

HETEROCRONÍA, GENERADORA DE CAMBIOS BIOLÓGICOS

Mariana B. J. Picasso (*)

El paso del tiempo es algo que todos fácilmente podemos notar, aunque muchas veces nos empeñemos en negarlo. Un álbum de fotos familiar es la prueba más evidente y demoledora de nuestros cambios y, por ende, del inevitable transcurso del tiempo. Muchas veces la suma de deseos y ansiedades, nos piden algo imposible: adelantar o atrasar el tiempo a voluntad. Pero por mucho que lo deseemos, Peter Pan “nunca jamás” podrá ser un niño toda su vida, y en algún momento crecerá. Incluso si persistiera en juegos infantiles, al menos su físico evidenciaría las características de un individuo adulto. En efecto, los organismos a lo largo de la vida, se encuentran finamente cronometrados por un infatigable reloj biológico, que marca los tiempos de su desarrollo y por ende de los cambios morfológicos. Durante estos cambios se producirán modificaciones de forma, tamaño e incluso, en algunos organismos, el abandono de estructuras utilizadas en la juventud y la aparición de nuevas características en el estado adulto.

Si bien no a voluntad, este reloj biológico se ha acelerado o retrasado reiteradas veces a lo largo de la

historia de los seres vivos. De este modo, se han modificado tanto los tiempos del desarrollo general del cuerpo, como de una estructura en particular, e incluso el tiempo en el que se produce la maduración sexual del organismo. Estos cambios temporales se denominan eventos de heterocronía (del griego, *heteros*: distinto, *chronos*: tiempo) y son una piedra angular del proceso evolutivo. Las heterocronías son responsables de la generación de grandes novedades evolutivas, y constituyen uno de los factores responsables en el surgimiento de nuevas especies y novedosas morfologías.

Fue su quietud lo que me hizo inclinarme fascinado la primera vez que vi a los axolotl.

Oscuramente me pareció comprender su voluntad secreta, abolir espacio y tiempo...

Julio Cortázar

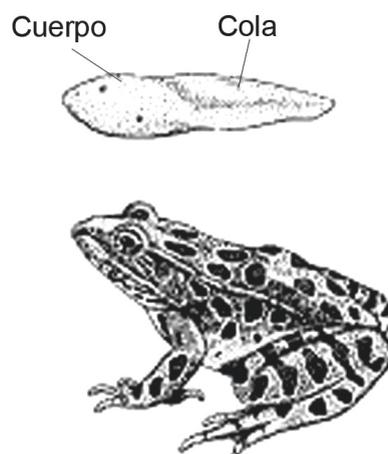


Fig. 1. Aspecto externo de un renacuajo (arriba) y una rana adulta (abajo).

Ontogenia, jóvenes, larvas y adultos

La ontogenia (del griego, *onto*: ser, y *genesis*: origen, generación) es un vocablo que se utiliza para hacer referencia a todo el período de vida de un animal, desde el momento de su concepción hasta su muerte. A lo largo de su ontogenia, un organismo pasa por distintas etapas. A grandes rasgos, pueden diferenciarse una etapa embrionaria (1) correspondiente al período de formación de un nuevo ser a partir de la fecundación y hasta su nacimiento; una juvenil o larvaria (2) caracterizada por el crecimiento y la inmadurez sexual y finalmente la etapa adulta (3) cuando se alcanza la madurez sexual, lo que lo capacita para dejar descendencia. En esta última etapa el animal alcanza su tamaño definitivo, cesando o disminuyendo su crecimiento.

Cada una de estas etapas consta de una determinada duración. El período embrionario puede llevar 644 días en un elefante o sólo 72 horas como ocurre en algunos peces. Lo mismo sucede con el período juvenil y larvario. Una rata es juvenil sólo hasta las 12 semanas posteriores a su nacimiento, mientras que el elefante es juvenil hasta los 10 ó 12 años. De igual modo, la morfología y funcionamiento de la etapa adulta difiere de la juvenil o larvaria. Las ranas y sapos en su estadio larval, el renacuajo, poseen una morfología y modo de vida distintos al adulto (Fig.1). El renacuajo respira por branquias y posee una cola para impulsarse en el agua. Para llegar a ser un sapo de vida terrestre, que respira por pulmones y se moviliza con sus patas a saltos, debe atravesar una serie de cambios anatómicos y funcionales muy acentuados; este proceso, denominado metamorfosis, produce un adulto. Sin embargo otros animales en su etapa inmadura son muy semejantes al adulto; basta con pensar en un bebé o un niño,

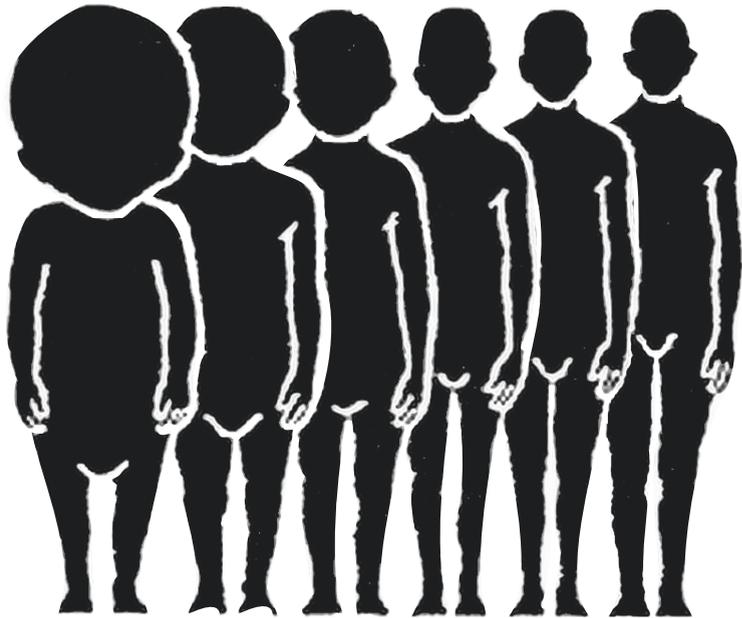


Fig. 2. Crecimiento en el ser humano. Nótese el crecimiento diferencial de la cabeza. Modificado de Kardong, 2002.

un pollito o la cría de un yacaré. Todos éstos tienen casi la misma apariencia que la del adulto, pero en proporciones más pequeñas. El juvenil crecerá gradualmente hasta alcanzar el aspecto típico del adulto y la madurez sexual.

En cada especie la duración, forma y tamaño de estas etapas pueden variar levemente en cada individuo, pero en líneas generales el proceso se repetirá de manera estable de generación en generación.

Pero, ¿qué sucedería si el tiempo de desarrollo general de una estructura o el momento de la maduración sexual se acelerara o se retardara? ¿Qué consecuencias traería esto a las generaciones futuras?

Alterando el tiempo de desarrollo

Para responder a las preguntas anteriores, debemos tener en cuenta que al alterarse el tiempo estipulado de desarrollo ontogenético habrá un cambio en la forma y tamaño. Esto puede afectar a todo el organismo o alguna región u órgano particular.

Tomemos por ejemplo el desarrollo en el ser humano. Si dis-

minuyera la tasa de crecimiento, y por consiguiente la morfología corporal se desarrollara más lentamente que lo habitual, los caracteres infantiles se mantendrían. En consecuencia al llegar la maduración sexual, el individuo conservará aún la morfología de un niño. Es decir, la etapa juvenil se prolongará, retrasando la aparición de los rasgos morfológicos del adulto, y la maduración sexual generará un adulto capaz de reproducirse, pero con rasgos infantiles. Jordi Agustí (2003), ejemplifica este proceso a través de los populares personajes de J.R. Tolkien, los Hobbits. Estos son descritos como personas de pequeña estatura, panzones, con rostros redondos y bonachones. Tolkien aclara que están emparentados a los seres humanos, pero su origen es desconocido. Esta descripción hace pensar que estos seres fantásticos podrían haber surgido a partir de seres humanos que dilataran los rasgos infantiles durante toda su vida, pero alcanzando la madurez sexual. De este modo podría explicarse la generación de una nueva especie que podríamos denominar (con el perdón de Tolkien) "*Homo*

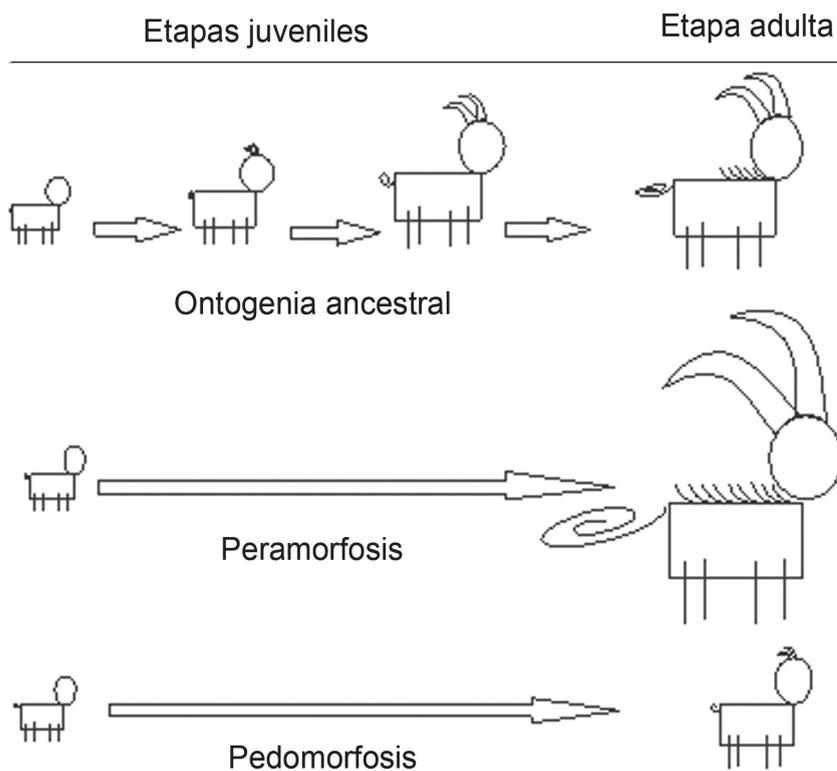


Fig. 3. Pedomorfosis y peramorfosis ejemplificados en animales hipotéticos.

hobbitiano". Sin embargo, podríamos pensar en un proceso opuesto al anterior en el cual el crecimiento de alguna estructura en particular se acelerara. Durante la vida embrionaria un bebé experimenta un crecimiento más rápido en su cabeza y, al nacer, ésta es más grande con respecto al resto del cuerpo. Al avanzar la niñez cambia su ritmo de crecimiento, se hace más lento y deja de ser desproporcionadamente grande (Fig. 2). Pero, ¿qué sucedería si la cabeza prosiguiera con una velocidad avanzada su desarrollo respecto de otras estructuras luego del nacimiento? El resultado sería un individuo adulto con una cabeza desproporcionadamente grande respecto del resto de su cuerpo. En el primer caso, "*Homo hobbitiano*" representa un tipo de heterocronía denominado pedomorfosis (del griego, *paid*: niño + *morpho*: forma), caracterizado porque el individuo adulto tiene la apariencia de los juveniles de sus antepasados (Fig. 3). El segundo ejemplo involucra otro

proceso heterocrónico, la peramorfosis (del griego, *pera*: más lejos, más allá + *morpho*: forma) en este caso, el adulto al acelerar su desarrollo, adquiere una morfología nueva o alguna región del cuerpo es mucho más grande con respecto al adulto ancestral (Fig. 3).

Pedomorfosis: dos Julios para una larva

Toda persona que haya incurrido en un negocio de mascotas ha tenido oportunidad de observar a un ajolote o axolotl (su nombre científico es *Ambystoma mexicanum*) (Fig. 4), una de las tantas especies de salamandras, oriunda de México. En uno de sus cuentos, Julio Cortázar utiliza al axolotl, como metáfora para representar la soledad existencial de la sociedad moderna. En palabras de Julio Cortázar: *Fue su quietud lo que me hizo inclinarme fascinado la primera vez que vi a los axolotl. Oscuramente me pareció comprender su voluntad secreta, abolir espacio y tiempo...* Las caminatas por *Jardin*

des Plantes, en París, despertaron en Cortázar una observación que también es aplicable a la evolución de estas salamandras. Los axolotes, lejos de tener una "voluntad secreta" lograron modificar el "espacio y tiempo" de su desarrollo morfológico. El axolote pasa toda su vida con la morfología y hábitos que caracterizan a las larvas de otras salamandras: vive en el agua, respira a través de branquias y posee una aleta en su cola (Fig. 5). La mayoría de las salamandras, luego de atravesar su metamorfosis, pasan a vivir en tierra, presentan una cola simple, y respiran por aire a través de los pulmones. El axolote, sin embargo, no llega a tener el aspecto y los hábitos de las salamandras adultas de otras especies (Fig. 5), sino que alcanza la madurez sexual y se reproduce con una morfología larval. Durante su historia evolutiva, en los ancestros de los ajolotes se produjo una desaceleración en el crecimiento corporal, que hizo prolongar la etapa larval y dio lugar a una nueva especie.

Mucho tiempo antes de que Julio Cortázar se maravillara con los axolotes, otro Julio estudió en detalle al ajolote. En 1884 Julius Kollman describió por primera vez el fenómeno observado en los ajolotes como un caso de neotenia, fenómeno espontáneo que experimentan algunos organismos animales y vegetales que alcanzan la madurez sexual manteniendo aún algunos aspectos juveniles, y constituye uno de los procesos que llevan a la pedomorfosis.

Además de la neotenia existen otros dos procesos reconocidos de pedomorfosis, la progénesis y el post-desplazamiento. En la progénesis la maduración sexual aparece muy tempranamente con respecto al ancestro. Por tal motivo el desarrollo general del organismo queda acotado, y el individuo tendrá un menor tamaño respecto de su forma



Fig. 4. Ejemplares albinos de *Ambystoma mexicanum*.

ancestral. En el post-desplazamiento por el contrario no se retarda el desarrollo corporal ni se acelera la maduración sexual, sino que es una estructura en particular la que retarda su desarrollo generando en consecuencia un crecimiento proporcionalmente menor al resto del cuerpo.

Peramorfosis: ni un paso atrás

En contraposición a la pedomorfosis, la peramorfosis muestra morfologías más avanzadas respecto de sus ancestros. Existen importantes ejemplos de peramorfosis en el registro fósil. Un caso muy llamativo es el denominado ciervo gigante irlandés, *Megaloceros giganteus* (Futuyma, 1986) que vivió en Irlanda hace 37000 años aproximadamente. Uno de los rasgos más sobresalientes de *Megaloceros* y que llamó la atención de no pocos investigadores, corresponde al tamaño de sus astas que alcanzaban los tres metros de largo (Fig. 6). Sin embargo, el tamaño de sus astas no es un dato extraño si se lo analiza en el contexto de otras partes de su cuerpo. En efecto *Megaloceros* poseía un gran tamaño, llegando a los dos metros de altura

en la cruz. En este ciervo se produjo un crecimiento prolongado de sus astas con respecto al período de crecimiento que poseía su ancestro, llevando a un gran tamaño sus astas. En este proceso peramórfico, denominado hiper morfosis, el desarrollo de una estructura se prolonga mucho más en el tiempo con respecto al momento en que finalizaba su crecimiento en el ancestro debido a un retraso en la llegada de la maduración sexual. Sin embargo no es éste el único modo en el que puede extenderse el desarrollo a través del tiempo. La

aceleración en la tasa de desarrollo, sin que se modifique el momento de aparición de la maduración sexual, permitirá que el individuo extienda su desarrollo respecto de su ancestro. Por último, es posible que los cambios ocurran sólo en una estructura u órgano particular. En el predesplazamiento una estructura se desarrolla antes respecto de su forma ancestral permitiendo que la estructura crezca más tiempo, sin que se altere necesariamente el momento de la maduración sexual.

En síntesis

Uno de los tópicos más interesantes en la biología evolutiva, lo constituye el origen y evolución de aquellos caracteres que diferencian tan bien a los organismos, y que nos permiten distinguir entre grandes grupos de seres vivos. En efecto, las diferencias morfológicas entre un caballo y una cebra, son menores que aquellas existentes entre una estrella de mar y un pez. Estos grandes cambios evolutivos, involucran lo que se denomina como “macroevolución” y pueden ser explicados a través de procesos heterocrónicos. La pedomorfosis y la peramorfosis, permiten comprender grandes cambios morfológicos entre ancestros y descendientes, sin necesidad de postular el origen de

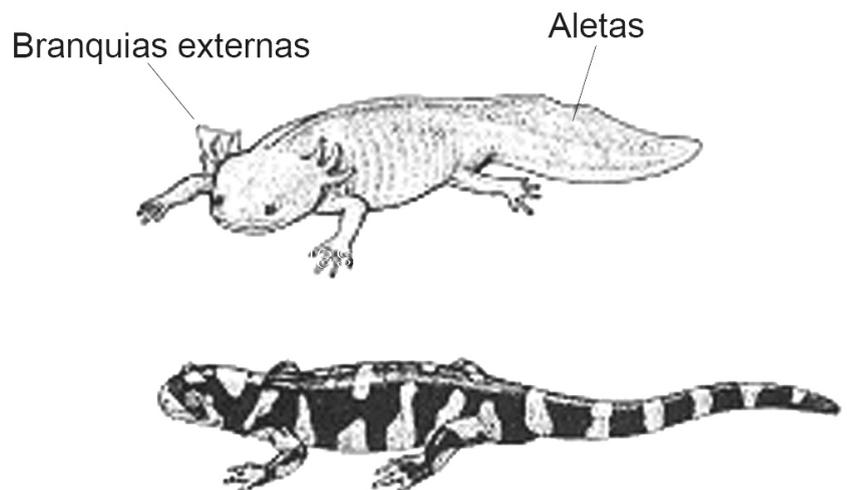


Fig. 5. Aspecto externo de la larva (arriba) y adulto (abajo) de las salamandras.



Fig. 6. Comparación de tamaño de las astas de *Megaloceros* con un ser humano.

las diferencias como una acumulación gradual de pequeños cambios a través de millones de años. Esta interpretación del proceso evolutivo ha tomado un impulso destacado gracias al libro de Stephen J. Gould *Ontogenia y Filogenia* publicado en 1977. Hasta ese momento el estudio de los procesos heterocrónicos (estudiados e identificados por primera vez por Ernest Haeckel) estaban detenidos desde principios del siglo XX, debido a una gran y confusa variedad de términos y al desconocimiento de los mecanismos genéticos subyacentes. Gould analizó en detalle los procesos he-

terocrónicos que podrían conducir a morfologías infantiles (pedomórficas) o avanzadas (peramórficas) y logró identificar los cambios en el momento de maduración sexual (progénesis e hiper morfosis), además de las modificaciones en el ritmo de desarrollo (aceleración y neotenia) (Agusti, 2003). Posteriormente se describieron otros casos en donde solamente un órgano o estructura podía iniciar su desarrollo antes (predesplazamiento) o después (postdesplazamiento) que en su ancestro. Como vemos, los diferentes procesos nombrados y ejemplificados llevan a resultados similares.

La noción de los cambios heterocrónicos se ha expandido, en el pensamiento científico y la cultura, muy rápidamente en los últimos 30 años. Estos avances en las concepciones sobre el origen de las novedades evolutivas, han sido verdaderamente peramórficos si se los compara con el desarrollo previo de estas ideas. El estudio de los procesos heterocrónicos es de gran importancia ya que por ejemplo, según algunas hipótesis, ha sido el modo por el cual se originaron grandes grupos animales como los Cordados e incluso el mismo ser humano sería una especie originada por heterocronía. Sin embargo, la comprensión de los mecanismos genéticos y moleculares que subyacen en los cambios heterocrónicos,

requieren aún de un análisis más profundo. Tal vez de ese modo, no sólo comprendamos con mayor nitidez los procesos evolutivos que tuvieron lugar en la historia de los seres vivos, sino también las bases genéticas del desarrollo ontogenético. Y quizás, le otorguemos a Peter Pan la posibilidad de detener su reloj biológico, y seguir con su morfología juvenil toda su vida en el país de nunca jamás.

Agradezco a Javier N. Gelfo por la lectura crítica y sus invaluable aportes.

Bibliografía citada

- Agusti, J.** 2003. Fósiles, Genes y Teorías. Diccionario heterodoxo de la evolución. Edit. TusQuets, colección Metatemas.
- Cortázar, J.** 1992. Final del Juego. Edit. Sudamericana.
- Futuyma, D.** 1986. Evolutionary Biology. Edit. Sinauer Associates.

* *División Paleontología Vertebrados, Museo de La Plata.*



Marroquinería
JORGE

CARTERAS - BOLSOS - VALIJAS

8 N° 687 (45 y 46)
1900 La Plata

Tel. (0221) 425-9479
Argentina