

BIOLOGÍA ANIMAL

ESTRATEGIAS REPRODUCTORAS EN MURCIÉLAGOS

La mayoría de los mamíferos que viven en zonas templadas exhiben ciclos reproductores estacionales. Una vez que los individuos han alcanzado cierto tamaño, adquieren la madurez sexual y son capaces de producir espermatozoides y de ovular. Sin embargo, los animales sólo están activos sexualmente parte del año. En esta fase las hembras entran en estro, en respuesta al incremento de estrógeno, y permiten a los machos copular con ellas. La fecundación tiene lugar en el oviducto y tras ésta, el óvulo fertilizado comienza a dividirse hasta constituir una esfera hueca de células, el blastocisto, que desciende hasta alcanzar el útero, a cuyas paredes se adhiere. Allí, con la ayuda de la placenta, el embrión continúa su desarrollo hasta el momento del nacimiento.

La reproducción es muy costosa. El coste energético para las hembras, especialmente durante la gestación y lactancia, es elevado. Los requerimientos alimentarios durante esta fase son superiores a los de cualquier otro período del año. También suele ser costosa para los machos, no tanto por la producción de esperma, sino porque su acceso a las hembras reproductoras está limitado. Los candidatos suelen competir entre ellos o defender un territorio hasta atraer a las hembras, lo que aumenta no sólo el riesgo de accidente o la posibilidad de predación, sino que les impide alimentarse convenientemente durante un período de tiempo más o menos prolongado.

En las zonas templadas de ambos hemisferios los recursos fluctúan considerablemente a lo largo del año. En estos ambientes la selección natural favorece aquellos nacimientos que tienen lugar durante la época más apropiada del año para los pequeños, independientemente de la conveniencia para sus progenitores. Consecuentemente los partos y, sobre todo la época de lactancia, coinciden con la fase de mayor disponibilidad de alimentos. Esta sincronización puede lograrse de varias maneras; algunos mamíferos son estacionales y limitan, de manera estricta, la producción de espermatozoides y óvulos a épocas muy concretas del año, con lo que cópulas y nacimientos acontecen en momentos precisos. Otras especies son más flexibles, están activas y copulan durante un período mayor de tiempo. Sin embargo los nacimientos también están

sincronizados y coinciden con la época más favorable del año. La mayoría de los murciélagos (Orden Chiroptera) pertenecen a este segundo grupo y han desarrollado dos mecanismos diferentes para alcanzar esta sincronía: el almacenamiento de esperma y la implantación tardía del blastocisto en las paredes del útero materno [Ransome, *The Natural History of Hibernating Bats* (1990)].

La mayoría de los murciélagos de las zonas templadas hibernan y se reproducen sólo una vez al año. Durante la hibernación, los testículos de los machos reducen su tamaño y la espermatogénesis se interrumpe. En primavera aumentan rápidamente de tamaño y comienza la producción de espermatozoides, que continúa hasta finales del verano. El semen formado se acumula en el epidídimo hasta el momento de la cópula, que tiene lugar durante el otoño. A partir de esos momentos el esperma permanece adherido a las paredes del oviducto o del tracto final del útero, y es incluso "alimentado" por ciertas células glandulares del revestimiento uterino, hasta la primavera siguiente. Esto supone un logro extraordinario, pues estas células "extrañas" al organismo no son reconocidas por el sistema de defensa como potencialmente dañinas y aunque la producción de linfocitos en las paredes del útero tras el coito es elevada, como ocurre en la mayoría de los mamíferos, no conlleva la destrucción del esperma acumulado. En primavera las hembras entran en estro y producen un solo óvulo, que es fecundado con el esperma almacenado. En algunas especies de murciélagos [Uchida y Mori,

Prolonged storage of spermatozoa in hibernating bats (1987)] se ha podido comprobar como los espermatozoides eran viables hasta después de 198 días de almacenamiento y que eran incapaces de fecundar a los óvulos inmediatamente después de la cópula, necesitaban ser "activados" previamente en las paredes del útero. Una vez fecundado el óvulo, el blastocisto se implanta varios días después en las paredes del útero y allí continúa su desarrollo.

Existe un método alternativo y que también permite ampliar la duración del período de cópula sin aumentar el de nacimientos. Consiste simplemente en interrumpir el desarrollo durante el estado de blastocisto. Este método se denomina implantación retardada y tiene lugar también en otros grupos de mamíferos, como osos, mustélidos y focas. La cópula tiene lugar en otoño y tras la fecundación el blastocisto permanece libre en el interior del oviducto y no se implanta en las paredes del útero hasta finales del invierno, al finalizar la hibernación.

Los nacimientos de murciélagos se producen entre junio y julio, e independientemente de la ventaja que puede suponer la disponibilidad de alimentos en esa época del año, la sincronización de los mismos tiene gran importancia desde el punto de vista de la termorregulación. Las hembras se congregan en colonias maternas durante toda la lactancia y aunque estas concentraciones de animales incidan negativamente sobre los alimentos disponibles del entorno, tienen un efecto muy positivo pues provocan el aumento de la temperatura ambiente del dormitorio. De esta manera se reduce el coste energético de la homeotermia en los pequeños murciélagos y pueden emplear todo el alimento ingerido en el crecimiento corporal.

L. J. Palomo (Profesor Titular de Biología Animal)

BIOLOGÍA ANIMAL

EL ANTEPASADO DE LOS VERTEBRADOS: ¿UN GUSANO BOCA ARRIBA?

Todos los vertebrados tenemos un tubo nervioso dorsal engrosado en su parte anterior (el encéfalo) y protegido por el cráneo y las vértebras. Resulta curioso que muchos invertebrados, como los Artrópodos y los Anélidos, posean también un cordón nervioso a lo largo del cuerpo, pero en posición ventral. Por otra parte nuestro corazón es ventral, mien-

tras que el de Artrópodos y Anélidos es dorsal. Estas semejanzas no pasaron inadvertidas para los antiguos naturalistas. Geoffroy Saint Hilaire (1772-1844), uno de los primeros evolucionistas, ya propuso que el origen de los vertebrados podría explicarse por un cambio acontecido en un gusano ancestral que pasó a vivir "boca arriba", con lo que su corazón

y su cordón nervioso intercambiaron sus posiciones.

Esta idea había quedado completamente desacreditada, sobre todo debido a las evidencias del parentesco filogenético de los vertebrados con Hemicordados y Equinodermos, grupos muy alejados de Anélidos y Artrópodos. Sin embargo, quizá sea prematuro descartar la idea de Saint Hilaire. Se han identificado unos genes, el *decapentaplegic* en la mosca *Drosophila* y el *BMP-4* en vertebrados, que controlan la formación del patrón dorsoventral en estos organismos. Lo notable es que estos genes, que son homólogos, se expresan a nivel dorsal en la mosca y a nivel ventral en los vertebrados. Ambos controlan la diferenciación de las estructuras existentes a dichos niveles. Es decir, el *decapentaplegic* "dorsaliza" al embrión mientras que el *BMP-4* lo "ventraliza" y, en definitiva, ambos controlan la formación de estructuras similares.

Esto sugiere que las zonas dorsales y ventrales de artrópodos y gusanos corresponderían, respectivamente, a las zonas ventrales y dorsales de los vertebrados. ¿Cómo podría haberse producido el cambio? Una posible forma ha sido sugerida recientemente [Arendt y Nübler-Jung, *Nature*, 371, 26 (1994)]. En los anélidos poliquetos, la boca (que es ventral) y el ano derivan del blastoporo, el orificio que se forma tras la gastrulación. Entre boca y ano se extiende el área ventral donde se formará el cordón nervioso. En los vertebrados, concretamente en el anfibio *Xenopus*, el labio anterior del blastoporo se extiende hacia atrás, desplazando al propio blastoporo hacia la parte posterior y dorsal del embrión, donde acaba desapareciendo. Pero ¿por qué es "dorsal" esta parte del embrión de *Xenopus*, en la que se forma el tubo nervioso? Porque en la zona opuesta, en la parte anterior del tubo digestivo, va a aparecer un orificio nuevo: la boca. La posición de la boca, dirigida hacia el

sustrato, es la que nos hace considerar una zona como ventral y no dorsal. Pero la boca de los gusanos y artrópodos, que deriva del blastoporo, *no es homóloga* a la boca de los vertebrados, que es de neoformación. Por ello, Anélidos, Artrópodos, Moluscos y otros grupos se denominan protóstomos (boca primera o primitiva), mientras que Vertebrados y Equinodermos son deuteróstomos (boca segunda o secundaria).

Por tanto, es imaginable que nuestra espalda se corresponda con el vientre de un artrópodo o gusano y viceversa. Es concebible también que el cambio en la posición vital haya estado marcado por la transición de una boca primitiva, derivada del blastoporo, a una nueva boca, que se desarrolló en el lado contrario del cuerpo. ¿Podemos imaginarnos con la boca primitiva a la altura de la nuca?

R. Muñoz-Chápuli (Profesor Titular de Biología Animal).

NOTICIAS

¡Mucho ojo con el gen *Pax-6*!

La atmósfera terrestre es muy transparente a la luz visible, es decir, a las radiaciones electromagnéticas de longitud de onda comprendida entre 0.4 y 0.8 micrómetros. La mayor parte de los metazoos poseen fotorreceptores formados por células sensibles a estas radiaciones. Sin embargo, sólo en seis de los más de treinta *phyla* de metazoos se han desarrollado sistemas ópticos capaces de captar imágenes (Cnidarios, Moluscos, Anélidos, Onicóforos, Artrópodos y Cordados).

Los ojos compuestos de los artrópodos están constituidos por cientos de facetas u ommatidias, cada una de ellas con una lente independiente. Estos ojos son muy diferentes a los de los vertebrados. En éstos, y también en los ojos de los cefalópodos (pulpos y calamares), es una sola lente, el cristalino, la que forma la imagen sobre la capa de células fotorreceptoras. Dado que en los antepasados de vertebrados, moluscos cefalópodos y artrópodos no existían ojos, parece obvio que en estos tres grupos los ojos se han desarrollado de forma independiente. La similitud entre nuestros ojos y los de los calamares es un típico ejemplo de homoplasia, es decir, de similitud morfológica sin parentesco filogenético.

Con estos antecedentes ha resultado una auténtica sorpresa el resultado obtenido por un grupo de investigadores alemanes, que han aislado el gen de la mosca *Drosophila* homólogo del gen *Pax-6* de vertebrados [Quiring et al., *Science*, 265, 785 (1994)]. El gen *Pax-6* pertenece a una familia de genes que codifican para factores de transcripción y están implicados en el control del desarrollo embrionario. En concreto, una conocida mutación del gen *Pax-6* en el ratón (la *small eye*) produce anomalías graves en el desarrollo de los ojos. En los seres humanos, mutaciones o deleciones en el gen *Pax-6* son responsables de la aniridia hereditaria, una grave hipoplasia del iris. Todo esto indica un papel clave de este gen en el desarrollo de los ojos de los vertebrados. Pues bien, la sorpresa estriba en que el gen homólogo del *Pax-6* en *Drosophila* no es otro que el *eyeless*, que ya era conocido porque las moscas mutantes para este locus carecen de ojos bien desarrollados.

En resumen, dos tipos completamente diferentes de ojos en cuanto a su morfología y su formación requieren de genes homólogos para el control de su desarrollo. La cuestión ahora estriba en conocer el momento en que actúa el gen *Pax-6* y cuál es su papel en el proceso de desarrollo de los ojos. Es posible que su función esté tan sólo relacionada con la especificación de la célula fotorreceptora, común a muchos grupos de animales, más que con la morfogénesis de todo el

aparato ocular. Esto explicaría bien su presencia en dos grupos tan alejados filogenéticamente como las moscas y los mamíferos, aunque no quedaría claro por qué las mutaciones provocan anomalías morfológicas en los ojos. Esta hipótesis puede ser comprobada estudiando si existe expresión de un gen homólogo al *Pax-6* en los fotorreceptores de metazoos primitivos, como los gusanos platelmintos.

¿Mamuts en el Egipto de los faraones?

El pasado año nos sorprendió la noticia del hallazgo de restos de mamuts enanos en la isla de Wrangel, al nordeste de Siberia, en niveles muy recientes [Vartanyan et al., *Nature*, 362, 337 (1993)]. La datación de dos de estos restos por el procedimiento del carbono-14 dio una antigüedad de 6260 y 7250 años. Esto implica que, contrariamente a lo que se pensaba, todavía existían mamuts en el norte de Asia cuando se estaban construyendo las pirámides en Egipto. ¿Llegaron a conocer los egipcios a los mamuts? Es posible, según la nueva interpretación que se ha hecho de unas pinturas que adornan una tumba faraónica [Rosen, *Nature*, 369, 364 (1994)]. La imagen representa a un hombre portando sobre su hombro izquierdo un gran colmillo de elefante y sujetando, con su mano derecha, las correas de dos animales. Uno de ellos es un oso, un