launion.com.mx @uniondemorelos

CIENCIA

ANIMALES FANTÁSTICOS: LOS SECRETOS GENÓMICOS DEL ORNITORRINCO Y DEL EQUIDNA

F. Alejandro Sánchez F.

El Dr. Fidel Alejandro Sánchez Flores es investigador del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos, y es miembro y presidente actual de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Aquellos *fans* de los libros y películas de *Harry Potter* reconocerán la referencia del título de este artículo. Entre las obras que ha escrito la británica J.K. Rowlings, está el libro *Animales fantásticos y dónde encontrarlos* (o en inglés: *Fantastic Beasts and Where to Find Them*). Publicado en el 2001, donde curiosamente el autor es el magizoólogo *Newt Scamander*, se describen 75 especies mágicas encontradas alrededor del mundo (mágico). Este libro ha inspirado también una nueva serie de películas donde podemos ver a muchos de estos animales mágicos en acción. En particular, hay una criatura que inspira la escritura de este artículo, la cual es muy parecida a un ornitorrinco (mezclado con un topo) llamada *niffler* (o *escarabajo* en la traducción al español) y que tiene un gusto por los objetos brillantes.

Si bien esta adorable criatura es ficticia, posiblemente muchos recordamos de nuestras clases de Biología a un animal similar y que también puede parecer mágico: El *ornitorrinco* (*Ornithorhynchus anatinus*). Esta especie pertenece a los *mamíferos*, aunque tiene un pico similar al de los patos, una cola parecida a la de un castor y las patas similares a las de una nutria. Si esto no fuera suficientemente raro, posee un espolón en las patas posteriores que libera un veneno capaz de producir un dolor intenso y finalmente, su reproducción *ovípara* (ponen huevos como las aves). El ornitorrinco junto con otro animal llamado *equidna* (por ejemplo, el *Tachyglossus aculeatus*) (Figura 1), son los únicos mamíferos ovíparos y esto los hace sujetos de estudio para entender nuestra evolución.

FOTO DE UN *niffler o escarabajo, de la película "Animales fantásticos y dónde encontrarlos".*

Ponen huevos, "sudan" leche, producen veneno y no tienen dientes

Como ya se mencionó, una de las características más curiosas de los ornitorrincos y equidnas, es que se reproducen poniendo huevos. Si bien los mamíferos nos desarrollamos dentro de nuestra madre en un saco llamado *placenta*, los monotremas nacen de huevos que se asemejan a los de los reptiles. El ornitorrinco solo tiene un período de apareamiento; después de un complicado cortejo que termina con la pareja nadando unida describiendo círculos lentamente y mientras el macho sostiene con el pico la cola de la hembra. Las hembras tienen un par de ovarios, pero solo el izquierdo es funcional y ponen entre uno y tres (pero generalmente dos) huevos pequeños, que miden unos 11 mm de diámetro y son un poco más redondeados que los de las aves. Los huevos se desarrollan en el útero durante unos 28 días, con solo unos 10 días de incubación externa (a diferencia de los huevos de gallina, que pasan un día en el tracto y tres semanas en el exterior). Después de poner estos huevos pegajosos y de cáscara fina, la hembra se acurruca a su alrededor sosteniéndolos contra su vientre con la cola. El período de incubación se divide en tres partes. En la primera, el embrión carece de órganos funcionales y se mantiene gracias al saco de vitelo, que es absorbido por la cría durante su desarrollo. En la segunda, se desarrollan los dedos, y en la última aparece el "diente de huevo", que es una protuberancia craneal pequeña y aguda utilizada por las crías para romper o rasgar la cáscara del huevo al final del periodo de incubación.

Los recién nacidos son vulnerables, ciegos y sin pelo, alimentados solo con la leche de la madre. Curiosamente, aunque poseen glándulas mamarias, los ornitorrincos no tienen pezones y la leche se libera a través de los poros de la piel (sudan la leche). La madre tiene unos surcos en el abdomen en los que se acumula leche, lo que permiten a las crías lamerla. Después de romper el huevo, las crías son amamantadas durante tres o cuatro meses. Los ornitorrincos nacen con dientes, pero se les caen a una edad muy temprana, dejando unas placas córneas con las que muelen la comida. Aunque tanto los machos como las hembras

FIGURA 1. FOTO de un ornitorrinco (izquierda) y un equidna (derecha). Tomada de: https://m.facebook.com/AVPmackay/photos/%F0%9D%90%93%F0%9D%90%AB%F0%9D%90%A2%F0%9D%90%AF%F0%9D%90%A2%F0%9D%90%9A-%F0%9D%90%AD%F0%9D%90%A2%F0%9D%90%A6%F0%9D%90%9Efinish-this-sentence-the-platypus-and-echidna-are-the-only-marsupials/4391119787579301/

nacen con espolones en el tobillo, solo los del macho liberan veneno, compuesto principalmente por pequeñas proteínas similares a *defensinas*, que se pueden encontrar en otros organismos. Las defensinas son producidas por su sistema inmune y es uno de los mecanismos de defensa más antiguos en los seres vivos. A pesar de que el veneno es lo suficientemente potente como para matar animales pequeños, o incluso perros, no es letal para los humanos. Sin embargo, una picadura de ornitorrinco produce un edema alrededor de la herida que se extiende gradualmente por el miembro afectado y causa un dolor tan intenso que ni siquiera puede ser calmado con morfina.

Tienen espinas y un pene cuádruple

En el caso de los equidnas, la hembra pone un solo huevo y desarrollan un marsupio (una bolsa como la de los canguros) de manera temporal, mientras dura la incubación y la lactancia. De manera similar, la incubación del huevo tarda diez días y la cría succiona la leche de los poros de las glándulas mamarias. Permanece en la bolsa de la madre durante cuarenta y cinco a cincuenta días y en dicho tiempo comienzan a desarrollar las espinas o púas que serán su principal forma de defensa. Los equidnas machos tienen un pene tetracapitado (Figura 2), es decir con cuatro cabezas, pero solo dos de ellas se usan durante el apareamiento. Las otras dos cabezas "se cierran" y no crecen en tamaño. Las cabezas usadas se intercambian cada vez que el mamífero copula. En sus "primos" los ornitorrincos, el pene también es extraño y tiene dos cabezas, aunque solo la del lado izquierdo es funcional, ya que como se mencionó, en las hembras solo funciona el ovario izquierdo. Los machos y algunas hembras poseen espolones tras la articulación de la rodilla, pero a diferencia del ornitorrinco, no sintetiza ninguna sustancia tóxica por lo que se desconoce la función real de esta estructura.

La evolución de los mamíferos

Aunque no es evidente, los ornitorrincos, equidnas y los seres humanos, pertenecemos a una clase de animales llamada mamíferos y por lo tanto tenemos un ancestro en común. Los mamíferos son parte de un subfilo de animales llamados *vertebrados*, ya que tienen una espina dorsal compuesta de huesos llamados vertebras. Además, hay otras características que nos hacen animales muy particulares y nos definen como mamíferos, como el poder conservar la temperatura de nuestro cuerpo de manera constante (homeotermos) y que nuestra reproducción es *vivípara* (nos desarrollamos dentro del vientre de nuestras madres). Sin embargo, como sucede frecuentemente en la Biología, siempre hay excepciones a la regla y ese es el caso de los *monotremas*. En este orden de mamíferos, podemos encontrar al ornitorrinco y al equidna, quienes habitan en Australia y Tasmania, principalmente.

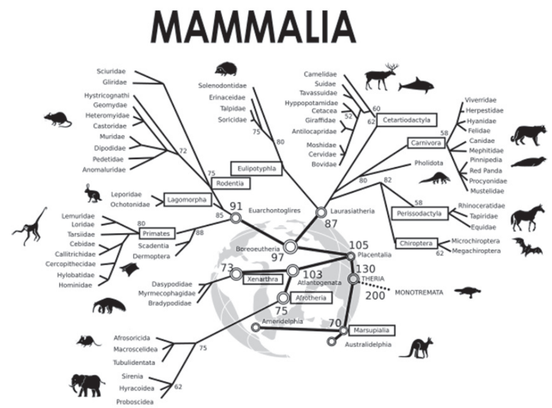

FIGURA 3. ÁRBOL filogenético de los mamíferos. Los números en las ramas del árbol representan hace cuantos millones de años surgió un orden de animales determinado. Los mamíferos surgieron hace aproximadamente hace 80 millones de años, mientras que los monotremas hace 200 millones de años. Tomada de HTTPS://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/THUMB/7/75/AN_EVOLUTIONARY_TREE_OF_MAMMALS.SVG/1024PX-AN_EVOLUTIONARY_TREE_OF_MAMMALS.SVG.PNG?1653194276203

En particular, veamos cómo ha sido la evolución de los mamíferos, para poder hablar del ornitorrinco y el equidna. Como se puede ver en la Figura 3, los monotremas son organismos que surgieron aproximadamente hace 200 millones de años, mucho antes de que los humanos aparecieran en la faz de la Tierra. Como se observa en el árbol, hay una gran diversidad dentro de los diferentes ordenes de mamíferos donde hasta la fecha conocemos unas 5,486 especies, pero de las cuales solo cinco son monotremas, 272 son marsupiales (como el canguro y el koala) y el resto son placentarios (se desarrollan en el vientre de su madre).

Actualmente, gracias a las tecnologías de secuenciación de ADN, podemos conocer toda la información genética (genoma) de prácticamente cualquier organismo y desde el 2008, se pudo decodificar la información genómica del ornitorrinco. Sin embargo, no fue sino hasta el 2021, que se pudo refinar su genoma, gracias a la secuenciación del ADN de su pariente más cercano, el equidna. Con esta información podemos entender mucho más acerca de estos animales y también del resto de los mamíferos.

Las claves descubiertas en los genomas del ornitorrinco y del equidna

Si bien para muchas de las características que hemos descrito de estos animales fantásticos, pasaron siglos sin que se pudieran explicar de manera científica. Hoy en día podemos explicar varios de los rasgos de los monotremas, gracias a su información genética o genoma. El tamaño del genoma de los monotremas (~2,000 millones letras) es menor al de los humanos (~3,000 millones) y otras especies de mamíferos, pero complejidad es demostrada por las características tan peculiares que ya se han descrito. La cantidad de genes que codifican para proteínas en el ornitorrinco y equidna va de los 20,742 a 22,029 genes, respectivamente. Entre los resultados de la comparación de genomas, podemos mencionar algunos relacionados con las características relatadas en este artículo.

FIGURA 2. DIBUJOS e imagen del sistema reproductor masculino de un equidna, donde se aprecia su forma tetracapitada. Tomada de: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/extrano-pene-cuadruple-equidnas_16140

Además de que la información genética nos permite tener marcadores moleculares con los cuales podemos elaborar con gran precisión arboles filogenéticos como el presentado en la Figura 3, también nos permite comparar y encontrar las diferencias entre diferentes especies, así como entender mejor la evolución entre organismos emparentados como los mamíferos. Comencemos por mencionar su estructura genómica a nivel de cromosomas. Los monotremas cuentan con 42 cromosomas (autosomas) y 10 cromosomas sexuales. Hasta ahora, son los únicos mamíferos que cuenta con esa cantidad de cromosomas sexuales donde el macho tiene 5 cromosomas X y 5 cromosomas Y. Curiosamente, estos cromosomas sexuales funcionan como un complejo y si se les compara contra los cromosomas sexuales en gallina, se puede encontrar un arreglo similar con lo que se podrían explicar muchas de las similitudes reproductivas en los monotremas y las aves. Aunque se desconoce, es posible que la formación del pico en los ornitorrincos este ligado a este tipo de arreglo de cromosomas.

¿Por qué ponen huevos, pero amamantan?

Los monotremas guardan la clave para comprender cómo evolucionó la viviparidad en los mamíferos. Mientras que los reptiles tienen tres copias funcionales de los genes para la principal proteína de huevo *vitelogenina* (VTG), en los monotremas encontramos solo una copia funcional (*VTG2*) y gen parcial para *VTG1*. Por lo tanto, esto los ha obligado a que después de nacer, tengan que alimentarse de leche materna, ya que no pueden producir todas las proteínas necesarias para alimentar a la cría dentro del huevo, como ocurre en las aves. Al igual que los marsupiales, los monotremas tienen un período de lactancia prolongado y la composición de la leche cambia dinámicamente a medida que avanza el desarrollo y se adapta a las necesidades de las crías. El gen *SPINT3*, produce una importante proteína específica de la leche que está presente en la lactancia temprana de los mamíferos, con un papel probable en la protección de las crías en los marsupiales, pero esta proteína está ausente en los monotremas. La comparación entre genomas de mamíferos confirmó que se conserva en el ornitorrinco, la región donde están los genes para producir proteínas de la leche, pero contiene dos copias de una nueva proteína que ha evolucionado con una posible función inmunoprotectora y que es similar a *SPINT3*. Los genomas de monotrema contienen la mayoría de los genes de la leche que se han identificado en los mamíferos placentarios. La mayoría de los mamíferos tienen tres genes de *caseína*, que codifican para las proteínas de la leche más abundantes secretadas durante la lactancia. Además de estos genes, los monotremas tienen caseínas adicionales que no se encuentran en los mamíferos, y que tienen funciones desconocidas.

Un pelaje diferente y el sistema inmune de los monotremas

Una de las primeras diferencias que se encontraron al comparar los genomas del humano (y otros mamíferos) contra el de los monotremas, es que los genes relacionados con el sistema inmune y el crecimiento del cabello tienen un mayor número de copias en otros mamíferos placentarios. Esto explica el por qué la

mayoría de los mamíferos hemos podido desarrollar un pelaje similar, en comparación al equidna que tiene púas y en el caso del ornitorrinco, su pelaje es fluorescente si se le pone debajo de la luz UV. El sistema inmune de los monotremas en muy limitado, pero cuenta con las mencionadas defensinas, que son pequeñas proteínas que van en la leche y sirven para combatir bacterias. En particular, un tipo de defensinas que produce el ornitorrinco es la que secreta en el veneno (genes *OavDLP*). El equidna no produce veneno y esto se explica ya que, en su genoma se puede encontrar al gen *OavDLP*, pero en una sola copia, con la cual no puede producir una proteína funcional (pseudogen).

La ausencia de dientes y una dieta basada en insectos

La pérdida de dientes también se puede explicar por un número menor de genes en los monotremas, en comparación con los mamíferos. Mientras que en los mamíferos hay 8 genes involucrados en el desarrollo de los dientes, en el ornitorrinco solo podemos encontrar 4 de ellos. Con respecto a genes que tienen que ver con la digestión estomacal, hay una gran pérdida de genes, aunque el gen *NGN3*, que es esencial para el desarrollo del estómago y páncreas, se mantiene tanto en el ornitorrinco como en el equidna. Todo esto resulta en la dieta que tienen los monotremas se basa principalmente en insectos, que pueden moler gracias a las placas corneas que tienen en su pico (ornitorrinco) u hocico (equidna).

Estos y más resultados nos dan luz para entender de mejor manera, la evolución de estos peculiares y fantásticos animales, así como el origen de los mamíferos y la relación otros vertebrados como los reptiles y las aves. Sin duda, son animales fantásticos y verdaderos fósiles vivientes en la historia de los mamíferos.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: **www.acmor.org.mx**
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx

REFERENCIAS
https://www.nature.com/articles/s41586-020-03039-0
https://www.nature.com/articles/nature06936

LIGAS DE INTERÉS
https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2021/01/11/genomes-reveal-new-insights-into-platypus--echidna.html#:~:text=The%20first%20ever%20echidna%20genome,-from%20the%20University%20of%20Sydney
https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/extrano-pene-cuadruple-equidnas_16140
https://www.sciencedaily.com/releases/2021/01/210106133034.htm
https://es.wikipedia.org/wiki/Mammalia
https://es.wikipedia.org/wiki/Amniota
https://es.wikipedia.org/wiki/Ornithorhynchus_anatinus
https://es.wikipedia.org/wiki/Tachyglossidae