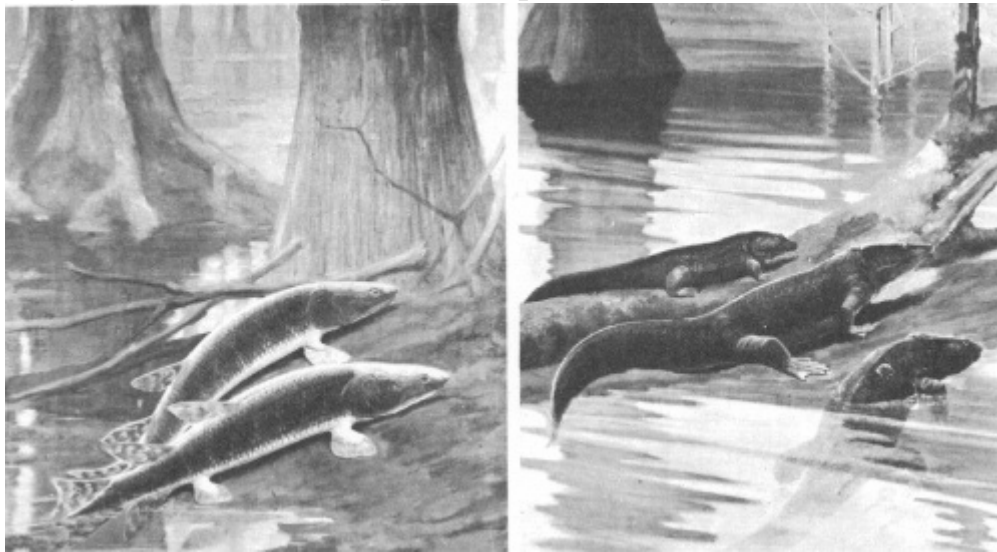


EL SISTEMA NERVIOSO: CLAVE DE LA EVOLUCIÓN

Regionalizar el cerebro para comprender el mecanismo evolutivo



"No son los vestíbulos de mármol los que proporcionan la grandeza intelectual, sino el alma y el cerebro del investigador"

Alexander Fleming

Uno de los pasos evolutivos más importantes en la historia biológica de nuestro planeta fue la conquista del medio terrestre. Aunque este hito ya fue conseguido anteriormente por plantas e insectos, sería la transición de vertebrados acuáticos a terrestres, es decir, de peces a anfibios, la que daría origen a los vertebrados superiores como reptiles, aves y mamíferos.

Sacando la cabeza

Los peces que más tarde darían lugar a los anfibios son los peces óseos (Osteíctios), que se originaron a finales del silúrico (hace aproximadamente 410 millones de años). Estos peces representan el taxón mayor y más diversificado de todos los vertebrados, y en él se incluyen especies por todos

conocidas, como la trucha, el salmón y la mayoría de los peces que consumimos en nuestra dieta. Hacia la mitad del devónico (390 millones de años) los peces óseos ya se habían dividido en dos ramas. Una formada por peces de aletas con radios, en la que se incluyen los ejemplos anteriores, y otra de peces con aletas lobuladas, muy poco representada en la actualidad con tan solo siete especies. El clima del devónico se caracterizaba por temperaturas suaves con épocas alternas de inundaciones y sequías. El ambiente dulciacuático de este período era muy inestable. En los periodos de sequía, las charcas y los riachuelos se secaban paulatinamente convirtiéndose la tierra en barro, por lo que solo los peces que fueron capaces de aprovechar el oxígeno atmosférico sobrevivieron.



Estirando las patas

Aunque todavía no se sabe con certeza si antes o después de desarrollar los pulmones, estos peces de aletas lobuladas modificaron sus extremidades para formar patas con las que desplazarse de una charca a otra y evitar su deshidratación, ya que tanto peces como anfibios un ambiente húmedo para poder vivir.

Estos animales primitivos fueron los primeros Tetrápodos (“cuatro patas”), que aún conservaban características propias de los peces, como las escamas, la línea lateral y un complejo patrón de dientes. Todos estos aspectos se acabaron perdiendo y hace aproximadamente 200 millones de años, en el periodo Jurásico, los anfibios se diferenciaron en los tres grupos actuales: Urodelos (salamandras), Anuros (ranas) y Cecilias (imágenes de principio de página, respectivamente de izquierda a derecha)

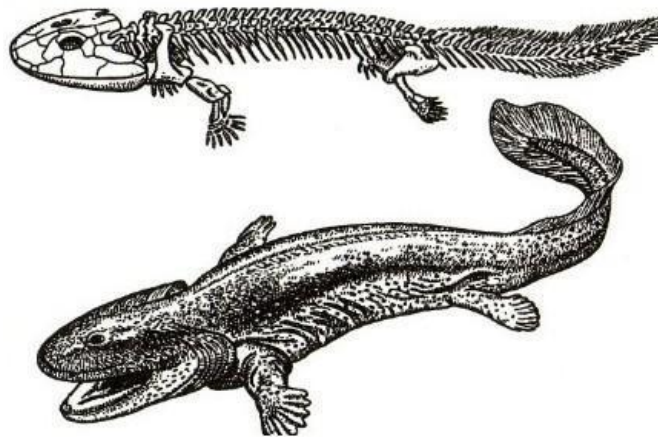
La evolución del sistema nervioso

Como consecuencia de todas estas adaptaciones al medio terrestre, el sistema nervioso tanto de los primeros tetrápodos como de los anfibios actuales necesariamente tuvo que sufrir una serie de modificaciones estructurales y funcionales.

¿En qué piensan los Anfibios?

El encéfalo de los anfibios está dividido en tres regiones fundamentales: el encéfalo anterior, que está relacionado con el olfato; el encéfalo medio, relacionado con el sentido de la vista y el encéfalo posterior, dedicado a controlar la audición y el equilibrio. Son estas tres regiones las que han sufrido las principales modificaciones para que los anfibios pudieran adaptarse al medio terrestre. Este cambio se produjo en forma de una localización más concentrada de los órganos sensoriales

en la cabeza (cefalización) para poder procesar más eficazmente la información del nuevo entorno terrestre. Esto supuso un reducción en la importancia de los



El Acanthostega, uno de los primeros Tetrápodos

comportamientos reflejos que antes dominaban el modo de vida de los animales. Sin embargo una rana sin cabeza todavía sería capaz de mantener el equilibrio...

Aunque se conozcan bien las morfologías de los sistemas nerviosos de peces, anfibios y vertebrados en general, así como sus diferencias y similitudes a grandes rasgos, lo que aún falta por descubrir son los procesos evolutivos que dieron lugar a estos cambios, y como estos sistemas tan complicados fueron rehaciéndose poco a poco.

Investigación *made in Spain*

Es en este punto en el que entra en juego el trabajo de investigación del departamento de Biología Celular de la Facultad de Biología de la UCM. Uno de sus grupos, dirigido por Agustín González Gallegos y del que forma parte Jesús M^a López Redondo, quien amablemente nos explicó sus líneas de investigación, que estudian el desarrollo filogénico y ontogénico del sistema nervioso

central de los vertebrados. Este grupo, el más relevante a nivel mundial en el estudio del sistema nervioso de anfibios, ha publicado ya múltiples artículos sobre el tema y trabaja actualmente en colaboración con otros grupos de gran importancia y con eminencias de la biología de vertebrados, como el doctor Glenn Northcutt, de la Universidad de California en Estados Unidos.

Sudando la bata: el duro trabajo de laboratorio

Los trabajos más recientes de este grupo tratan del estudio del encéfalo de anfibios, más concretamente Urodelos, y de los peces pulmonados. Con los resultados obtenidos se espera esclarecer la relación evolutiva del sistema nervioso central de estos dos grupos tan importantes en la historia filogenética de nuestra especie.

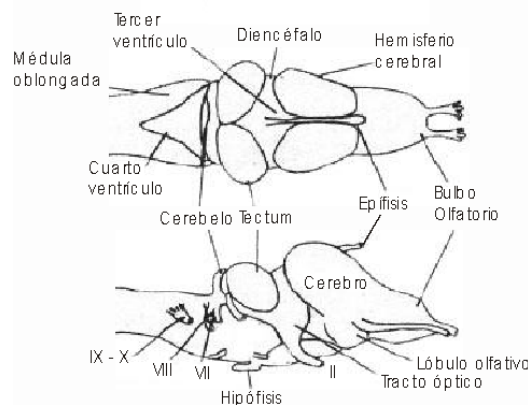
Para la investigación con Urodelos utilizan fundamentalmente tres especies que sirven como modelos para este tipo de anfibios. La más usada, por ser la más habitual en la Península Ibérica es *Pleurodeles waltl* (comúnmente conocido como gallipato). Las otras dos son más difíciles de conseguir, se trata de *Ambystoma tigrinum* (salamandra tigre) y *Ambystoma mexicanum* (el ajolote).

La preparación de los animales para su estudio sigue unos determinados pasos. Primero se anestesia por completo al ejemplar para evitar que sufra cualquier tipo de sufrimiento; a continuación, utilizando una bomba de perfusión se introduce por su sistema cardiovascular una mezcla fijadora con un objetivo doble:

extraer la sangre del animal y fijar sus tejidos para su conservación.

Seguidamente se extrae el cerebro del cráneo y después de incluirlo en un bloque de cera (parafina) se corta con un microtomo, un aparato tan preciso que nos permite obtener de 250 a 400 cortes del cerebro.

En los estudios neuroanatómicos se emplean técnicas para la localización de células productoras de hormonas (sustancias químicas de comunicación celular) ya que cada región, y



Esquema del encéfalo de un anfibio

dependiendo de su función, produce un determinado tipo de hormona. Para situar estas células se usan componentes químicos que se unen de forma específica a cada tipo de hormona.

Después se añade un segundo componente capaz de emitir luz fluorescente que se une, también de manera específica, al primero. Estos dos componentes o antígenos son de origen animal.

Los cortes del encéfalo se tratan con esta técnica (conocida como ELISA, de sus siglas en inglés *Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*, ensayo inmunoabsorbente ligado a enzima) y se espera dos días a que se produzcan las reacciones de asociación. Una vez transcurrido este periodo los cortes se observan al microscopio y se toman fotografías. En ellas se observa cómo el componente fluorescente ha coloreado las células productoras de la hormona que se busca. Es a partir de estas imágenes de las cuales el grupo de investigación extrae sus conclusiones. Si se observan grandes acúmulos de células coloreadas, se interpretan como áreas encefálicas con una función determinada. Así mediante el estudio de diferentes hormonas se podrá regionalizar la totalidad del encéfalo. Esta misma metodología se utiliza en la investigación con peces pulmonados. Como existen pocas especies su obtención es más complicada debido a la fuerte regulación de captura a la que están sujetas. La especie con la que trabaja este grupo de investigación de la UCM es *Protopterus annectens*, originario de África.

Eureka!

Una vez regionalizados los encéfalos de los dos grupos, se hace un análisis comparativo de las áreas funcionales en cada uno de ellos. Si se encuentran áreas con patrones conservados en los diferentes grupos se hablaría de un carácter primitivo, y por tanto de mayor importancia en la funcionalidad básica del encéfalo de vertebrados. Las áreas que difieren se incluyen como caracteres secundarios surgidos como adaptación específica de uno de los grupos. Esto ocurre, por ejemplo, con los lóbulos ópticos de los anfibios, cuya regionalización cambia con respecto a la de peces pulmonados, debido a que la vista se convierte en un factor determinante en la adaptación al medio terrestre.

Nuestro cerebro: la última frontera

La finalidad de estos estudios no es solo comprender el paso de peces a anfibios, sino que también sirven a un objetivo mucho mayor: comprender el proceso de evolución del cerebro humano. En el camino entre anfibios y el ser humano se han estudiado ya los sistemas nerviosos de mamíferos inferiores, pero aún queda por investigar un grupo muy importante como es el de los reptiles, lo que constituye el próximo objetivo de este grupo de investigación.

Aunque parezca que este trabajo se centra en detalles muy concretos de la naturaleza, es necesario investigar las cosas pequeñas, porque solo estudiando las partes podremos conocer el todo.