



# GRANDES TRANSICIONES: El origen de los tetrápodos y el de las aves





## ¿Qué tenemos para hoy?

Hora	Actividad
14:00 – 15:00	Origen de los tetrápodos
	Origen de las aves
15:00 – 15:30	Café
15:30 – 17:00	Taller sobre las Grandes Transiciones



La idea es que:

1. Puedas explicar el proceso y la relevancia de una transición evolutiva
2. Identifiques argumentos que permiten abordar didácticamente algunas ideas previas erróneas acerca de las transiciones
3. Reconozcas (una vez más) aspectos de NOS en el trabajo científico



# Acoge tu pez interior: El origen de los tetrápodos



## ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?

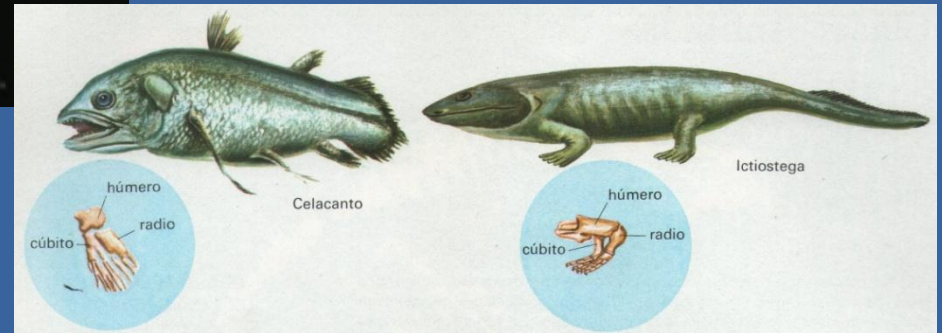
1. El conocimiento sobre la transición de peces a anfibios depende de la evidencia fósil
2. Existen peces actuales que demuestran la transición de peces hacia anfibios
3. El ser humano moderno posee rasgos de mamíferos extintos. Si se quisiera hallar rasgos de peces extintos, sería necesario buscar en peces modernos
4. El *Ichtiostega* es el vertebrado fósil que ha resultado clave para comprender la transición entre peces y anfibios
5. Un paleontólogo no puede decidir dónde hallar el fósil que busca





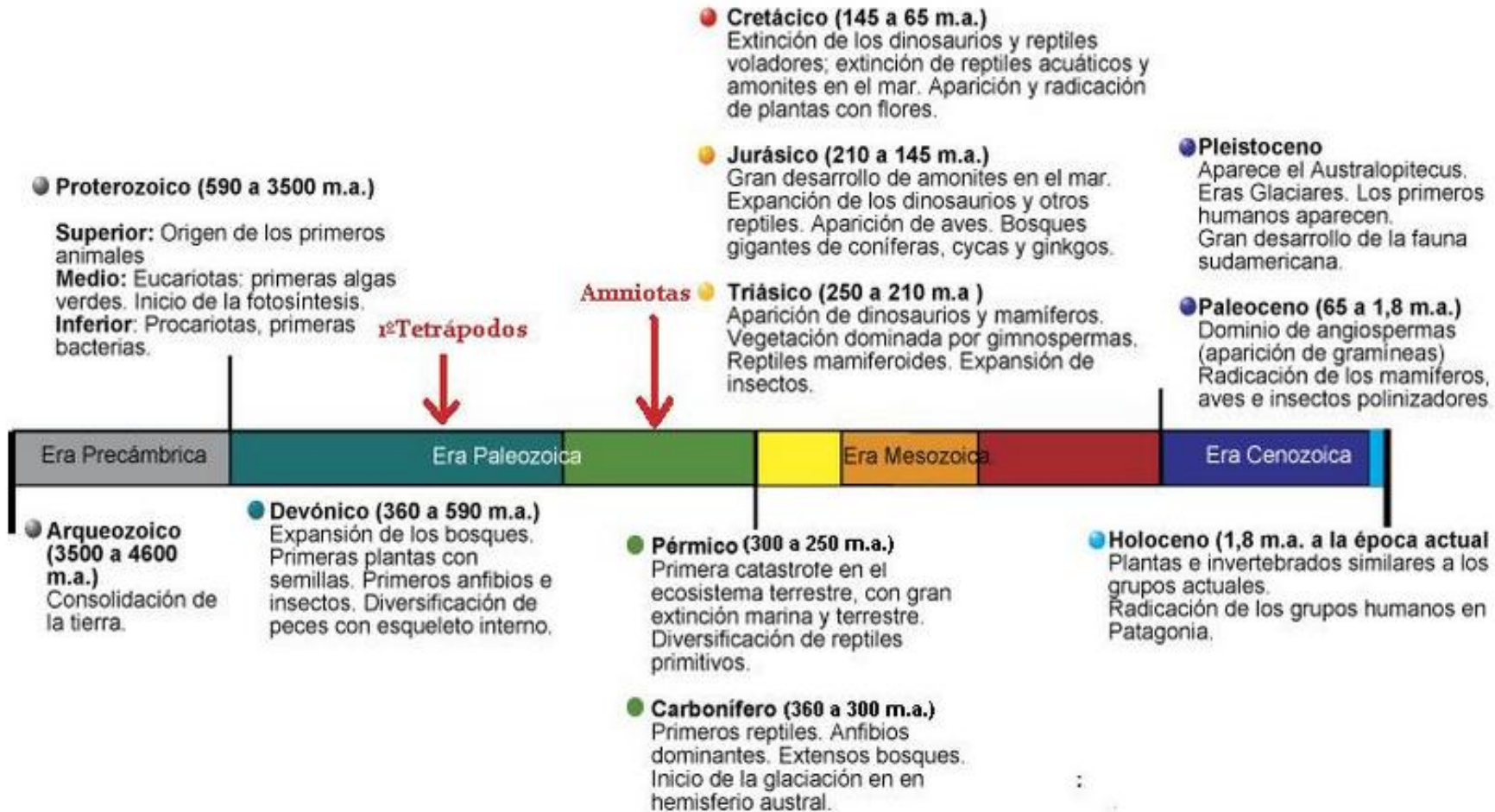
### Idea 1:

Es relevante estudiar la transición entre peces y anfibios

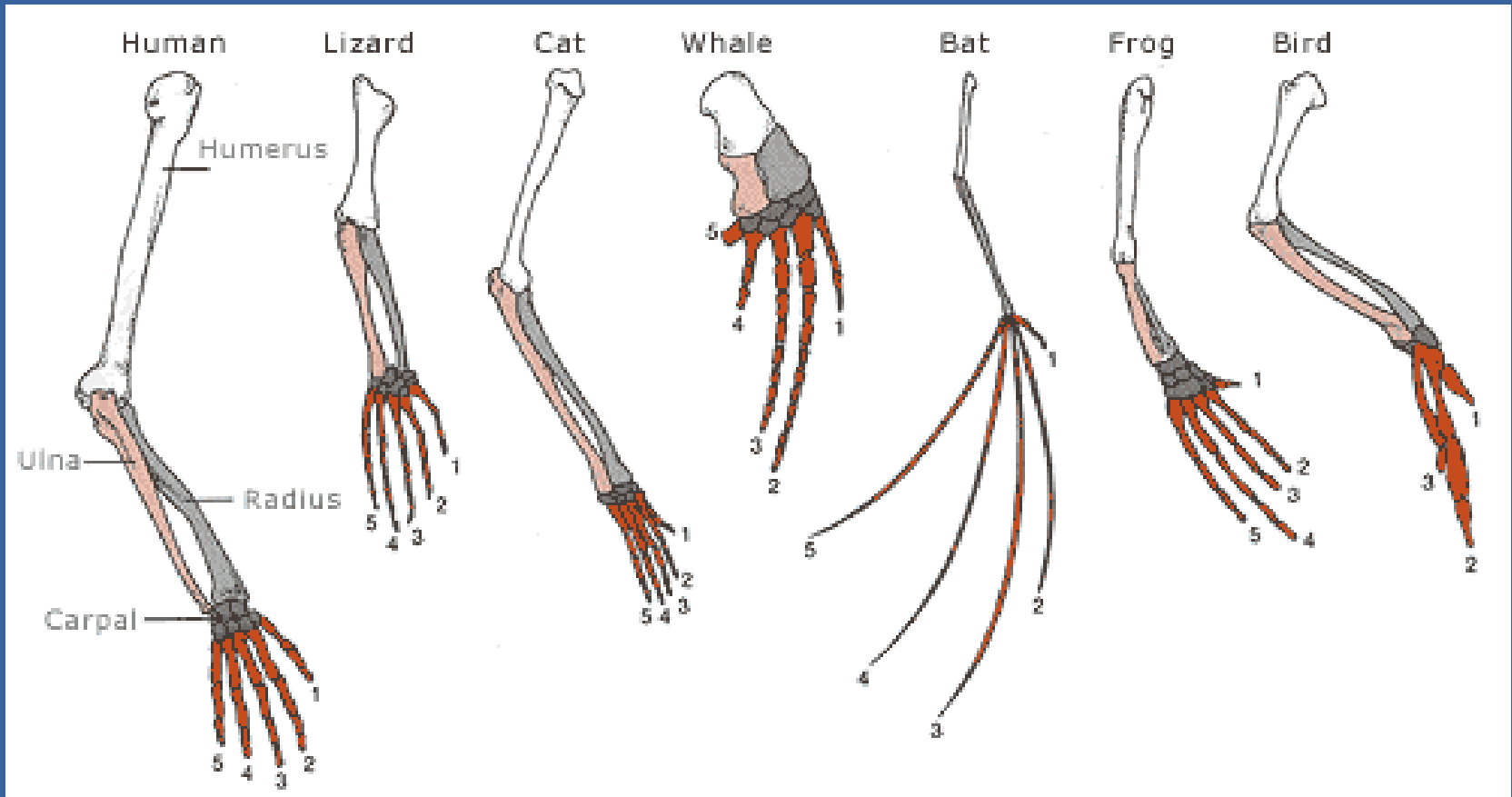


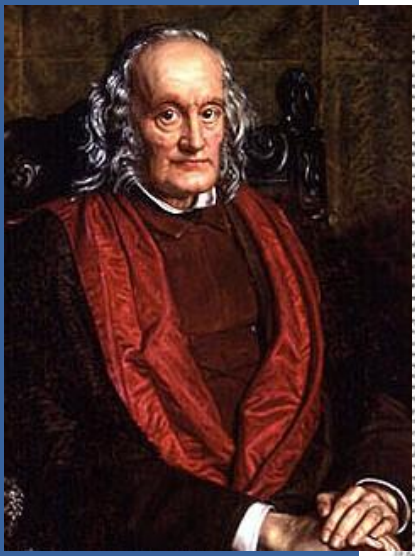


**LINEA DE TIEMPO EN MILLONES DE AÑOS**

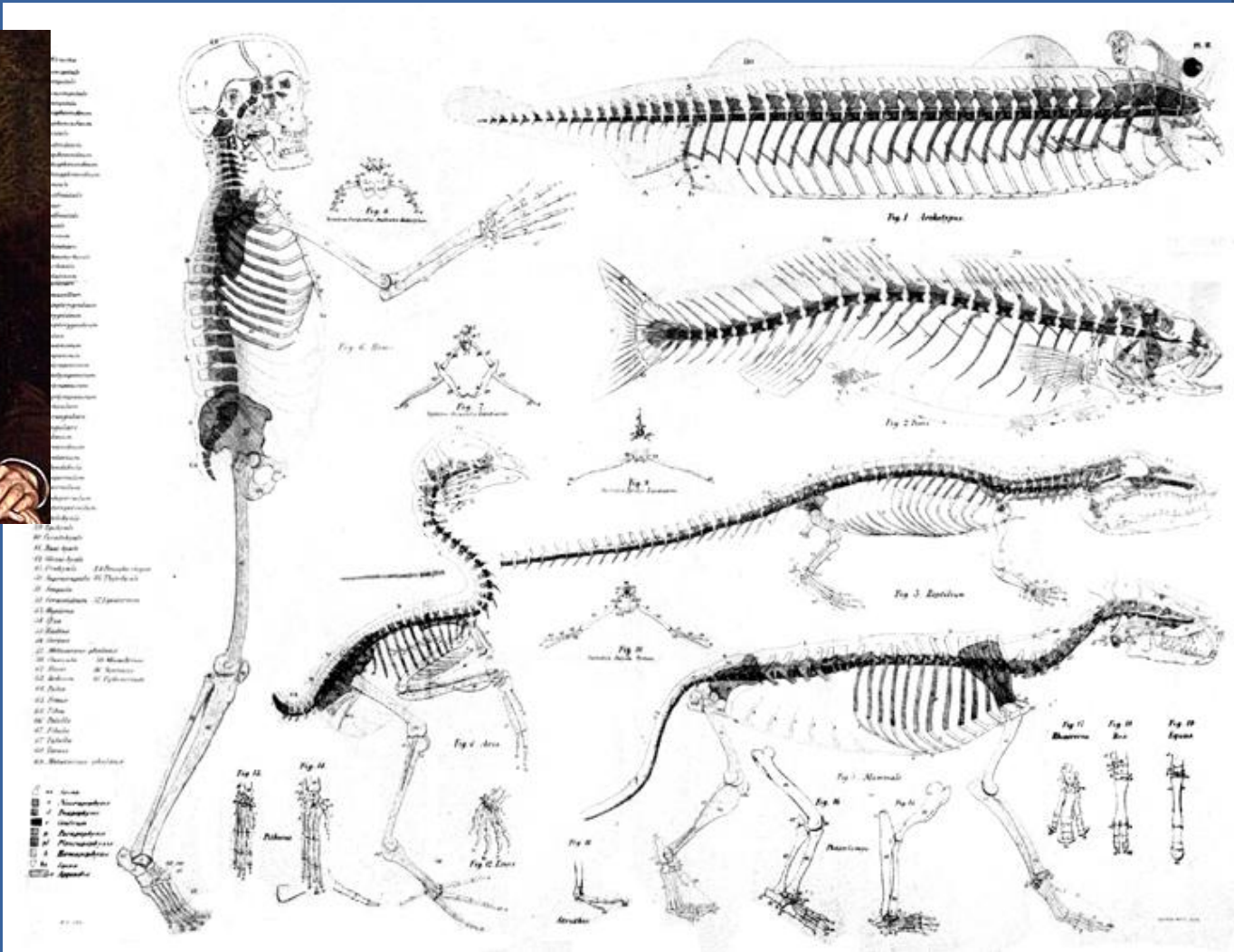






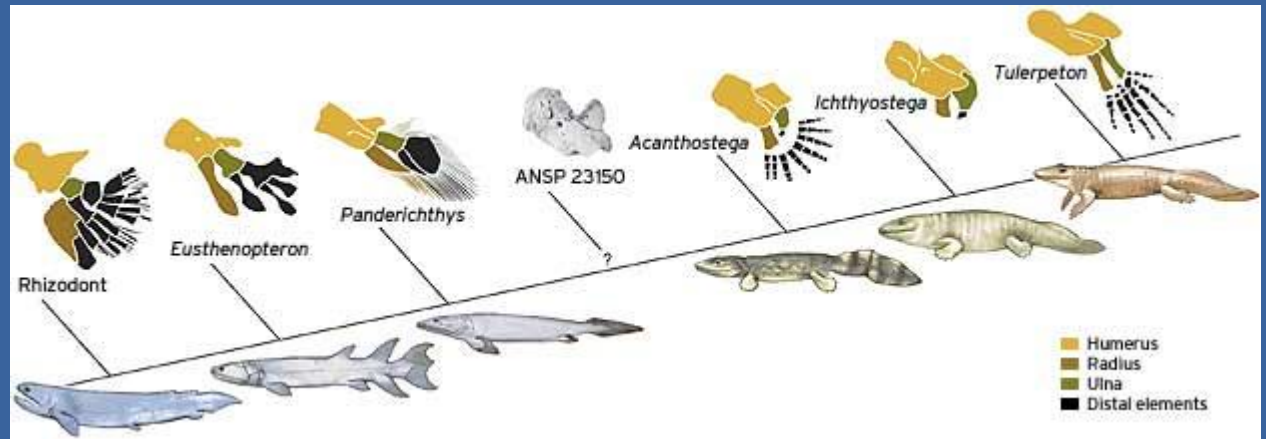
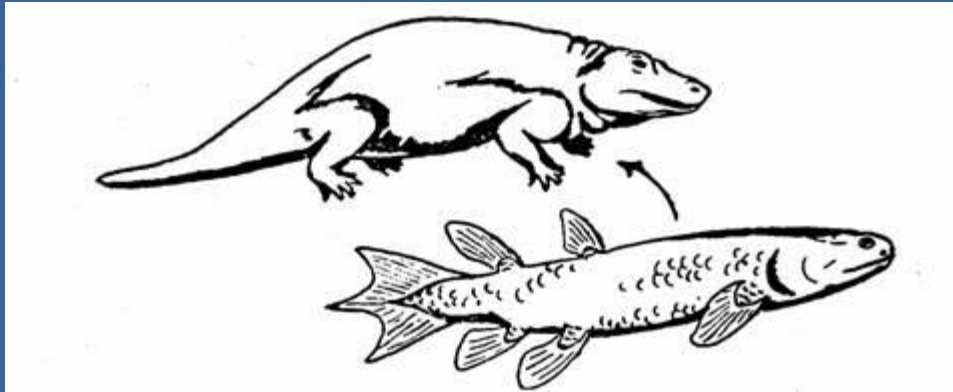


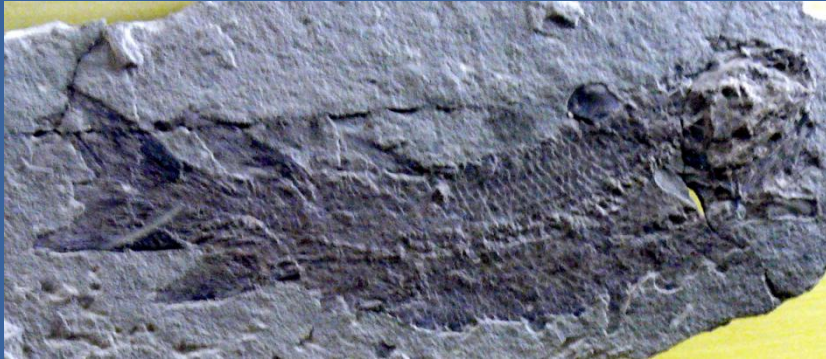
Richard Owen





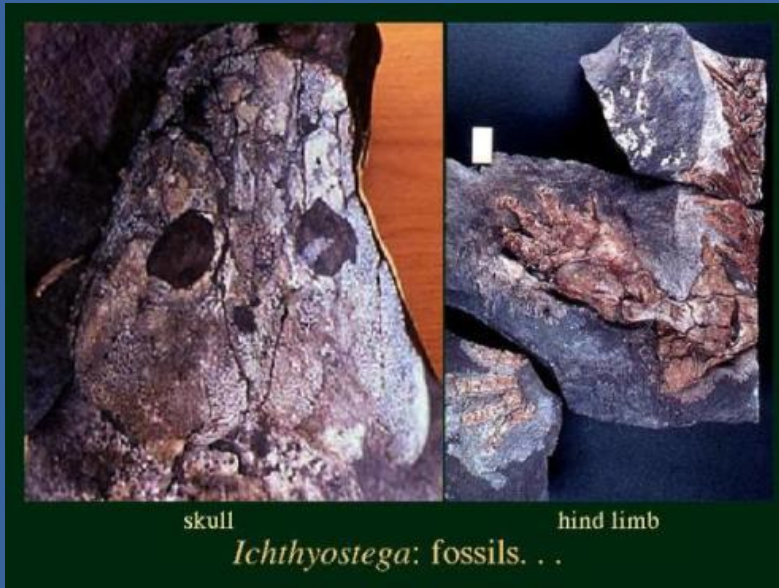
## Idea 2. Había un gap entre los crosopterigios y el *Ichtiostega*





### *Eusthenopteron*

385 millones de años atrás  
Descubierto en 1881



### *Ichthyostega*

365 millones de años atrás  
Descubierto en 1932



## Peces pulmonados actuales

Foto tomada en el Scheed  
Aquarium (Chicago)



## Idea 3. Si se qué quiero hallar, es más fácil encontrarlo

### Las tres reglas para saber **dónde buscar**:

1. Rocas con la **antigüedad** correcta
2. Rocas del **tipo** adecuado
3. Rocas expuestas en la **superficie**
4. (Tener los recursos y el entusiasmo)



Neil Shubin, paleontólogo



EON	ERA	PERIODO	EPOCA	PISO/EDAD	Milones Años	CRONOBIOESTRATIGRAFÍA		
CENOZOICO	CUATERNARIO		Holoceno	Actual	0,01			
			Pleistoceno	Superior	0,1			
				Intermedio	0,8			
	NEOGENO		Plioceno	Zancloense	1,4			
				Piacentense	3,6			
			Mioceno	Zancloense	5,3			
				Tortonense	7,2			
				Sarmatense	14,6			
			PALEOGENO		Paleoceno		Sarmatense	16
							Ypresiense	20
MESOZOICO	CRETACICO		Superior	Chetaniense	23			
				Barroisenso	28			
				Irabruense	34			
	JURASICO		Medio	Barroisenso	37			
				Barroisenso	40			
	TRIASICO		Inferior	Ypresiense	47			
				Thalysense	56			
				Sarmatense	58			
	PERMICO		Superior	Sarmatense	66			
				Maadriachense	71			
PALEOZOICO	DEVONICO		Superior	Campanense	84			
				Sarmatense	86			
				Coniacense	87			
	SILURICO		Medio	Turonense	94			
				Campanense	94			
	ORDOVICICO		Inferior	Albiense	100			
				Apilense	112			
	CARBONIFERO		Superior	Apilense	112			
				Sarmatense	130			
	TRIASICO		Medio	Waldenbergense	134			
Barroisenso				140				
PERMICO		Inferior	Malm	146				
			Triasico	151				
DEVONICO		Superior	Kanavaldense	156				
			Udrakense	161				
SILURICO		Medio	Dogger	165				
			Barroisenso	165				
ORDOVICICO		Inferior	Barroisenso	165				
			Barroisenso	176				
PERMICO		Superior	Lias	176				
			Barroisenso	190				
DEVONICO		Medio	Inferior	197				
			Barroisenso	200				
SILURICO		Superior	Keuper	200				
			Keuper	203				
ORDOVICICO		Inferior	Morvenense	217				
			Castriense	228				
PERMICO		Superior	Medio	228				
			Keuper	232				
DEVONICO		Inferior	Keuper	232				
			Keuper	245				
SILURICO		Superior	Keuper	245				
			Keuper	250				
PERMICO		Inferior	Superior	250				
			Keuper	260				
DEVONICO		Medio	Inferior	260				
			Keuper	270				
SILURICO		Superior	Silésico	270				
			Keuper	299				
PERMICO		Inferior	Dufrenoyense	305				
			Waldenbergense	315				
DEVONICO		Superior	Namurense	315				
			Waldenbergense	328				
SILURICO		Medio	Waldenbergense	328				
			Waldenbergense	345				
PERMICO		Superior	Waldenbergense	345				
			Waldenbergense	359				
DEVONICO		Inferior	Waldenbergense	359				
			Waldenbergense	374				
SILURICO		Superior	Waldenbergense	374				
			Waldenbergense	385				
PERMICO		Inferior	Waldenbergense	385				
			Waldenbergense	392				
DEVONICO		Medio	Waldenbergense	392				
			Waldenbergense	407				
SILURICO		Superior	Waldenbergense	407				
			Waldenbergense	397				
PERMICO		Inferior	Waldenbergense	397				
			Waldenbergense	411				
DEVONICO		Superior	Waldenbergense	411				
			Waldenbergense	416				
SILURICO		Medio	Pridoli	416				
			Waldenbergense	419				
PERMICO		Inferior	Luzlod	419				
			Waldenbergense	423				
DEVONICO		Superior	Waldenbergense	423				
			Waldenbergense	428				
SILURICO		Medio	Waldenbergense	428				
			Waldenbergense	436				
PERMICO		Superior	Waldenbergense	436				
			Waldenbergense	436				
DEVONICO		Medio	Llandoverly	436				
			Waldenbergense	444				
SILURICO		Superior	Waldenbergense	444				
			Waldenbergense	446				
PERMICO		Inferior	Waldenbergense	446				
			Waldenbergense	456				
DEVONICO		Superior	Waldenbergense	456				
			Waldenbergense	461				
SILURICO		Medio	Waldenbergense	461				
			Waldenbergense	468				
PERMICO		Superior	Waldenbergense	468				
			Waldenbergense	472				
DEVONICO		Medio	Waldenbergense	472				
			Waldenbergense	479				
SILURICO		Superior	Waldenbergense	479				
			Waldenbergense	488				
PERMICO		Inferior	Waldenbergense	488				
			Waldenbergense	499				
DEVONICO		Superior	Waldenbergense	499				
			Waldenbergense	515				
SILURICO		Medio	Waldenbergense	515				
			Waldenbergense	521				
PERMICO		Inferior	Waldenbergense	521				
			Waldenbergense	528				
DEVONICO		Superior	Waldenbergense	528				
			Waldenbergense	542				
SILURICO		Medio	Waldenbergense	542				
			Waldenbergense	635				
PERMICO		Inferior	Waldenbergense	635				
			Waldenbergense	650				
DEVONICO		Superior	Waldenbergense	650				
			Waldenbergense	1000				

## LAS ROCAS DE LA CORTEZA TERRESTRE

### LAS ROCAS MAGMÁTICAS

Son rocas muy duras que se forman cuando el magma se enfría y se solidifica (pasa de estado líquido a estado sólido).

**BASALTO**

**PUMITA**

Se forman cuando se enfría la lava de los volcanes.

### LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Se forman a partir de restos de otras rocas o a partir de restos de otros seres vivos.

**CONGLOMERADO**

**ARENISCA**

**ARCILLA**

Se forman cuando los fragmentos de otras rocas se depositan en un determinado lugar en forma de **sedimentos** durante miles y miles de años.

### LAS ROCAS METAMÓRFICAS

Se crean a partir de otras rocas debido a que aumenta la presión o aumenta la temperatura (pero sin que las rocas lleguen a fundirse).

**MÁRMOL**

**PIZARRA**

Se forma a partir de **CALIZA**

Se forma a partir de **ARCILLA**

### GRANITO

Se forman al enfriarse el magma lentamente en las profundidades de la corteza terrestre.

**GRANITO**

### Carbón y Petróleo

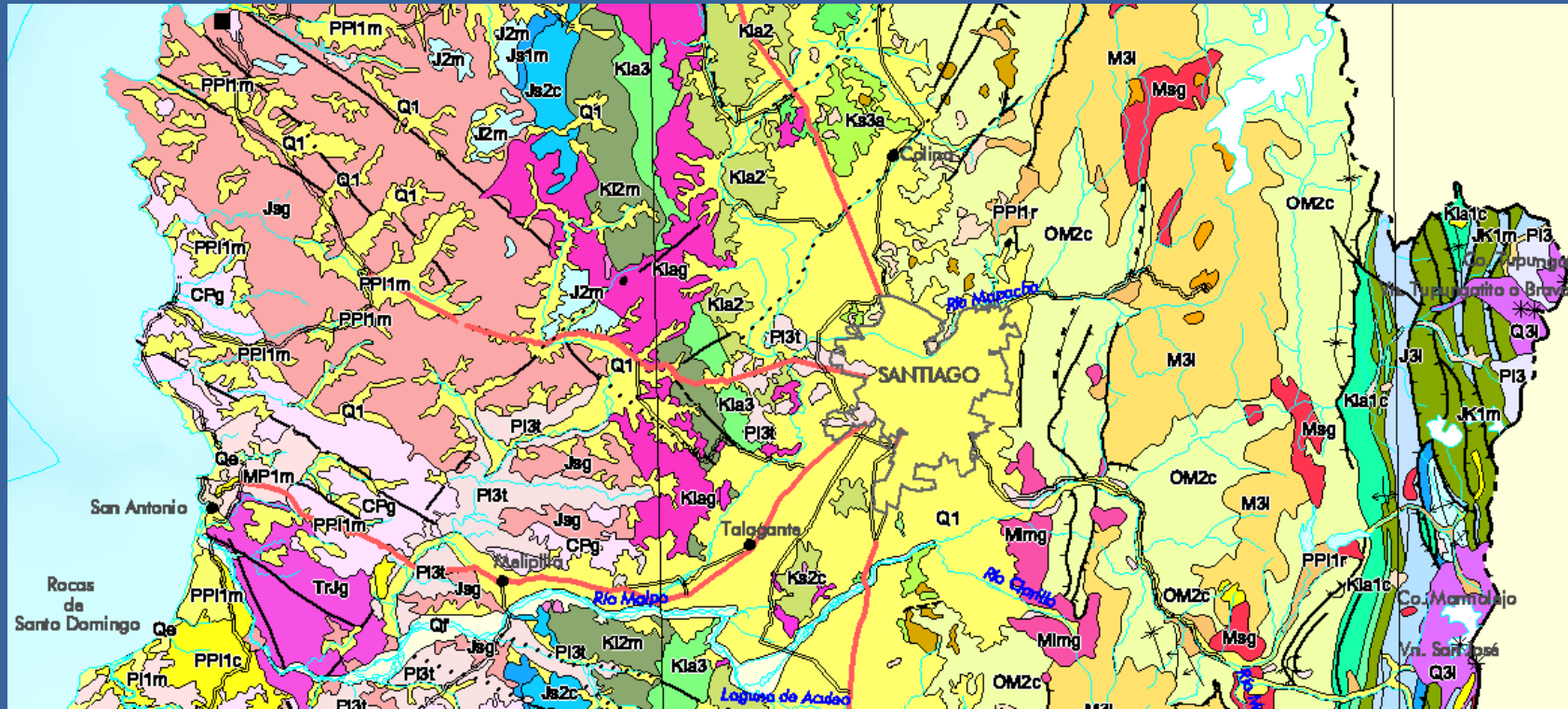
también son rocas sedimentarias

**Carbón y Petróleo**

### CALIZA CON FÓSILES

Se forman al enfriarse el magma lentamente en las profundidades de la corteza terrestre.

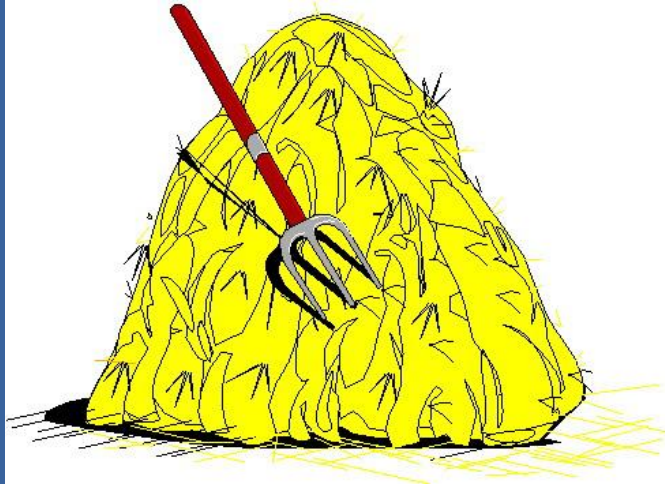
**CALIZA CON FÓSILES**







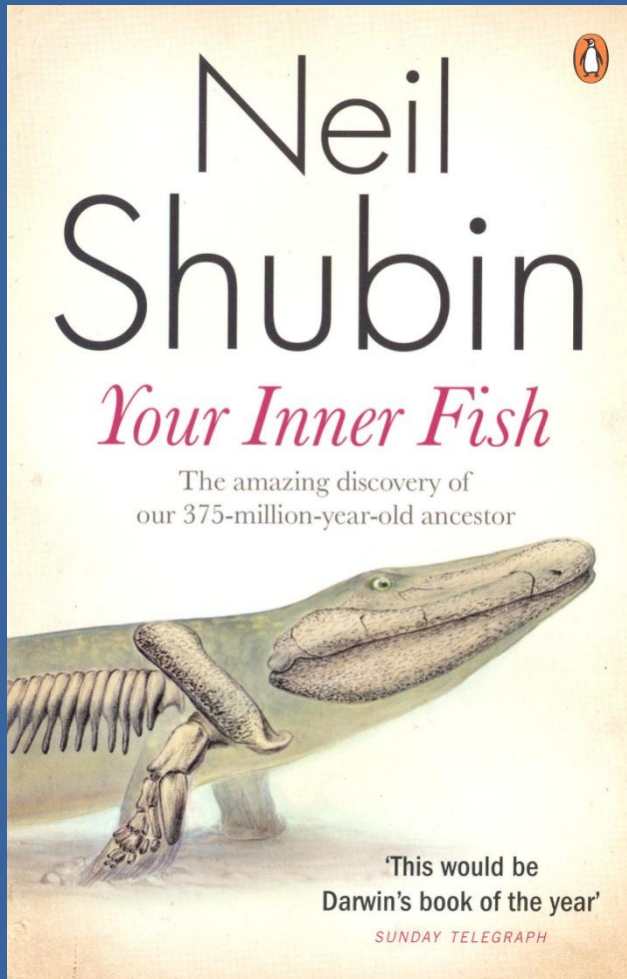
Norte de Canadá, Círculo polar ártico, durante el verano



[desmotivaciones.es](http://desmotivaciones.es)

# Buscar una aguja en un pajar

Nivel: Chuck Norris

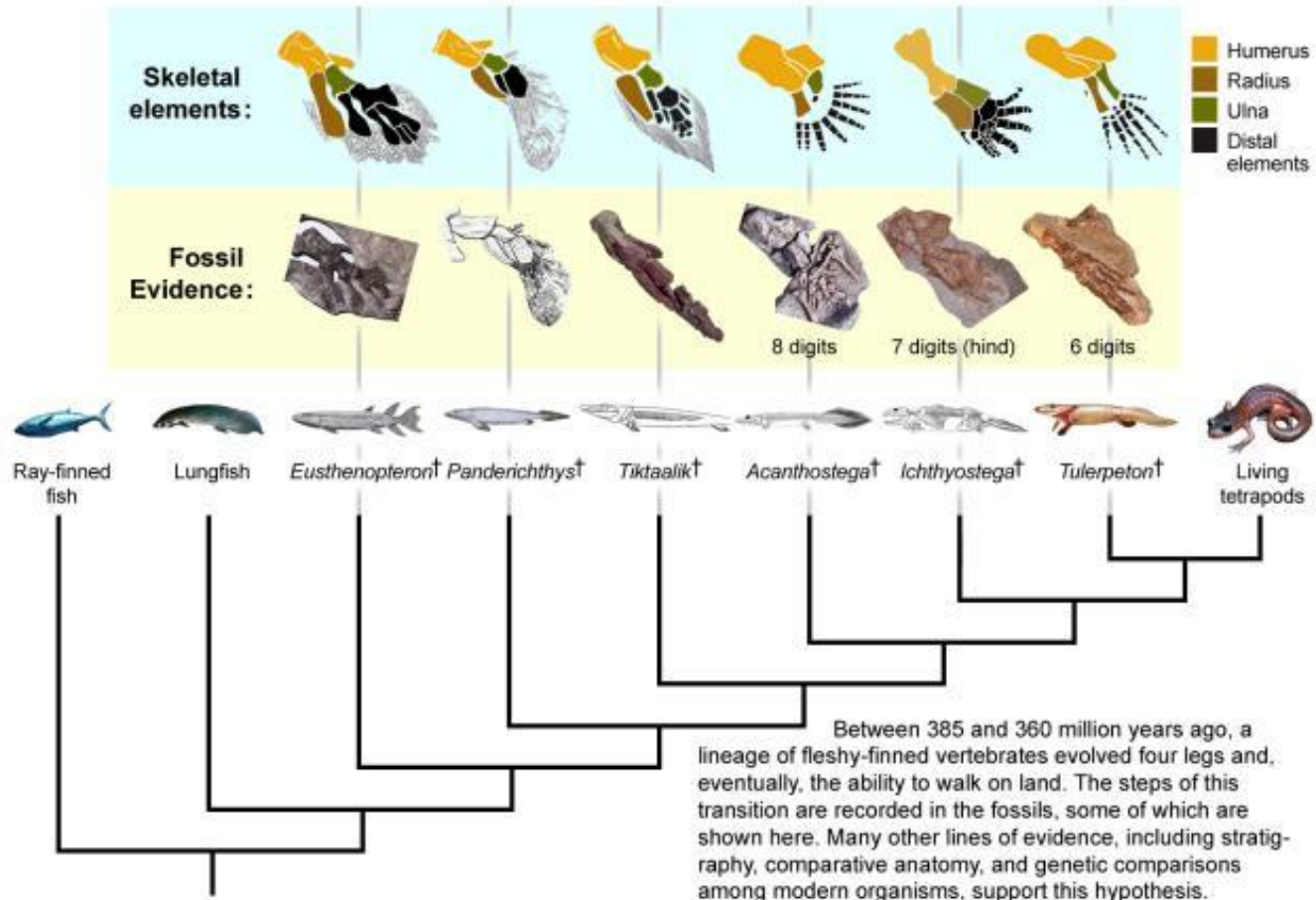


¿Cómo lo hizo?



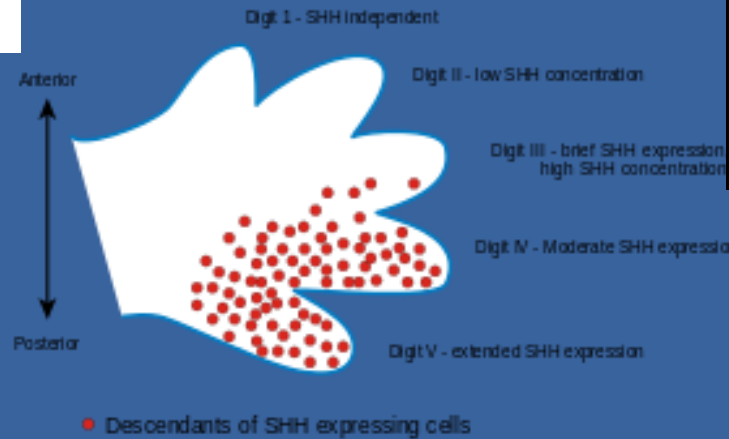
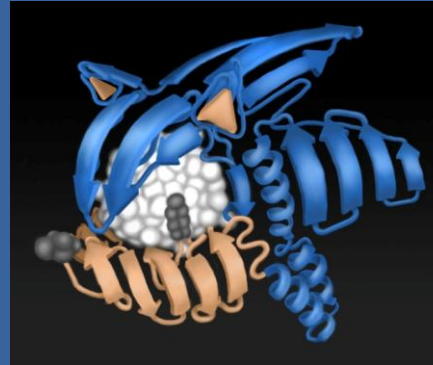


### Evidence of Macroevolution—The Origin of Tetrapods





## Idea 4. Hay evidencias de la transición, que no son fósiles

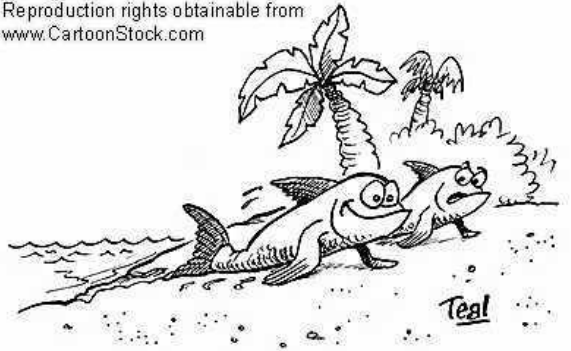


Proteína sonic hedgehog

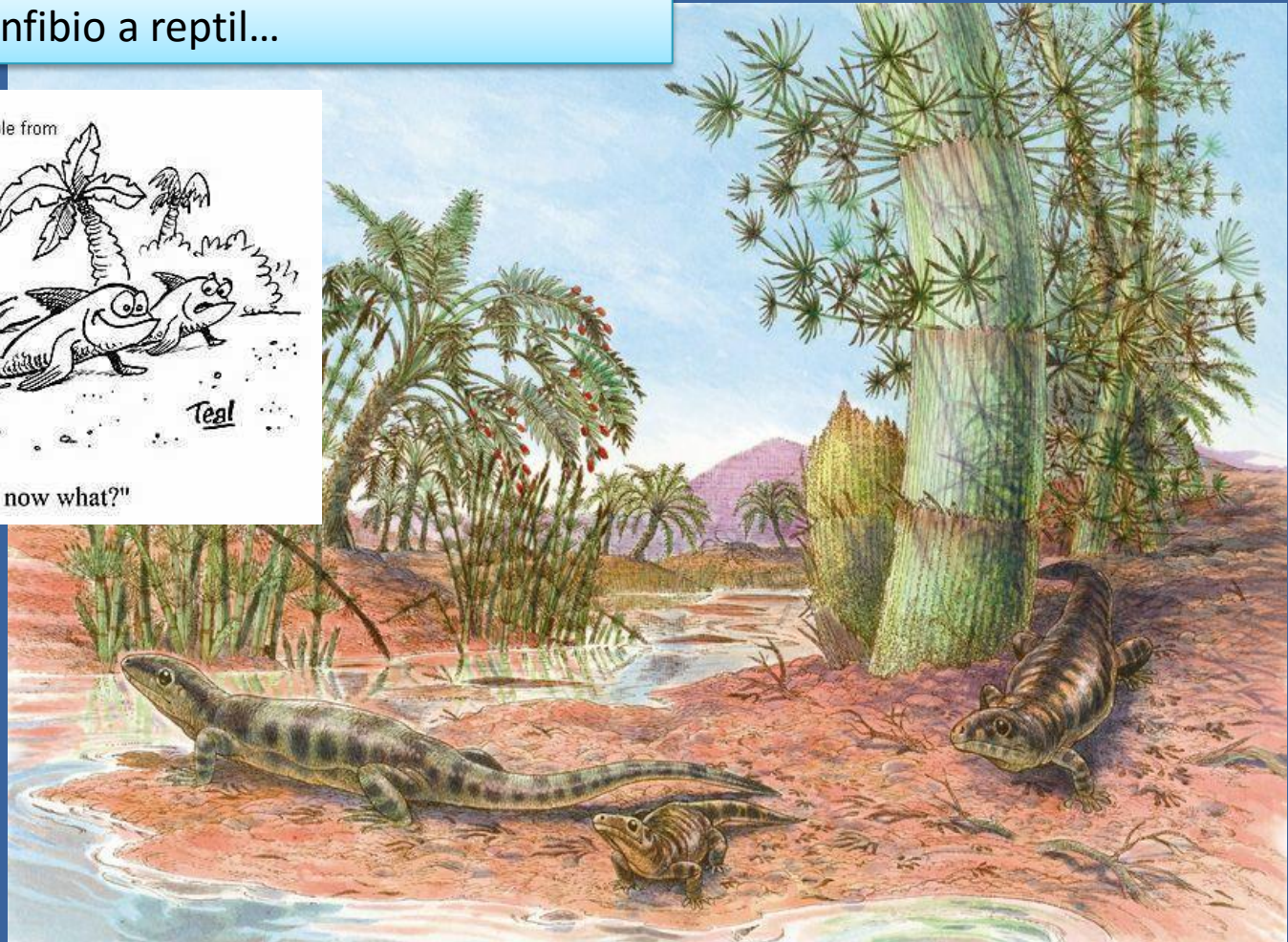


## Transición anfibio a reptil...

© Original Artist  
Reproduction rights obtainable from  
[www.CartoonStock.com](http://www.CartoonStock.com)

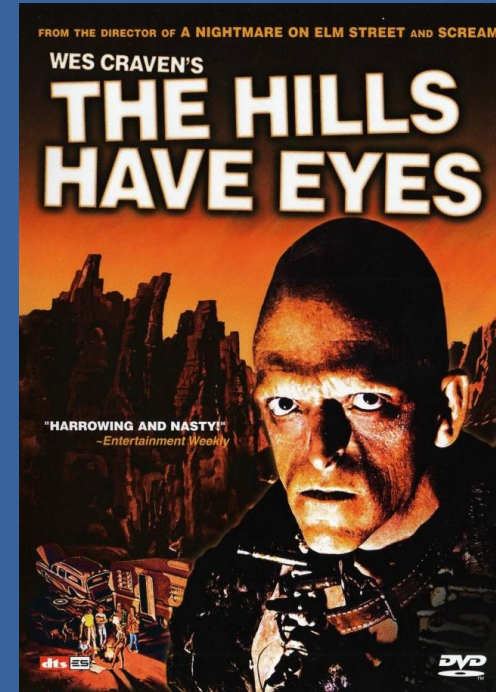
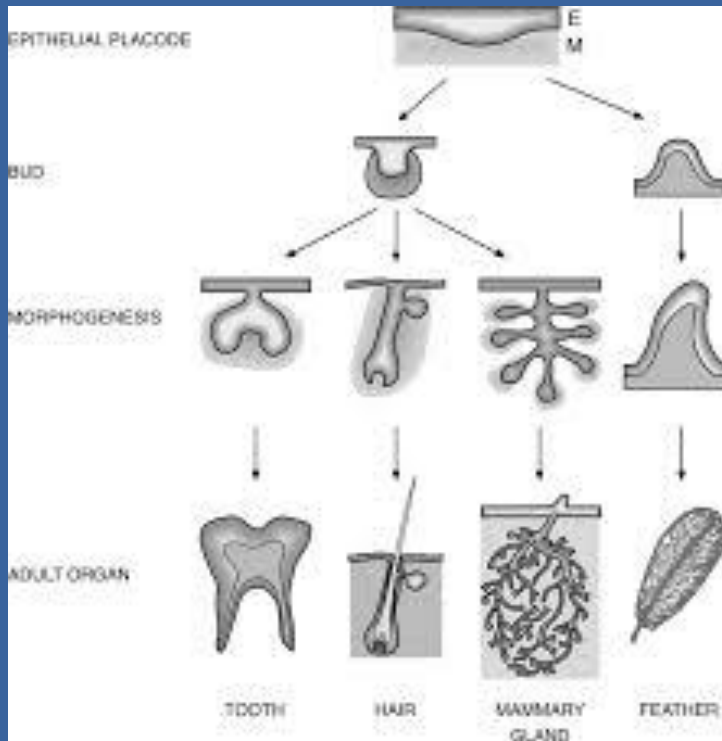


"Ok, now what?"





## Gen Ectodisplasia A (EDA): piel y sus diferenciaciones



Alteraciones en el gen EDA impiden formación de dientes, pelo, uñas y glándulas sudoríparas

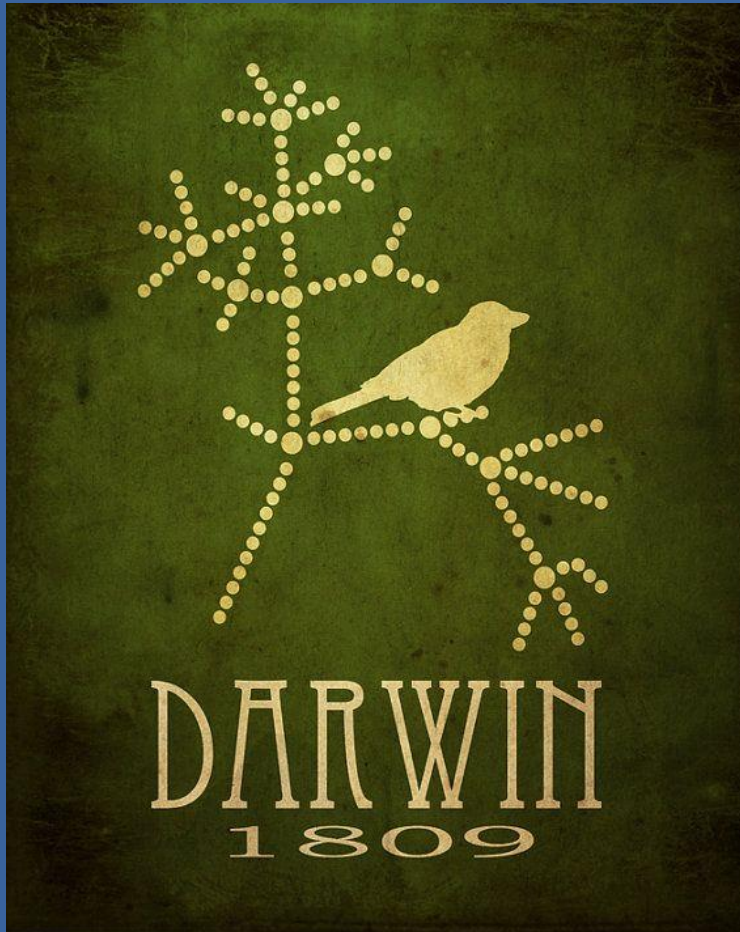


## ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?

1. El conocimiento sobre la transición de peces a anfibios depende de la evidencia fósil
2. Existen peces actuales que demuestran la transición de peces hacia anfibios
3. El ser humano moderno posee rasgos de mamíferos extintos. Si se quisiera hallar rasgos de peces extintos, sería necesario buscar en peces modernos
4. El *Ichtiostega* es el vertebrado fósil que ha resultado clave para comprender la transición entre peces y anfibios
5. Un paleontólogo no puede decidir dónde hallar el fósil que busca

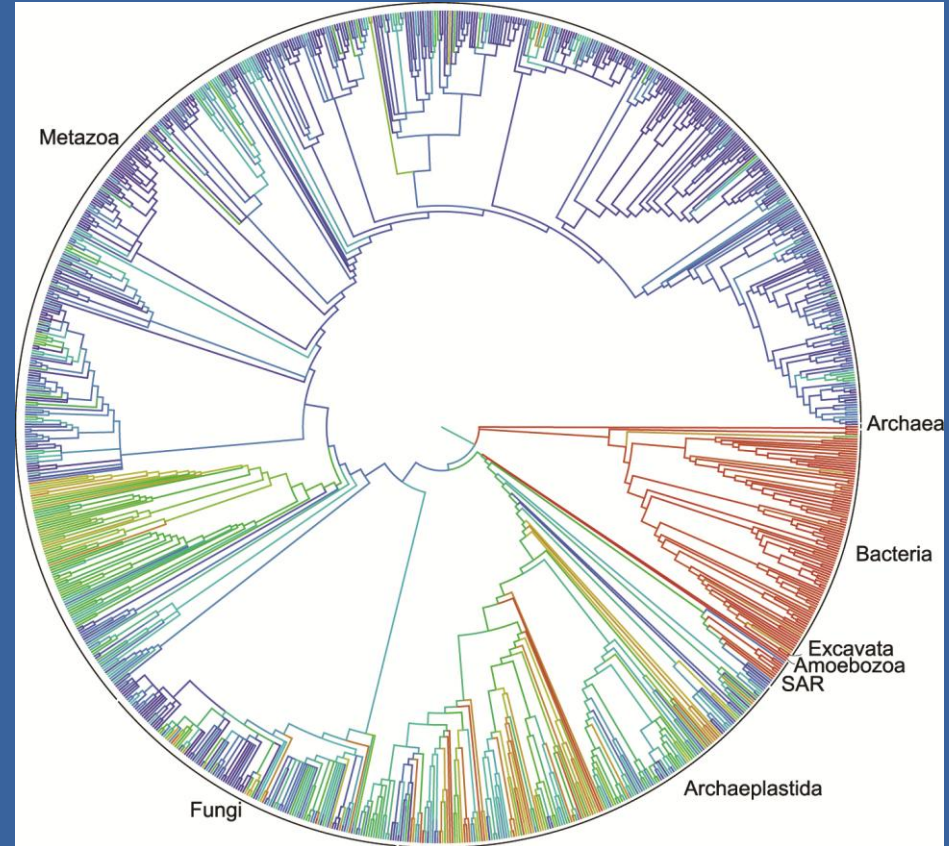
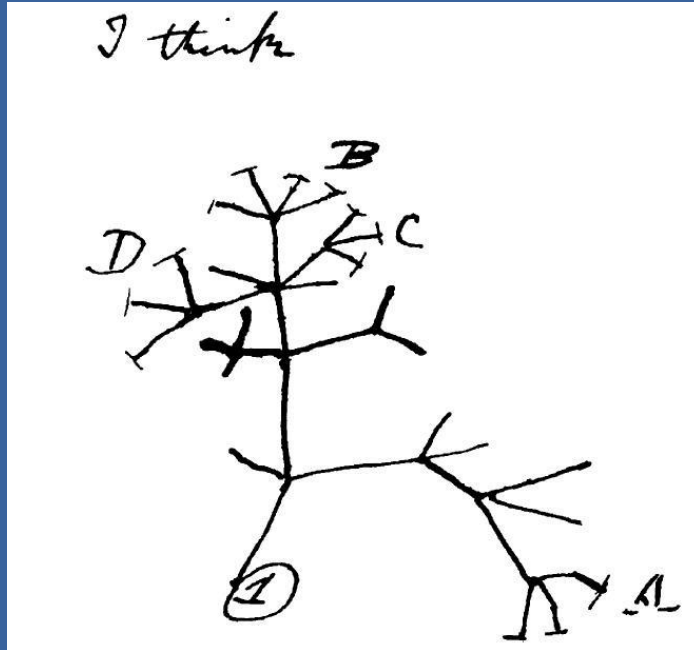






Vuelve a mirar a los  
dinosaurios:

El origen de las **aves**





10 157 especies vivas

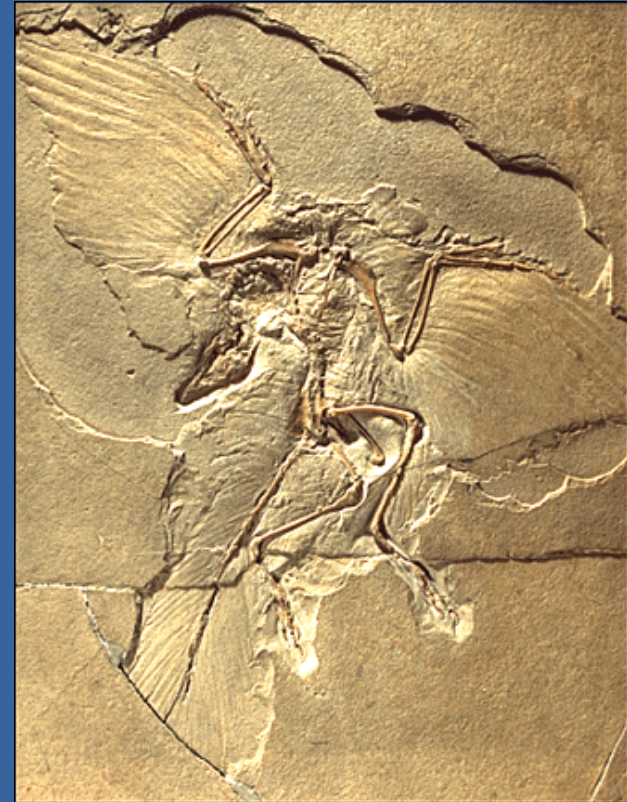




## Idea 1. Archaeopteryx tiene características mixtas entre un ave y un dinosaurio



Alemania, 1861



Alemania, 1877



## PTERANODON

Pteranodon was a flying reptile that lived 75 million to 85 million years ago during the Upper Cretaceous period.


**Pteranodon** means "winged and toothless."

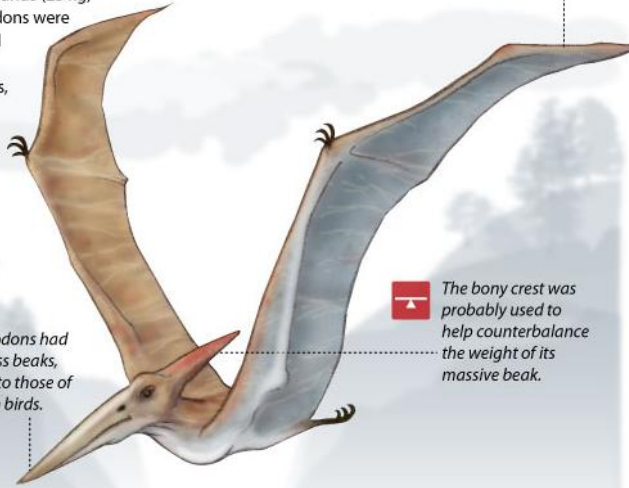
**Wingspan:** 18 feet (5.6 meters)


**Height:** 6 ft (1.8 m) at the hips


**Weight:** 55 pounds (25 kg)

**Diet:** Pteranodons were carnivores and fed on fish, mollusks, crabs, insects, and carcasses of dinosaurs and other animals.

 Pteranodons had toothless beaks, similar to those of modern birds.



 The wing shape suggests that it would have flown like a modern-day albatross.

 The bony crest was probably used to help counterbalance the weight of its massive beak.

## ARCHAEOPTERYX

Archaeopteryx lived around 151 million to 149 million years ago — during the late stage of the Jurassic era.

**Archaeopteryx** means "ancient wing"


**Length:** Up to 20 inches (50 centimeters)


**Weight:** 1.8 to 2.2 lbs. (0.8 to 1 kilogram)

**Diet:** Feasted on lizards, frogs, beetles, dragonflies and mites

 It had jaws with sharp teeth, three fingers with claws, a long bony tail and hyperextensible second toes known as "killing claws."



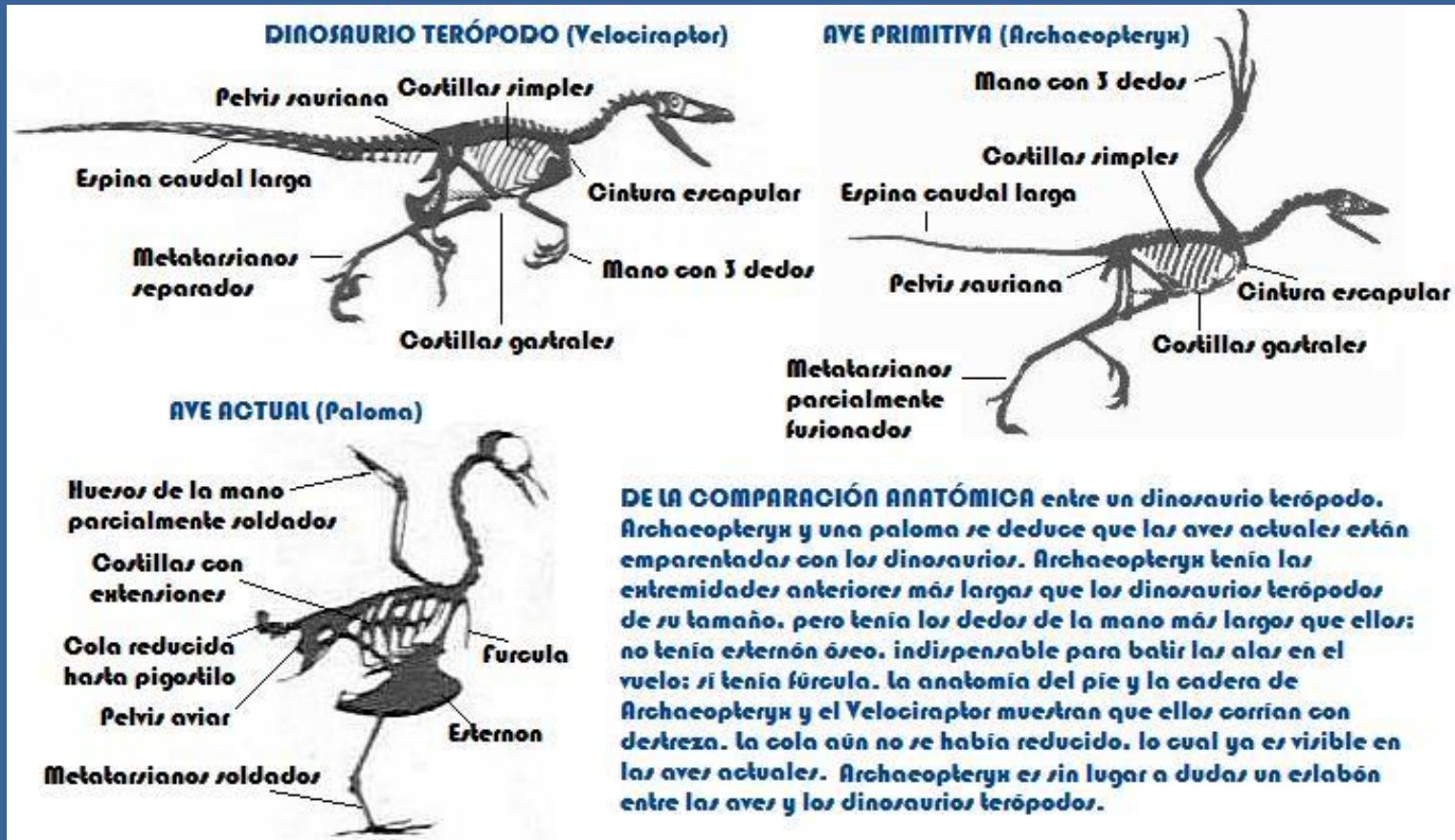
 Archaeopteryx was most notable for its well-developed asymmetrical flight feathers.

 It was believed that Archaeopteryx did not spend time in trees.

Idea 2. Archaeopteryx proviene de un grupo diferente a los Pteranodontes























## Idea 3. El grupo de dinosaurios más afín al Archaeopteryx se pudo descubrir mediante evidencias anatómicas y conductuales





## Idea 4. Existen hipótesis bastante convergentes respecto al enigma de las plumas: ¿Para qué tenerlas si no es para volar?

 <p><b>ANCHIORNIS</b> (hace 155 ma) "casi ave" 34 cm de largo aviano más pequeño conocido</p>	 <p><b>AVIMIMUS</b> (hace 75 ma) 1.5 mt de largo Cubierto de plumas "imitador de aves" oviraptorosaurio</p>	 <p><b>BEIPIAOSAURUS</b> (hace 125 ma) "reptil de Beipiao" 2 mt de largo Es el dinosaurio con plumas más grande</p>	 <p><b>CAUDIPTERYX</b> (hace 125 ma) cola emplumada 1 mt de largo Presenta características de las aves modernas, como la simetría de sus plumas</p>	 <p><b>CRYPTOVOLANS</b> (hace 120 ma) "volador oculto" plumas asimétricas</p>
 <p><b>DILONG</b> (hace 135 ma) "dragón emperador" 1.6 mt de largo Con plumas cerca a la mandíbula y cola</p>	 <p><b>EPIDEXIPTERYX</b> (hace 120 ma) cola de 4 plumas cuerpo con plumas simples</p>	 <p><b>JINFENGOPTERYX</b> (hace 130 ma) "fénix dorado" 50 cm de largo Primer troodontido con plumas</p>	 <p><b>MICRORAPTOR</b> (hace 128 ma) "pequeño rapaz" 80 cm largo Dinosaurio con 4 alas, es muy posible</p>	 <p><b>NOMINGIA</b> (hace 80 ma) 1.8 mt de largo 45 kg con plumas cola como abanico</p>
 <p><b>PEDOPENNA</b> (hace 160 ma) "pie de pluma" 1.8 mt de largo Su aparato esquelético es muy parecido al de las</p>	 <p><b>PROTARCAEOPTERYX</b> (hace 124 ma) "primera ala antigua" plumas en la cola y extremidades anteriores</p>	 <p><b>RAHONAVIS</b> (hace 70 ma) "amazona de las nubes" 40 cm largo Su esqueleto y presencia de plumas complejas podría evidenciar que podía volar</p>	 <p><b>SCANSORIOPTERYX</b> (hace 120 ma) "ala trepadora" 18 cm de largo se adaptó a la vida en árboles</p>	 <p><b>SHUVUUIA</b> (hace 80 ma) "pajaro" cubierto de plumas pequeñas</p>
 <p><b>SINOCALIOPTERYX</b> (hace 155 ma) "plumas hermosas chinas" con plumas simples en el cuerpo</p>	 <p><b>SINORNITHOSAURUS</b> (hace 130 ma) "ave reptil chino" 1.90 mt de largo 85 kg de peso cubierto de plumas, siendo más notorias en las extremidades</p>	 <p><b>SINOSAUROPTERYX</b> (hace 120 ma) "lagarto chino con plumas" 60 cm largo Cubierto de una</p>	 <p><b>VELOCIRAPTOR</b> (hace 70 ma) "ladrón veloz" 1.8 mt de largo Además de contar con un plumón como protector, también tenía plumas complejas</p>	 <p><b>YIXIANOSAURUS</b> (hace 125 ma) "lagarto de yixian" 60 cm largo Cubierto de plumas complejas</p>







# Julia Clarke

Associate Professor and John A. Wilson Centennial Fellow in Vertebrate Paleontology  
Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin

## About Julia



**Julia Clarke** is an associate professor of Geological Sciences in the Jackson School of Geosciences at The University of Texas at Austin. She is also a John A. Wilson Centennial Fellow in Vertebrate Paleontology and a member of the Graduate Faculty in Ecology, Evolution, and Environmental Biology.

She has a Ph.D. from the Department of Geophysics at Yale University and a M.S. in geology (and geobiology) from Brown University. She is co-editor-in-chief of the *Journal of Paleontology* and editor of *Paleobiology*. She has published numerous papers, including 9 in *Nature* or *Science*, and is recognized for excellence in research and outreach.

[www.juliaclarke-paleolab.com](http://www.juliaclarke-paleolab.com)

### PALEONTOLOGY

## Feathers Before Flight

Julia Clarke

**F**eathers are branched structures consisting of  $\beta$ -keratin—a rigid protein material formed by pleated  $\beta$  sheets—with a hollow central shaft. They are strikingly different from other forms of vertebrate integument such as scales, skin, and hair. Until recently, evolutionary hypotheses envisioned their origin through elongation of broad, flat scales driven by selection for aerial locomotion such as gliding or flapping flight. Over the course of the past two decades, fossil discoveries, especially from northeast China, have revealed that the early precursors of feathers were filament-like rather than expanded scales and that branched pinnate feathers of modern aspect predate the origin of active flight. The revolution in our understanding of feather evolution continues, driven by rapid fossil discoveries and by new information from the study of extant birds.

One of the most transformative ideas to affect understanding of living birds has been the recognition of their perch within the tree of life on branches crowded with their extinct

dinosaurian cousins. This insight came first from comparisons of bones, the most commonly preserved part of a fossil vertebrate. Fossilized soft tissues are only preserved in a few exceptional places (Lagerstätten). The Chinese deposits provide one such unique snapshot, where over a thousand specimens with fine details of soft tissues such as feathers, hair, and skin are preserved in ash-rich lake deposits ranging from the Late Jurassic (~150 million years ago) to the Early Cretaceous (~120 million years ago). Fossils from these deposits have revealed that dinosaurs that were inferred from bone characteristics to be closely related to living birds also share more features of feather structure.

The closest theropod dinosaur relatives of birds have pinnate feathers; more distantly related theropods have simple filaments or bunches of filaments of varying lengths and diameters (1, 2). The latter forms do not fit the hypothesis of flat scales morphing directly into flat feathers. But these hollow filaments or “protofeathers” are similar to structures seen early in feather development; a simple

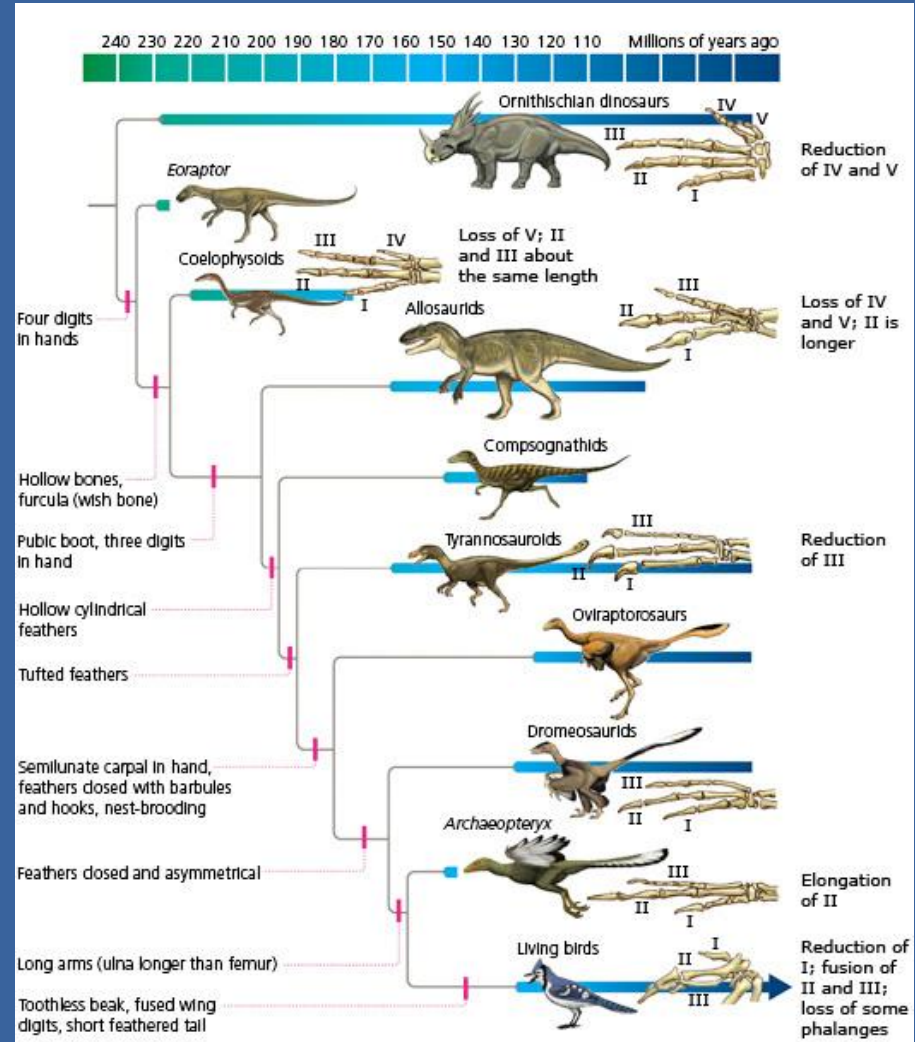
Fossil data indicate that feathers and their precursors may have evolved over a much longer span than previously thought.

opment of its branching shape, form (3). Fossil data indicated dramatic shifts from scale to filament, to bunches of filaments, to branched feathers in theropod dinosaurs. In the lineage of dinosaurs including birds, *Tyrannosaurus rex*, and many small raptors, filament- and feather-bearing species were common.

The more recent discoveries of a basal ornithischian dinosaur with a filamentous body covering, and another ornithischian more closely related to *Triceratops* with a bristle-covered tail, force reconsideration of the timing of this transition. These fossils indicate that filamentous structures may be ancestral to dinosaurs (4). Filaments called pycnofibers also covered some pterosaurs (5). Ornithischian dinosaurs, sauropod dinosaurs, and pterosaurs are on evolutionary branches that split from that of theropod dinosaurs and birds about 230 million years ago in the Triassic. If these structures have the same evolutionary origin, a form of filamentous integumentary structure evolved from scales nearly 100 million years before the locomotor transition that we call the origin of birds (see the



Idea 5. Tal como en otras transiciones, la evolución de las aves no ha sido lineal

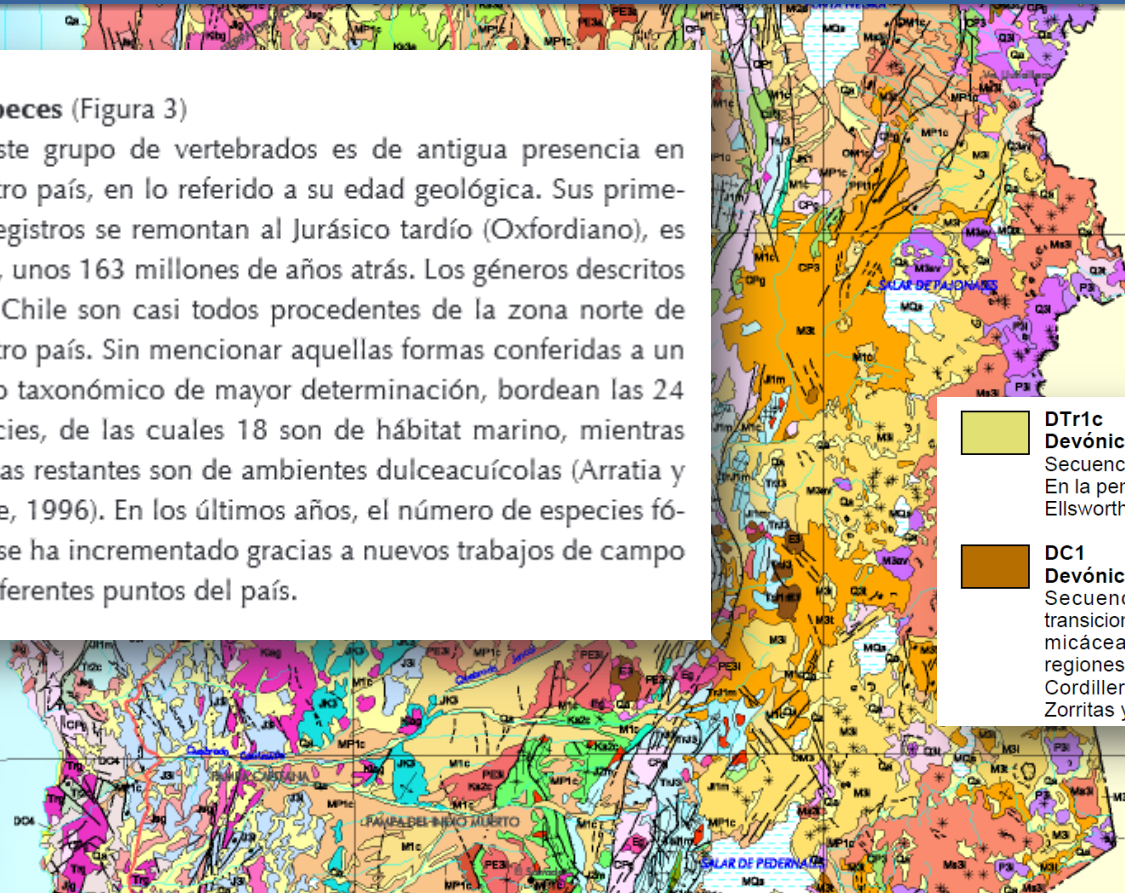




## Taller “Aplicando las tres leyes de la búsqueda de fósiles”

### Los peces (Figura 3)

Este grupo de vertebrados es de antigua presencia en nuestro país, en lo referido a su edad geológica. Sus primeros registros se remontan al Jurásico tardío (Oxfordiano), es decir, unos 163 millones de años atrás. Los géneros descritos para Chile son casi todos procedentes de la zona norte de nuestro país. Sin mencionar aquellas formas conferidas a un grupo taxonómico de mayor determinación, bordean las 24 especies, de las cuales 18 son de hábitat marino, mientras que las restantes son de ambientes dulceacuícolas (Arratia y Cione, 1996). En los últimos años, el número de especies fósiles se ha incrementado gracias a nuevos trabajos de campo en diferentes puntos del país.



- DTr1c**  
**Devónico-Triásico**  
Secuencias sedimentarias continentales: areniscas. En la península Antártica: areniscas de las montañas Ellsworth y Pensacola.
- DC1**  
**Devónico-Carbonífero**  
Secuencias sedimentarias marinas, en parte transicionales: areniscas cuarzo-feldespáticas, lutitas micáceas, conglomerados. En la Precordillera, regiones II a III: formaciones Lila y Chinchas; en la Cordillera Principal, regiones II y IV: formaciones Zorritas y Hurtado.

Earth Viewer - Mozilla Firefox

media.hhmi.org/biointeractive/earthviewer\_web/earthviewer.html

EON ERA PERIOD MYA PHANEROZOIC | CENOZOIC | QUATERNARY

hhmi BioInteractive

Warming Earth

Ice Age Earth

Paleo Earth

TIME = 0 MYA

Day length 24.0 hours

ATMOSPHERE

O<sub>2</sub> 21.0 %

CO<sub>2</sub> 392 ppm

Neogene

Paleogene

Mesozoic

Cretaceous

Jurassic

Triassic

Paleozoic

Permian

Carboniferous

Devonian

Silurian

Ordovician

Cambrian

0

100

200

300

400

500

Calgary

Chicago

Los Angeles

London

New York

Washington DC

Hong Kong

Bogota

Lima

Rio de Janeiro

Paris

Sao Paulo

Buenos Aires

0

100

200

300

400

500

(0-750 Mya) Plate Tectonic and Paleogeographic maps by C.R. Scotese, ©2012, PALEOMAP Project

CHARTS VIEW IN DEPTH TEACHERS INFO

EarthViewer



## Taller “Aplicando las tres leyes de la búsqueda de fósiles”

1. Familiarizarse con la nomenclatura de un mapa geológico
2. Ubicar las rocas de la edad correcta para peces transicionales
3. Ubicar rocas del tipo correcto para fósiles
4. Ubicar un área en que probablemente los fósiles estén disponibles

### Preguntas:

1. ¿Qué dificultades representa la tarea? ¿Cuáles son los márgenes de error?
2. ¿Qué particularidades podría tener un hallazgo de fósiles de este tipo en Chile?