



Una libélula adulta emerge de su exoesqueleto larvario. Fotografía de bgv23, 2008 ©



LOS CUERPOS QUE HABITO

Gabriela Aguilera

Al otro, a Borges, es a quien le ocurren las cosas.

JORGE LUIS BORGES

HABITAR AL OTRO

Cuando Kafka imaginó a su célebre personaje Gregorio Samsa despertando un día convertido en un desagradable insecto no podía saber que, aunque sea de manera un tanto escondida, los humanos compartimos con muchos otros animales cierta capacidad para la metamorfosis.

Todos los seres vivos debemos responder a los cambios que nos imponen las circunstancias, sobre todo cuando los recursos son limitados o su abundancia varía en el espacio o en el tiempo. Entre los animales una solución radical para aprovechar al máximo los recursos consiste en transformar completamente sus cuerpos durante una o varias etapas de la vida. Esto se conoce como *metamorfosis* y es mucho más común de lo que creemos; de hecho, es una apuesta evolutiva tan exitosa que grupos muy distintos de animales la han adoptado de una u otra manera.

Es bien conocido el caso de los insectos y de los anfibios, pero menos el de invertebrados marinos como los equinodermos y los cnidarios (por ejemplo, estrellas de mar y medusas), que tienen algunas de las metamorfosis más complejas que se conocen. En el caso de las medusas, éstas experimentan un ciclo de vida de al menos seis etapas, que alternan algunas en las que los individuos nadan libremente en el agua con otras



Larva de galleta de mar (*Clypeaster subdepressus*).
Fotografía de Bruno Vellutini, 2012 ©

en las que son pólipos inmóviles anclados en el fondo del mar. Hay investigadores que sugieren que la metamorfosis en las medusas ocurre dos veces: la primera cuando se pierden las estructuras juveniles de la larva y surgen los órganos del adulto en forma de pólipo, y la segunda cuando de este pólipo surge una medusa capaz de reproducirse sexualmente.

Existe una amplia variedad de cambios morfológicos (es decir de estructura física) involucrados en la metamorfosis. Algunas veces implican la reconfiguración completa del cuerpo del animal, como pasa en los anfibios, y en otras hay cambios mucho menos drásticos, como en las cucarachas, insectos con metamorfosis incompleta en la que la transformación de sus cuerpos es relativamente sencilla. En cualquiera de sus modalidades la metamorfosis implica un gran gasto energético para el animal y puede ser un momento de riesgo en el que esté más expuesto a los depredadores. Entonces, ¿cómo es que este proceso, que implica una transformación corpo-

ral tan radical y por tanto arriesgada, es tan frecuente entre los animales? Su mayor ventaja es que permite maximizar el número de fuentes de alimento. Así, durante una etapa de su ciclo vital los animales tienen una morfología específica con funciones determinadas y en otra fase experimentan un cambio dramático que les permite explotar recursos que de otra manera no podrían aprovechar. En un estudio reciente, ecólogos teóricos se preguntaron sobre la relación entre costos y ganancias de la metamorfosis y llegaron a la conclusión de que la evolución favorece si unas y otras formas aprovechan fuentes de alimento muy distintas, siempre en relación con la abundancia de los recursos y de los desafíos ambientales. Y algo sumamente importante: una vez que se adopta la metamorfosis es muy difícil que se revierta, incluso si las condiciones ambientales cambian o si la abundancia de la fuente secundaria de alimento disminuye drásticamente. Es un camino de un solo sentido y las excepciones a esta regla son notablemente raras. Por eso, cuando ya no es favorable la metamorfosis se convierte en una trampa evolutiva.

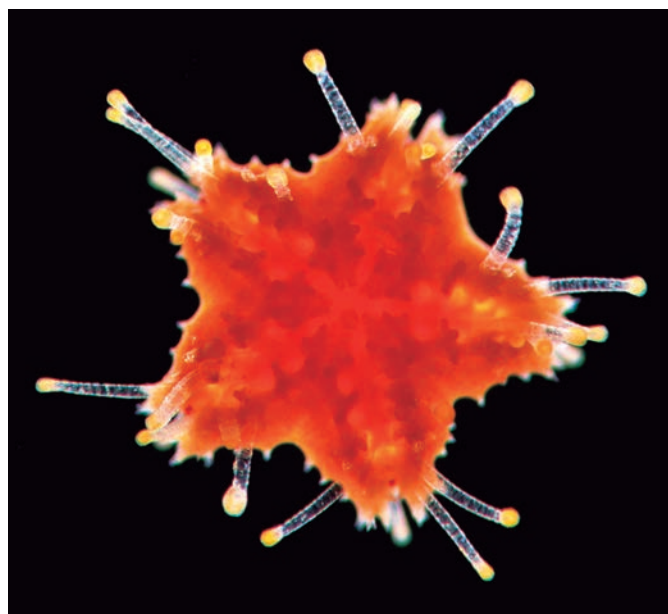
La gran variedad de modalidades de metamorfosis en distintos grupos animales no hace sino enfatizar la existencia de ciclos de vida complejos. Éstos difieren de los ciclos simples porque presentan etapas adicionales al huevo, la larva y el adulto, pero sobre todo porque incluyen transiciones entre una etapa y otra que implican cambios radicales en la morfología, la fisiología o incluso en el comportamiento del animal. Teóricos del desarrollo embrionario, zoólogos, paleontólogos, ecólogos y genetistas aportan pruebas para intentar dilucidar cuál es el origen y la evolución de estos ciclos vitales, incluida la metamorfosis.

Pensar en el ciclo de vida como una serie lineal de sucesos fijos que ocurren durante el desarrollo de un individuo limita nuestra comprensión del fenómeno. Para que los ciclos de vida complejos hayan podido surgir, la selección natural debió haber actuado directamente sobre una diversidad de opciones morfológicas y fisiológicas en el desarrollo del individuo. Si estudiamos a fondo la cuestión, el ciclo de vida de muchos metazoarios —el grupo que comprende a casi todos los animales— dista dramáticamente de esos modelos simples. Como vimos en el ejemplo de las medusas, existe una enorme variabilidad de etapas del desarrollo y de su orden en el tiempo y el espacio. Es sobre esta variabilidad que la selección natural puede haber actuado y que finalmente resultó en la consolidación de ciertas secuencias, orquestadas genéticamente, que constituyen un ciclo de vida. Pero, ¿cuál fue el origen de esa diversidad de etapas del desarrollo?

Una hipótesis es que de manera muy temprana, en la vida de los primeros metazoarios y aún antes, una misma especie pudo seguir distintas rutas de desarrollo dependiendo de condiciones extrínsecas. Entonces podría haber ocurrido, por ejemplo, que algunos individuos alcanzaran la maduración sexual sin pasar por una etapa intermedia entre la larva y el adulto para acortar el ciclo de vida en condiciones ambientales difíciles y así asegurar lo más rápido posible la descendencia, mientras que otros pudieron pasar por una etapa intermedia si las condiciones ambientales eran más favorables. Ambas vías están hipotéticamente abiertas para esa misma especie; que algunos individuos sigan por uno u otro camino depende de factores sobre todo externos. En general, las especies podrían aprovechar esta flexibilidad en el desarrollo

para adaptarse a condiciones ambientales o abundancia de recursos cambiantes o según la disponibilidad de recursos. Recordemos que una ventaja de la metamorfosis es que evita la competencia por el alimento entre individuos de la misma especie en distintas etapas de la vida. A largo plazo, algunas especies habrían incorporado la metamorfosis como un mecanismo de transición entre etapas del ciclo de vida, sobre todo si éstas diferían mucho entre sí, en su morfología o fisiología. De esto se desprende que lo más importante para la aparición de ciclos de vida complejos, con metamorfosis, es entonces el número de etapas diferentes que pueden existir dentro de un mismo ciclo de vida y el grado de diferenciación morfológica entre cada uno de ellos.

A largo plazo, todo lo que ocurre en el medio ambiente y que termina produciendo la selección de unos genes sobre otros puede



Estrella de mar juvenil tras la metamorfosis.
Fotografía de Bruno Vellutini, 2012 ©

actuar sobre estos factores y provocar que ocurran cambios no sólo en la morfología o fisiología de los individuos sino también en su comportamiento, como ocurre en el caso de los insectos sociales como las hormigas, que pueden desempeñar distintas tareas según la casta a la que pertenecen. Otro ejemplo interesante en cuanto a cambios de com-

portamiento en una misma especie se da en las langostas, cuyo ciclo de vida puede tomar dos cursos muy diferentes: en uno de ellos viven y se desarrollan de manera solitaria y en otro forman plagas de enjambres con millones de individuos que arrasan hectáreas de cultivos en pocas horas. La morfología y el comportamiento de las langostas son totalmente distintos según si el insecto está en una fase solitaria o en una gregaria. La transición entre la primera y la segunda se desata cuando se supera un cierto número de individuos y el contacto entre ellos hace que su sistema nervioso central libere altas cantidades del neurotransmisor serotonina, lo que conlleva un apetito voraz y conductas agresivas. En este ejemplo la transición del desarrollo es también una transición ecológica, ya que la interacción de la langosta con el medio ambiente cambia drásticamente cuando pasa de ser un insecto solitario a convertirse en una plaga.

Pero, ¿cómo es que los procesos que producen cambios en algunos individuos llegan a determinar los genes de toda una especie? Hay una hipótesis que dice que siempre que dos o más rasgos físicos, fisiológicos o conductuales (llamados fenotipos) ocurren en alguna etapa de la vida y que resultan útiles para adaptarse, sobrevivir y reproducirse en un entorno, cabe esperar que los genes que producen esas variantes sean seleccionados y se establezcan a largo plazo, es decir, se conviertan en genes que existen en toda la especie y no sólo en algunos individuos. Así, la regulación de las rutas del desarrollo dependerá cada vez menos de las condiciones ambientales y más del control genético.

Queda abierta una pregunta: ¿por qué si el ancestro común de todos los metazoarios poseía ya las bases genéticas para la meta-



Mariposa tras emerger de su crisálida.
Fotografía de Rene Mensen, 2019 ©

morfosis hubo grupos de animales que no la desarrollaron, como los reptiles, las aves o los mamíferos? Tal vez, como opina Vincent Laudet, investigador del tema, las primeras fases del desarrollo de varios mamíferos esconden una forma de metamorfosis. Un indicio de que Laudet puede ir por el camino correcto nos lo dan las hormonas. Hoy sabemos que las mismas hormonas que gobiernan la metamorfosis en los anfibios, por ejemplo, intervienen en el desarrollo temprano de peces, ratones, cobayas y humanos.

Estas hormonas, que se producen en la glándula tiroidea y que compartimos con todos los vertebrados, sirven en los anfibios para iniciar y controlar la metamorfosis y se han descrito con gran detalle. También regu-

antiguos, como el de las ascidias y las lampreas. En todos ellos las hormonas tiroideas activan una cascada de señales químicas que intervienen en el desarrollo de los individuos una vez que nacen. Estas señales se activan en parte gracias al programa genético y en parte gracias a los estímulos del medio ambiente. Por ejemplo, en el caso del salmón del Atlántico, los peces adaptan su fisiología reproductiva según los cambios anuales en la duración del día. Las hormonas tiroideas regulan la transformación que permite a los salmones pasar de vivir en aguas dulces en la etapa juvenil (en los días cortos del año), a habitar en el mar durante la maduración sexual (en los días largos), con una etapa intermedia de transición entre joven y adulto.

La metamorfosis podría ser un continuo en el que los extremos dependen de su grado de intensidad.

lan el caso, menos conocido, de la metamorfosis en los peces: la mayor parte de los peces del grupo de los teleósteos —peces con esqueletos óseos parecidos a los nuestros, y no cartilagosos como los de los tiburones—, que conforman cerca del 50 por ciento de los vertebrados, tiene metamorfosis regulada por las hormonas tiroideas. El mismo sistema se ha descrito incluso en un curioso animal muy primitivo llamado anfibio, que carece de mandíbula y esqueleto y que desciende de los ancestros de los vertebrados, lo que nos indica que las hormonas tiroideas existían desde mucho antes de la aparición de este grupo. Entonces, ¿tiene esta hormona la misma función reguladora de la metamorfosis en todos estos casos? Sí, y también en otros grupos muy

Puesto que grupos muy diversos y antiguos como los cordados, e incluso algunos más antiguos como los cnidarios tienen hormonas similares que regulan la metamorfosis, Vincent Laudet y sus colaboradores han lanzado una hipótesis según la cual la metamorfosis es un periodo de remodelación postembrionario que ya estaba presente en el ancestro común del grupo. Y una de sus conclusiones más interesantes es que, de acuerdo con esta idea, los grupos de vertebrados que no se consideran metamórficos, como mamíferos, peces cartilagosos, aves y reptiles, tendrían lo que se conoce como metamorfosis críptica, es decir “oculta”. Así, la metamorfosis podría ser un continuo en el que los extremos dependen de su grado de intensidad,

con el caso de los anfibios como el más extremo entre los vertebrados.

¿Cómo saber si las hormonas tiroideas intervienen efectivamente en el desarrollo de los mamíferos del mismo modo que en los anfibios y muchos tipos de peces? Para que ocurriera se tendrían que cumplir los siguientes requisitos: primero, deberíamos observar un pico en la expresión de las hormonas tiroideas durante el periodo postembrionario y, segundo, debería haber cierta remodelación de órganos durante ese pico. Sin embargo, lo que es un tanto desconcertante es que en los mamíferos las funciones más conocidas de las hormonas tiroideas están relacionadas con procesos muy diferentes a los que desempeñan en anfibios y más bien tienen que ver con la conservación del equilibrio del metabolismo, la regulación de la temperatura y el ritmo cardíaco. Pero Laudet y sus colegas no se han dado por vencidos: han analizado el posible papel de estas hormonas en el desarrollo postembrionario en ratones, cobayas y humanos. Al mirar de cerca verificaron que en estos tres mamíferos hay picos en la producción de hormonas pero en diferentes periodos, a veces a finales de la gestación y otras poco después del nacimiento. En cuanto a si hay remodelación de órganos, como postula la hipótesis de Laudet, las observaciones son variadas. El argumento es que en las etapas tempranas del desarrollo de los mamíferos se da una remodelación fisiológica de varios órganos, especialmente el intestino y el cerebro, aunque también se consolidan los huesos a gran velocidad y aparece un sistema capaz de regular la temperatura del cuerpo, y todos estos sucesos dependen de la acción de las hormonas tiroideas. Esto se sabe por los efectos observados en distintos mamíferos que sufren bajos niveles

de la hormona o hipotiroidismo. Cuando el hipotiroidismo es extremo se detiene el desarrollo y el bebé muere poco después de nacer. Todo parece indicar que estas hormonas son necesarias para lograr la transición de la dependencia materna hacia la autonomía del bebé. Las modificaciones más dramáticas son la del intestino, debido al cambio de dieta, y la del sistema nervioso. Sobre este último, es bien sabido que en los humanos las hormonas tiroideas son críticas para el desarrollo del cerebro. De hecho, sus niveles están entre los primeros parámetros que se miden al nacer un bebé. En el caso de la cobaya, los cambios en el intestino se dan antes del nacimiento, lo cual coincide con el pico hormonal, y lo mismo ocurre con el desarrollo del cerebro, que ya se encuentra en un estado avanzado de desarrollo antes de nacer. En otros mamíferos la intervención de las hormonas tiroideas tras el nacimiento se ha estudiado mucho menos, así que es difícil generalizar estas observaciones.

Si la transición de la dependencia materna hacia la autonomía del individuo se considera un cambio ecológico, ya que se pasa de un ambiente protector y más estable al ambiente externo, más variable y expuesto, esto tal vez podría equipararse con los cambios asociados con la metamorfosis de los anfibios. Lo importante de esta propuesta es que, nos parezca o no convincente, ofrece la posibilidad de someterla a la experimentación con todos los métodos, modernos y tradicionales, de los que disponemos hoy en día, para validar o refutar esta fértil hipótesis. **U**

Plectrone borneensis.
Fotografía de Udo Schmidt, 2013 © ►