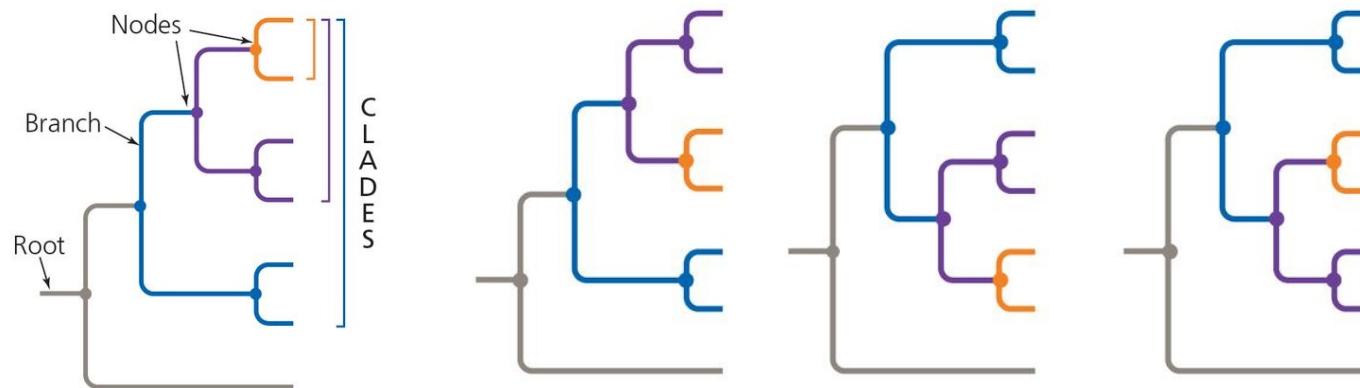
## Diferentes estilos para dibujar el mismo árbol



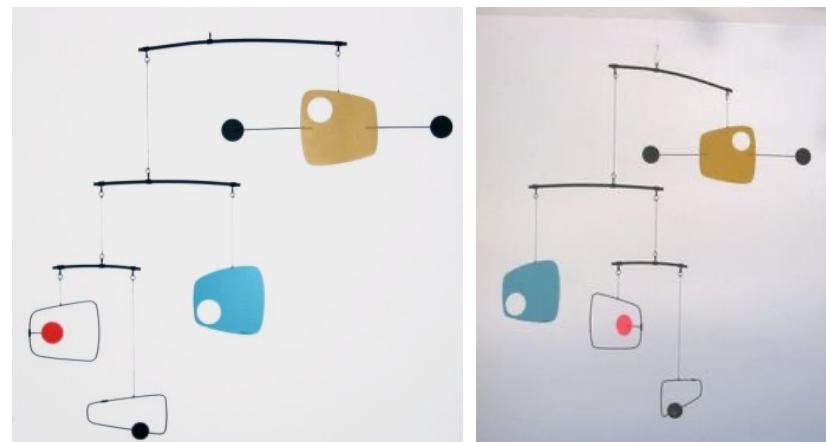
Estos cuatro arboles representan las mismas relaciones filogenéticas!!

Los clados pueden rotar como móviles y las relaciones se mantienen

A



All four trees depict the same relationships!!



# La mayoría del público no entiende evolución porque no entiende el concepto de las filogéncias.

 **Tim Allen**   
@ofctimallen



If we evolved from apes why are there still apes.

1:10 AM - Aug 16, 2017

13,335  15,530  51,806 

Source: [Tim Allen/Twitter](#)

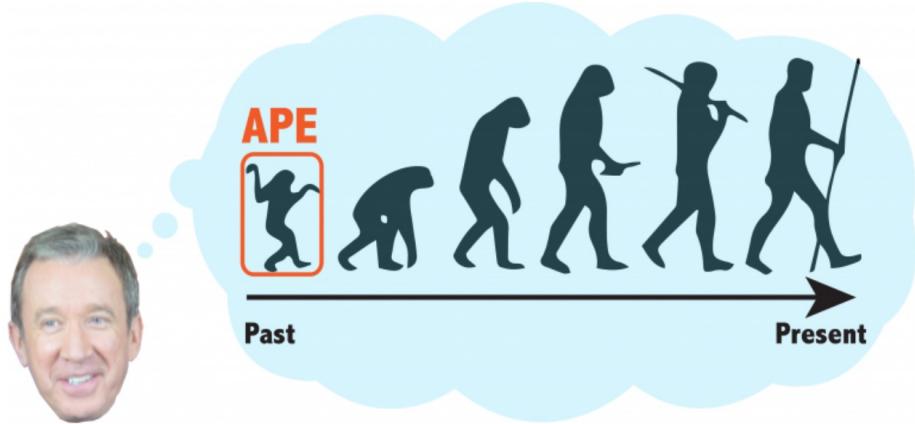
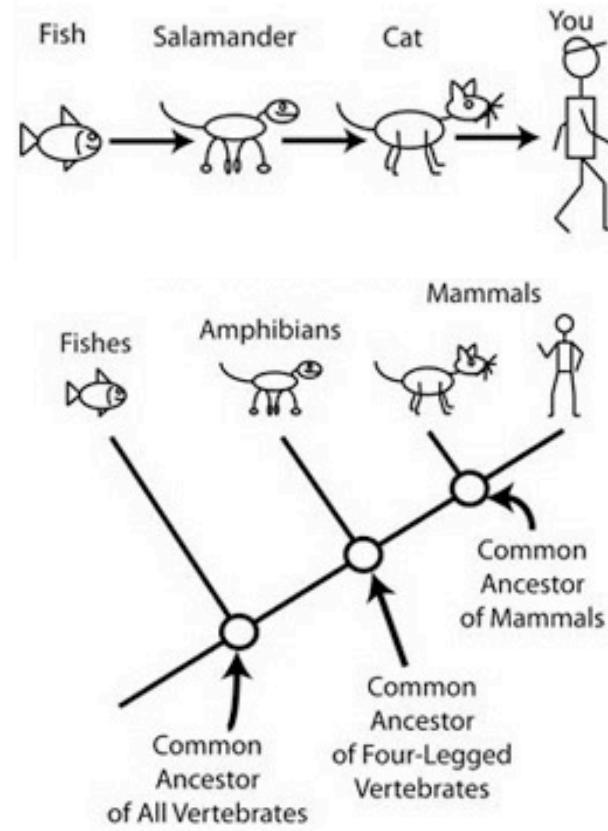
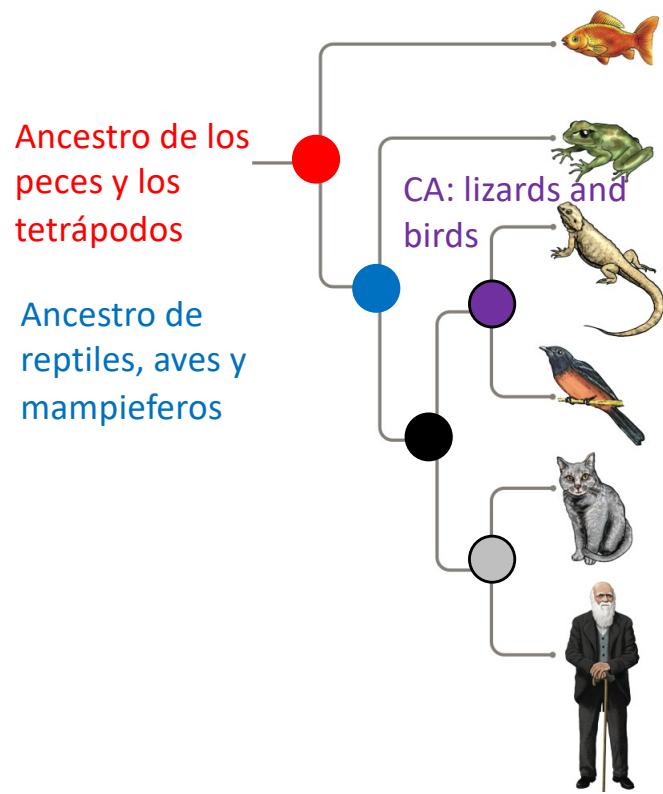


Figure 2: A (terrible) cartoon representing how many people imagine evolution happens. According to the cartoon, evolution is strictly linear, with more “primitive” creatures evolving into “less primitive” ones. Modified from [original](#), CC BY-SA 2.0

La mayoría del público no entiende evolución porque no entiende el concepto de las filogéncias.



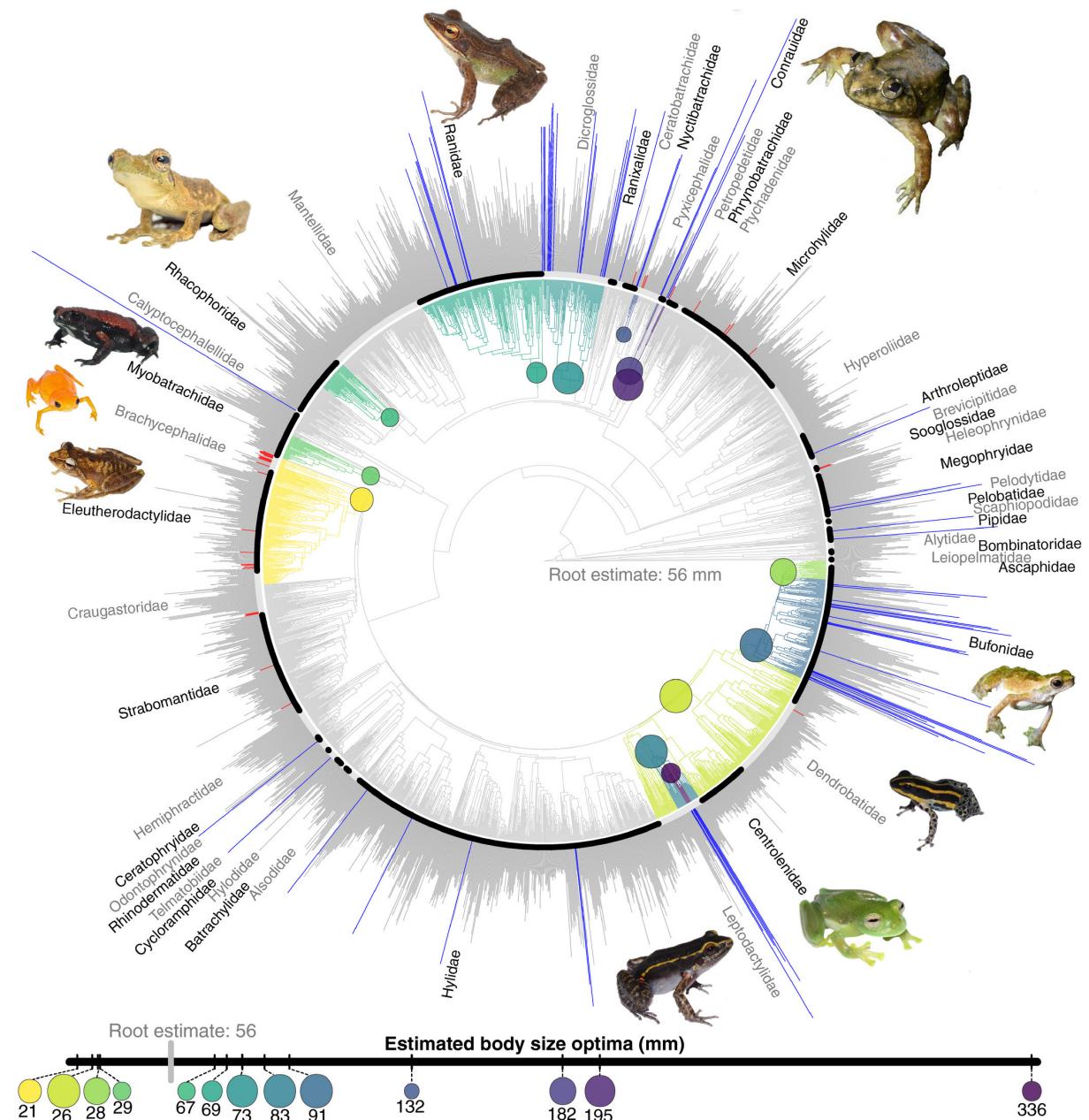
Ninguna especie que existe hoy es el ancestro de otra especie

# Cadenas de Markov en Tiempo Continuo (CTMC)

---

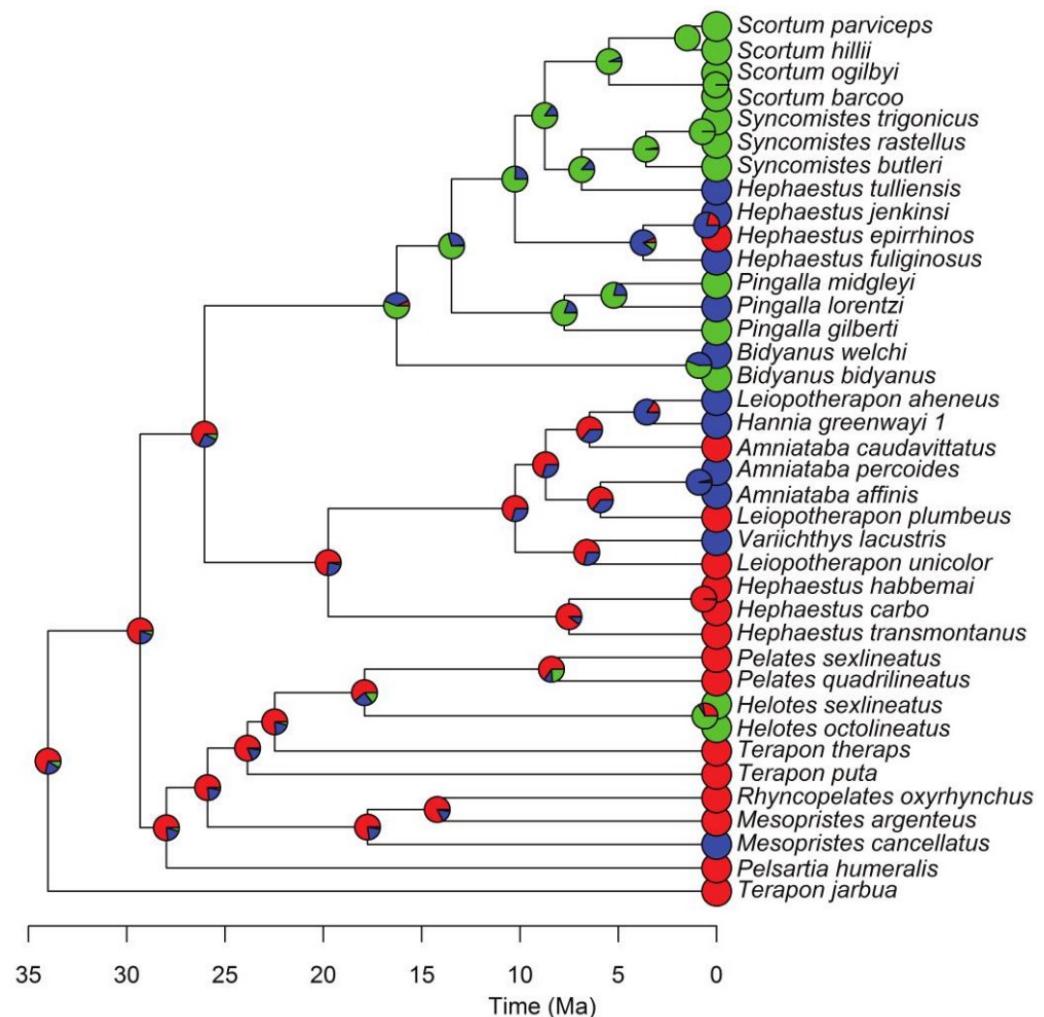
1. Caracteres ¿qué son? Motivación (Ejemplo de trabajo)
2. Caracteres discretos y las CTMC
3. Probabilidades de transición y tasas en un árbol filogenético

# Caracteres o Rasgos Continuos



# Caracteres o Rasgos Discretos

Diet-Driven Disparification



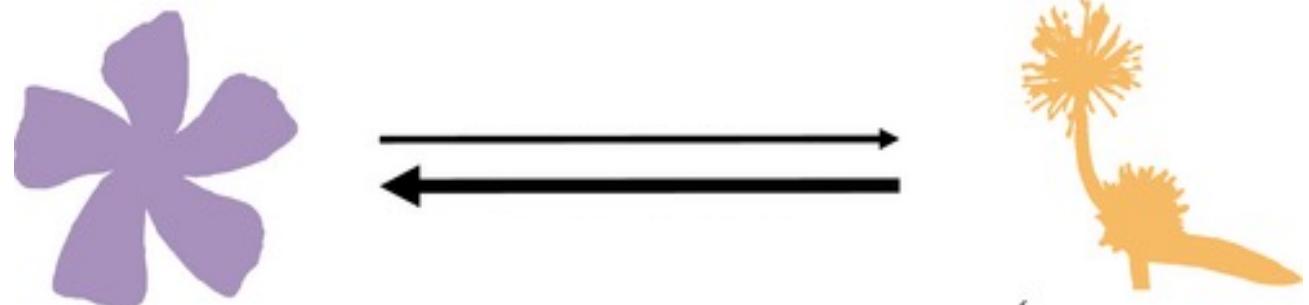
Herbivory Promotes Dental Disparification and Macroevolutionary Dynamics in Grunters (Teleostei: Terapontidae), a Freshwater Adaptive Radiation. 2016

Aaron M. Davis et al. The American Naturalist.

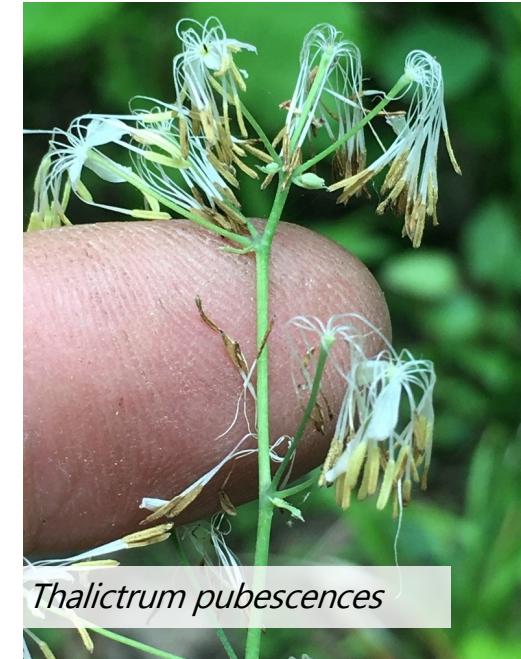
# Ejemplo del Taller: Polinización

---

- Las plantas dependen de la polinización para reproducirse.
- El pólen puede ser transferido por insectos, viento, vertebrados, e incluso por ríos
- Frequentemente encontramos especies cercanas en la filogenia en donde lo único que difiere es el tipo de polinización
- Una polinización efectiva hace que las poblaciones de una especie persistan e incluso encuentren la manare de especiar



## Cumberland Falls State Park, KY



*Thalictrum pubescens*



*Thalictrum thalictroides*

Evolución de la polinización, los cromosomas y  
los sistemas sexuales del  
género *Thalictrum*



Verónica di Stilio  
Universidad de Washington

Fotos: Tennessee-Kentucky Plant Atlas, iNaturalist, and RZF

# Múltiples cambios en la polinización

Viento

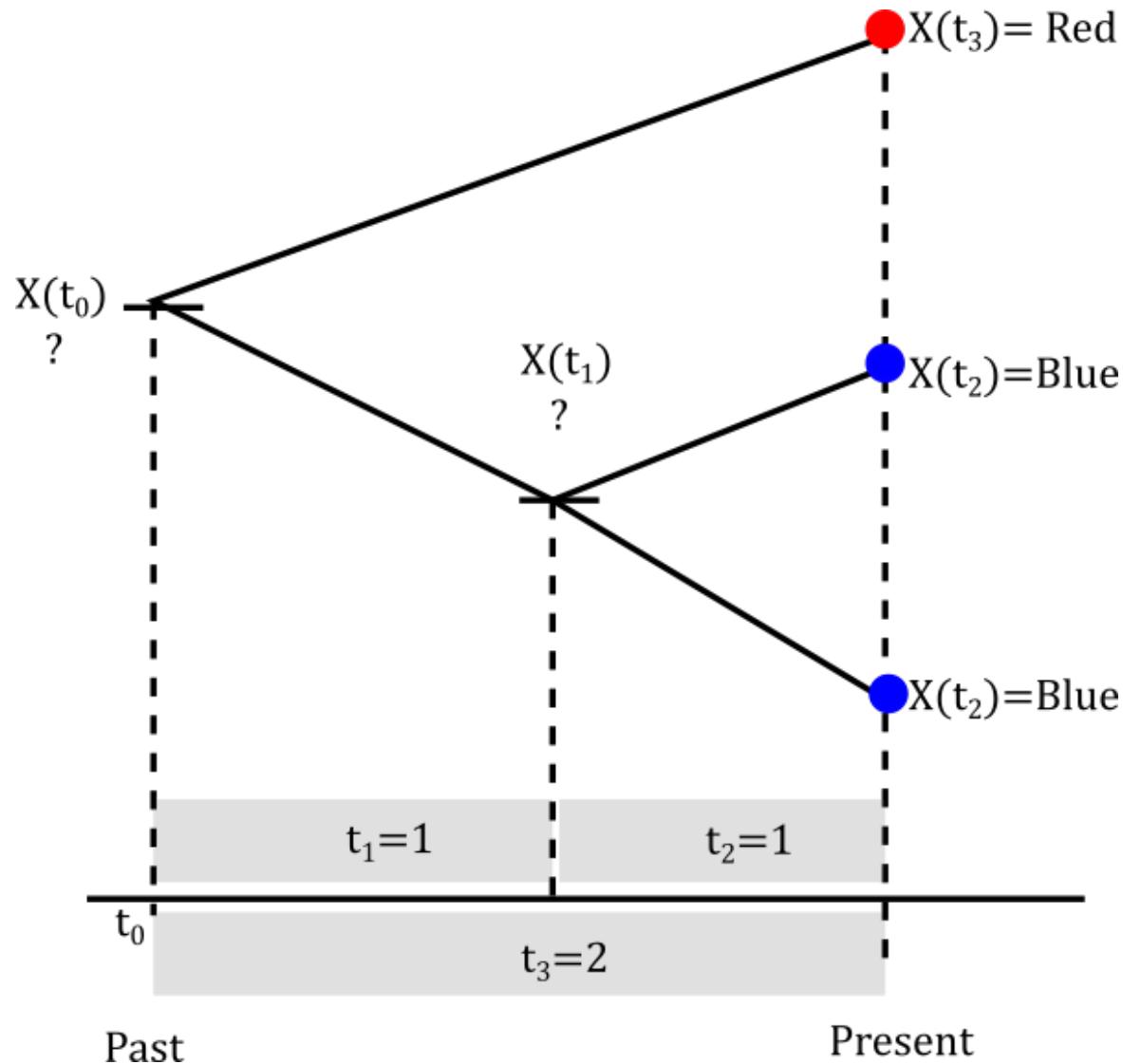


Cambios en la polinización generan oportunidades para ocupar nuevos nichos ecológicos, nuevas funciones y especiar

Insectos

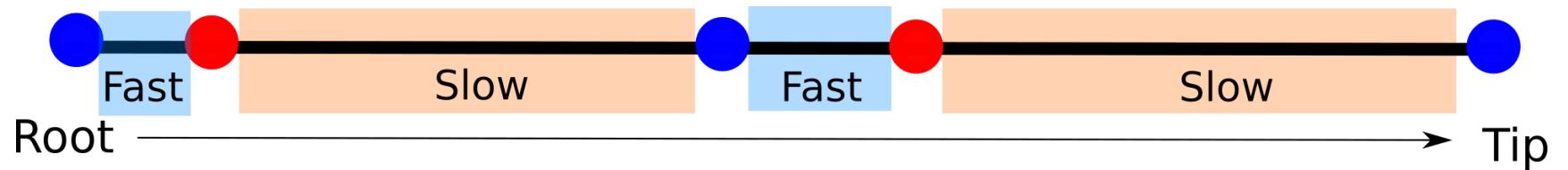


# Nuestros datos



# Modelo: Cadena de Markov en Tiempo continuo

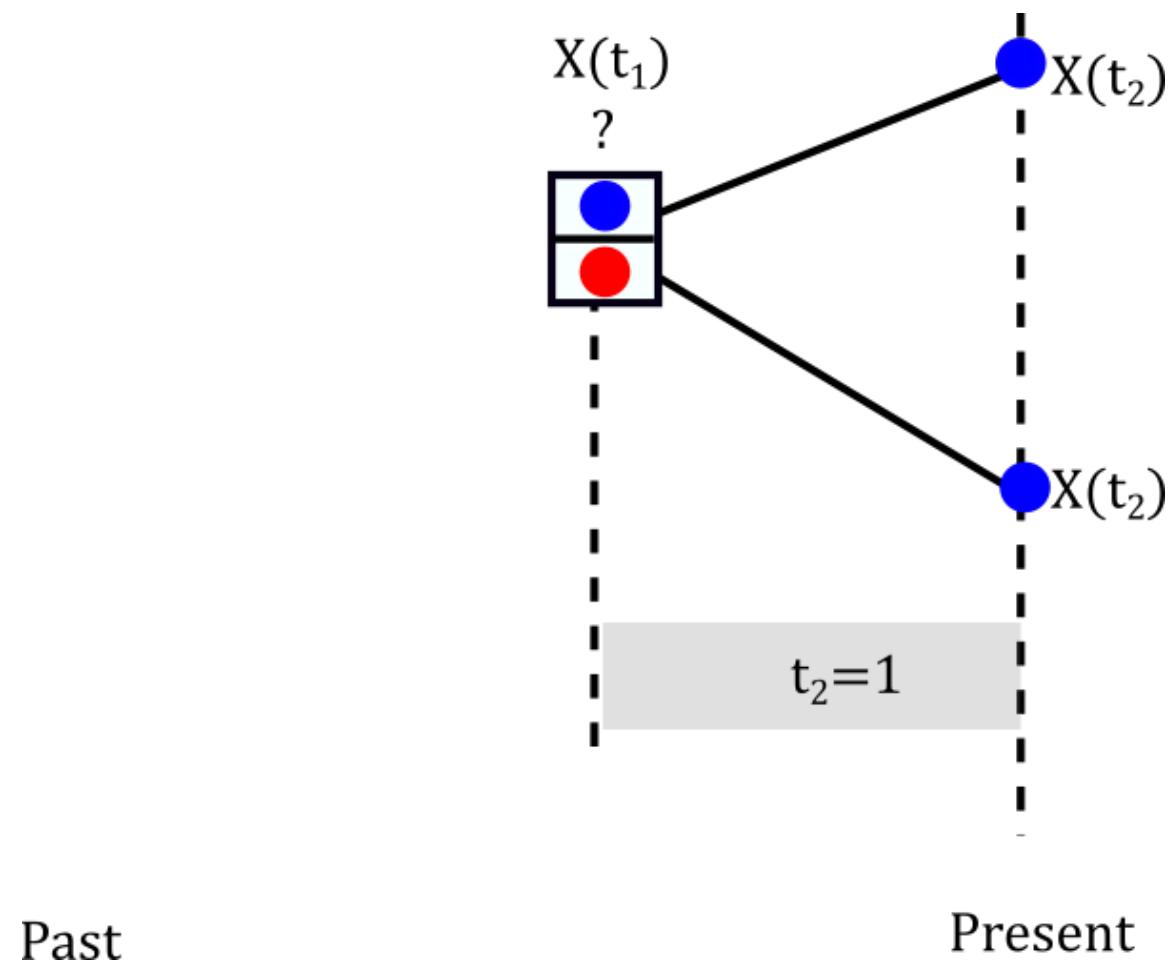
# Tasas evolutivas?



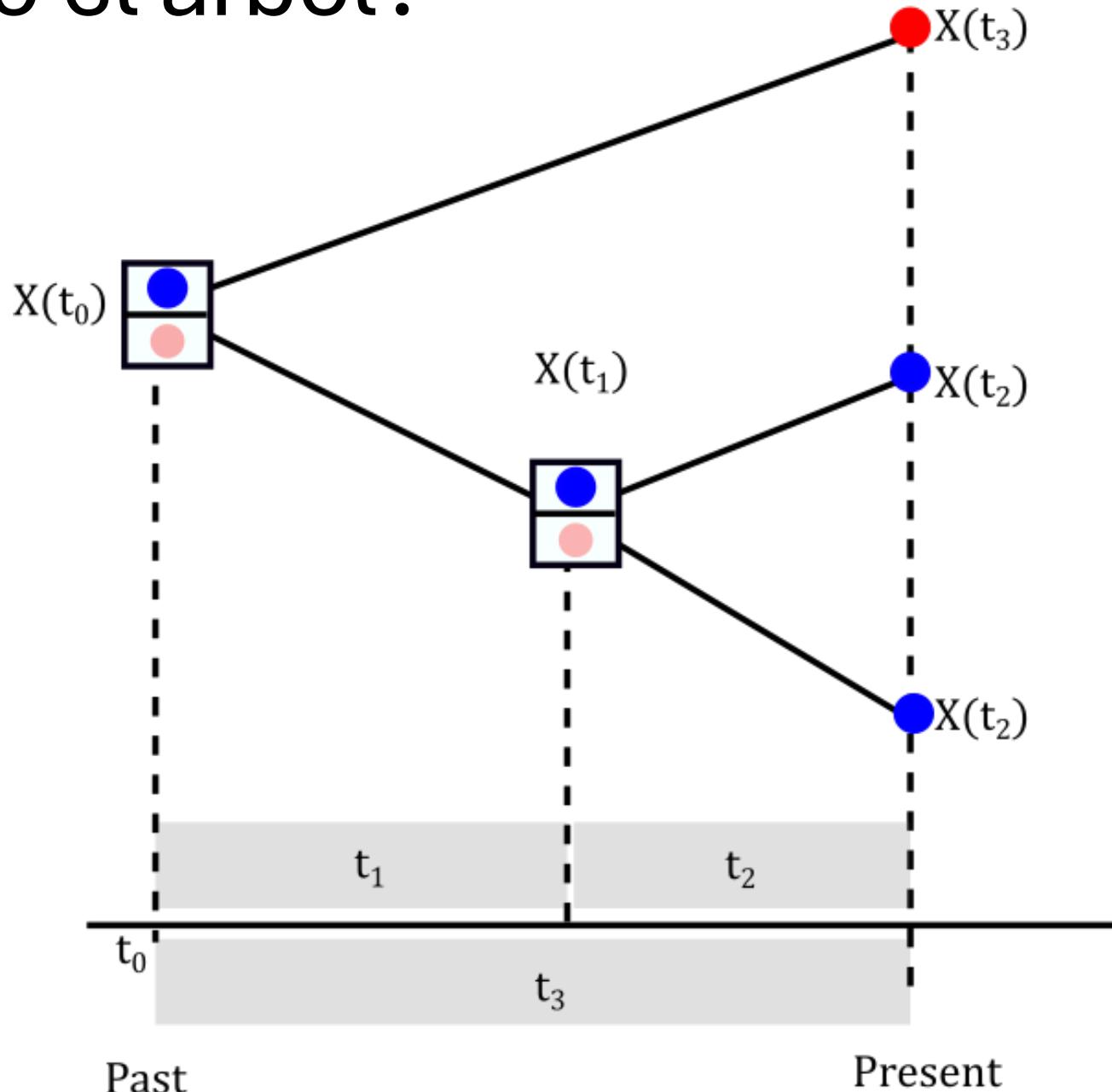
# Representación de la Q-matriz

# Cómo se calculan las probabilidades?

# El grave problema: La muestra no es independiente



# Cómo calcular las probabilidades en todo el árbol?



# Caracteres discretos

La pesadilla de las  
computadoras

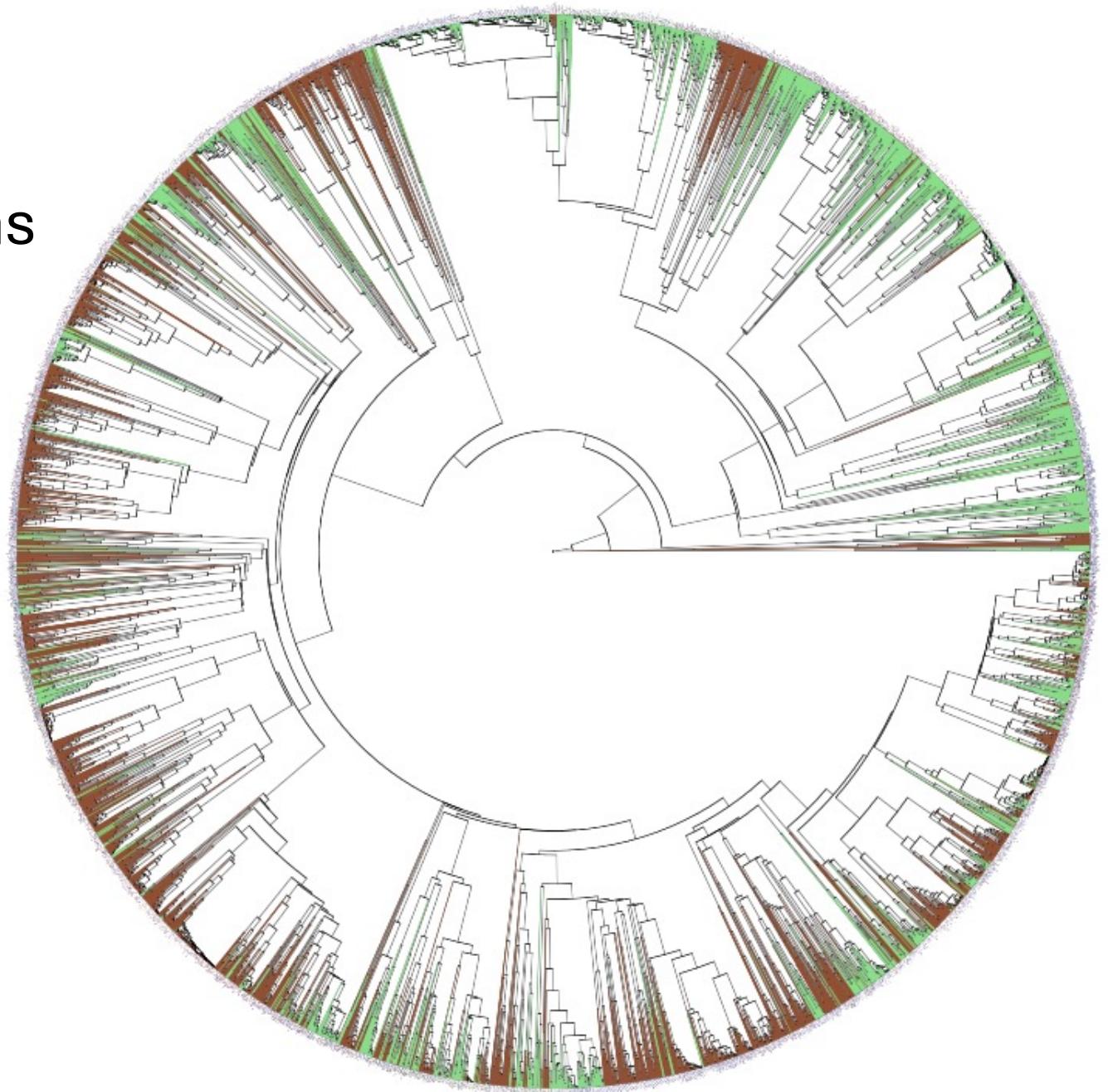
Filogenia de eudicotás  
(Zanne et al., 2014)

+

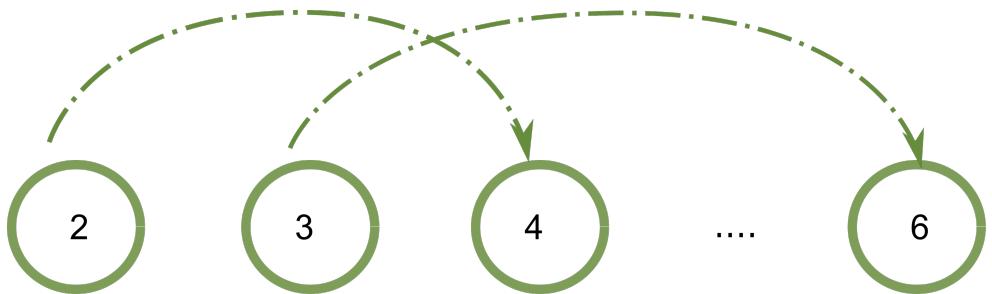
Herbacea o Maderosa

+

Número de cromosomas

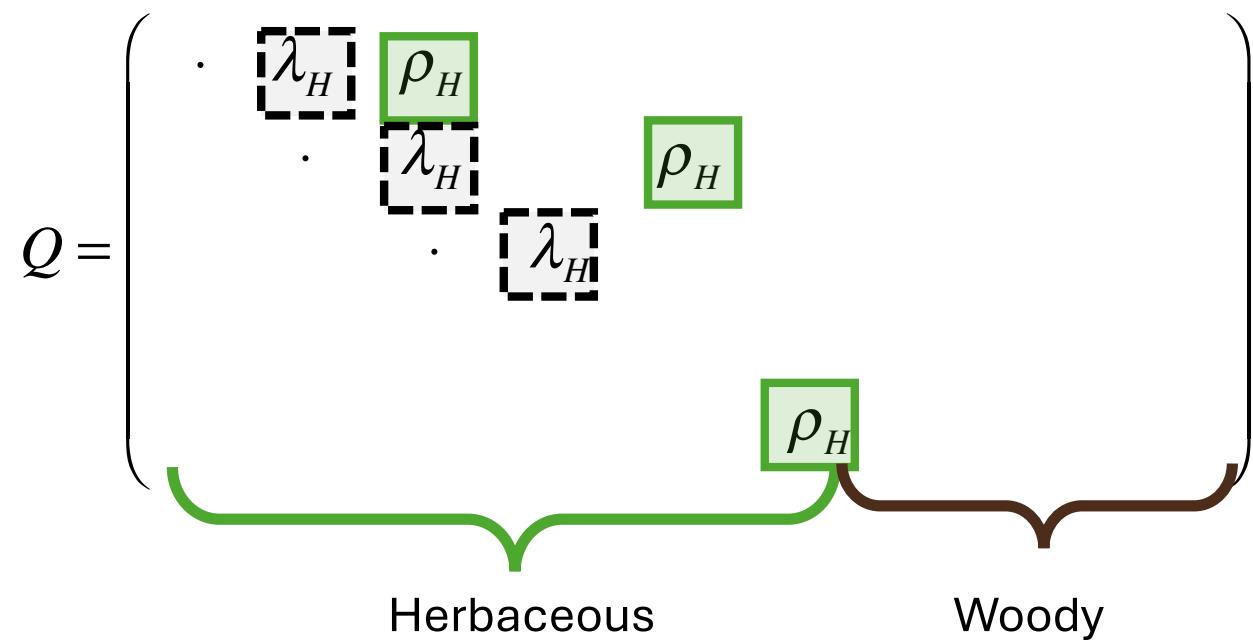
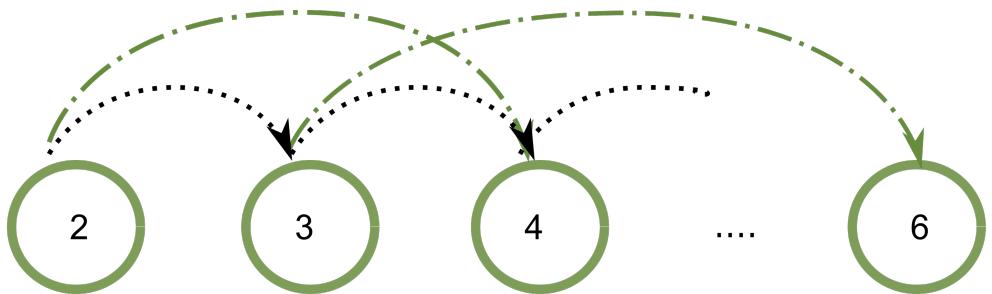


# Cromosomas se duplican

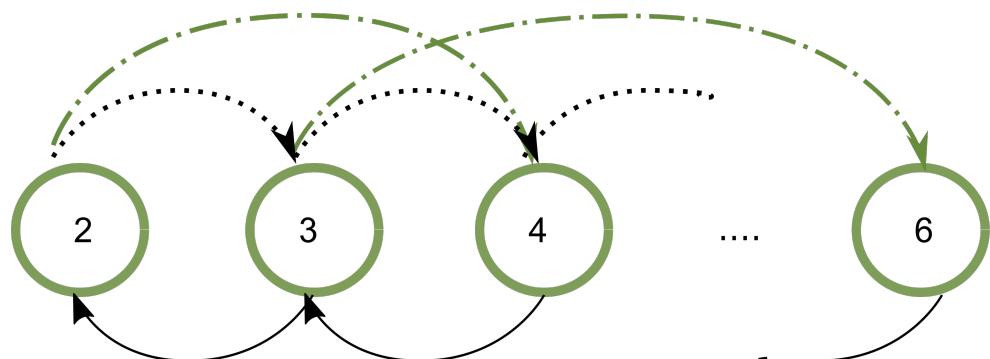


The figure displays a step function graph where the y-axis is labeled  $Q =$ . The x-axis is divided into two regions: "Herbaceous Chromosome Numbers" and "Woody Chromosome Numbers". In the first region, there are three points marked with green boxes containing  $\rho_H$ . In the second region, there is one point marked with a green box containing  $\rho_H$ . A large curly brace on the right side of the graph groups all four points under the heading "Herbaceous Chromosome Numbers".

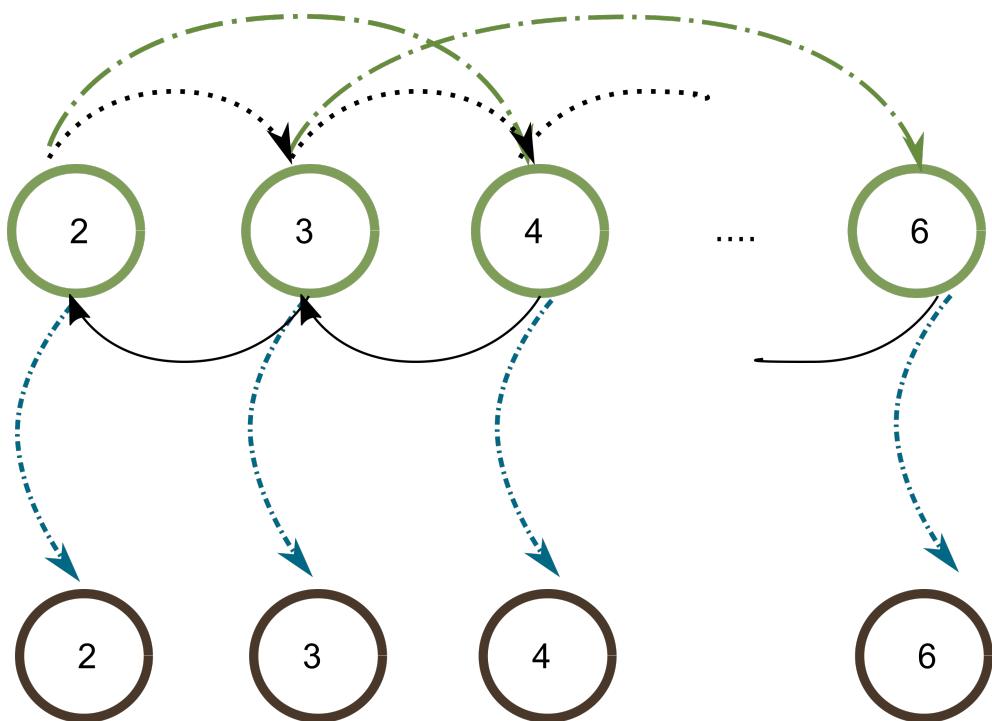
Cromosomas  
incrementan uno por  
uno



# Cromosomas decrecen de uno en uno



Plantas evolucionan de herbaceas a maderosas y vice versa



$$Q = \left( \begin{array}{cccccc} \cdot & & \boxed{\lambda_H} & \boxed{\rho_H} & & & \\ \boxed{\mu_H} & & \boxed{\lambda_H} & \boxed{\rho_H} & & & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & & & \\ & \boxed{\mu_H} & & \boxed{\lambda_H} & & & \\ & & \cdot & \cdot & & & \\ & & & \ddots & & & \\ & & & & \boxed{\rho_H} & & \\ & & & & & \boxed{q_{HW}} & \\ & & & & & \boxed{q_{HW}} & \\ & & & & & \ddots & \\ & & & & & & \end{array} \right)$$

Herbaceous

Woody

The matrix  $Q$  represents a transition probability matrix for plant evolution. The rows are indexed by herbaceous states (2, 3, 4, ...) and the columns by woody states (2, 3, 4, ...). The diagonal elements in the upper triangle represent the probability of staying in a herbaceous state ( $\rho_H$ ), and the diagonal elements in the lower triangle represent the probability of staying in a woody state ( $q_{HW}$ ). The off-diagonal elements represent the probability of transitioning between herbaceous and woody states ( $\mu_H$  and  $\lambda_H$  respectively).

# Dolor de cabeza!

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...	50	50+	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...	50	50+	
1	-	$p\lambda_H$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$q_{HW}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	$M_H$	-	$\lambda_H$	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$q_{HW}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$q_{HW}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$q_{HW}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	$p\#$	0	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
7	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
8	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
9	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
11	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
12	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
13	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
14	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
15	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
16	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
17	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
18	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
20	0	0	0	0	0	0	$M_H$	-	$\lambda_H$	0	0	0	0	0	$p\#$	0	$p\#$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...						
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HERBACEOUS

... h ...

# Tasas de duplicación de cromosomas

