

Fisiología y evolución

MARÍA LUISA FANJUL Y MARÍA EUGENIA GONSEBATT

El papel que juegan dentro de la investigación biológica los métodos tanto experimental como comparativo, puede llegarse a entender sólo si se comprende que, tradicionalmente, ésta se ha dividido en dos campos principales de estudio: la biología de las causas proximales (inmediatas) o biología funcional y la de las causas mediatas o finales o biología evolutiva.

A principios de este siglo no existía comunicación entre estos dos campos. Los biólogos funcionalistas tendían a ser fisicalistas e induccionistas, aceptando como única metodología de estudio la experimentación; mientras que los evolucionistas tendían hacia el punto de vista opuesto, limitándose con ello a la observación y a la comparación. Tal vez la tecnología disponible y las teorías en boga, impedían que ambas áreas se integraran, a nivel de conocimiento, lo que provocó que por mucho tiempo se mantuvieran sepultados, por incomprensibles, algunos resultados de experimentos tan importantes, como los de Mendel en genética o los de Overtone sobre fenómenos a nivel de membrana celular.

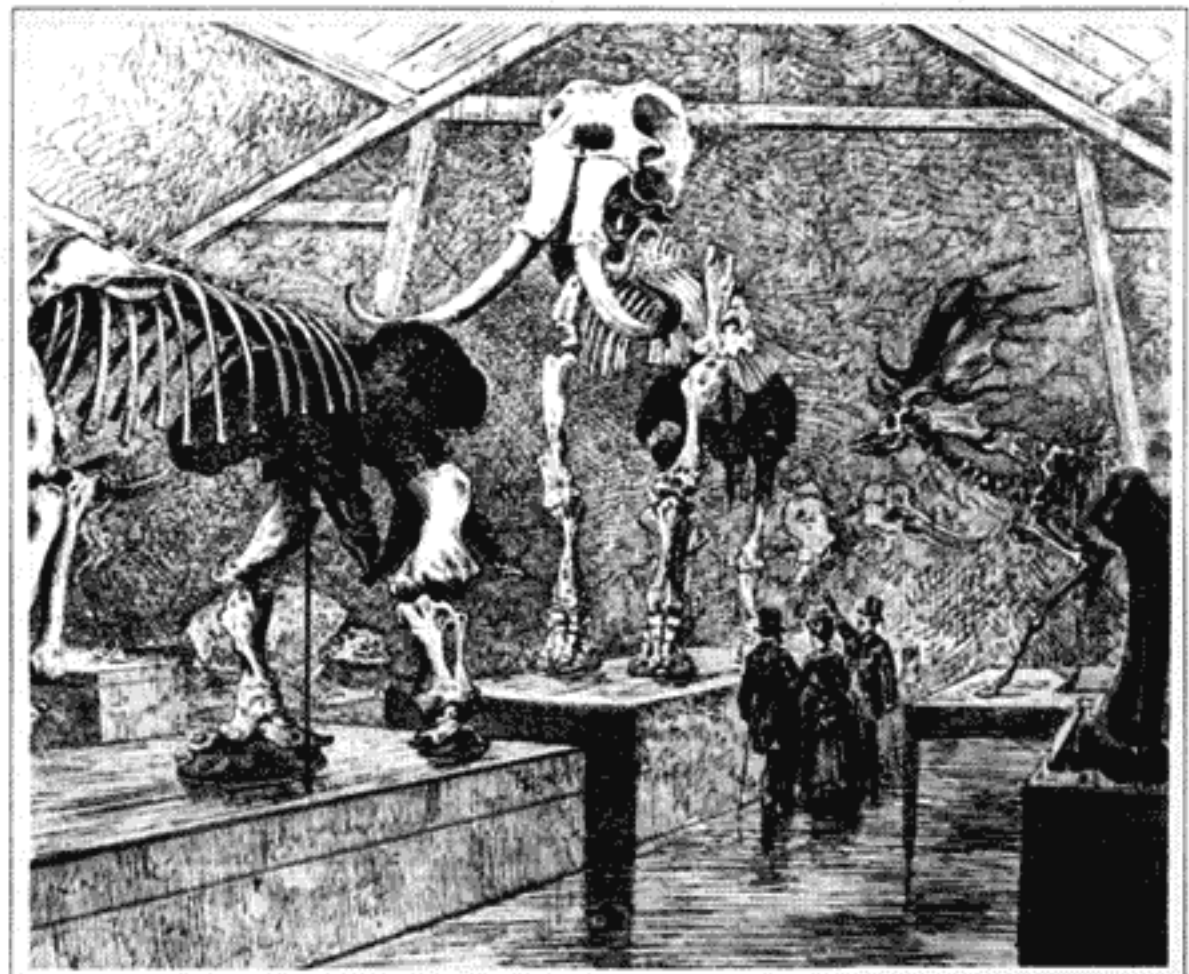
Quizá debido a que para las ciencias fisiológicas la metodología experimental es fundamental, son muy pocos los fisiólogos que han escrito sobre la teoría evolutiva. Sin embargo, actualmente queda claro que tanto las preguntas funcionales como las evolutivas son igualmente válidas. De hecho, existe un sólo fenómeno biológico que pueda ser completamente explicado si no se han explorado los dos tipos de metodologías.

Sin embargo, en biología hace falta

una segunda explicación que complementa a la primera; simplificadora, hecha en términos relacionados con principios físicos y químicos, a la que podríamos llamar "compositiva", y que, al decir de Simpson, estaría en función, por un lado, de la utilidad adaptativa que las estructuras y los procesos tengan para el organismo en conjunto y para la especie de la que forme parte, y por otro, del papel ecológico que desempeñe en las comunidades en las que exista la especie.

Uno de los problemas claves en la teoría evolutiva es el de la adaptación a través de la selección natural. Para todos

aquellos que nos dedicamos a tratar de entender los procesos fisiológicos, la explicación de la aparición de fenómenos como la osmorregulación o el torpor diurno en algunas especies, sólo tiene sentido a través de una "lógica adaptativa". A diferencia de los estudios poblacionales, la fisiología comparativa trabaja con individuos, asumiendo que su funcionalidad es una expresión de su adaptación y, puesto que en las formas fósiles no es posible llevar a cabo pruebas experimentales para estudiar la presión del medio sobre los organismos, es necesario inferir mucha de su filogenia en formas vivientes, ya bien



Galería paleontológica abierta en París en 1885.

Ma. Luisa Fanjul y Ma. Eugenia Gonsebatt:
Facultad de Ciencias, UNAM.

sea en el estado adulto o durante la ontogenia.

Se ha observado que las situaciones extremas que se dan en la naturaleza o bien se crean artificialmente en el laboratorio en condiciones controladas, son capaces de evidenciar cambios fenotípicos que no son sino la expresión de genes (polimorfismos genéticos), que reflejan la dinámica de la interacción del individuo con el medio ambiente, lo que, a nuestro entender, evidencia parte de la historia de la relación eco-fisiológica del grupo con el ambiente y con aquellos organismos con los que ha "cohabitado". Por ello pensamos que dada la variedad y la complejidad de los seres vivos, en sus funciones se acumula gran cantidad de información sobre su historia natural.

Reflexiones acerca del concepto de adaptación

En la teoría evolutiva, como lo ha señalado Mayr, el término adaptación puede tener un significado ambiguo, puesto que se utiliza tanto para indicar el proceso de "estarse adaptando" como para definir el estado de adaptación final.

Por una parte, el término se utiliza para denotar la adaptación somática, o no genética, de un individuo. Tal sería el ejemplo de la adaptación que sufre un animal a bajas presiones de oxígeno, cuando se enfrenta a cambios de latitud o a cambios en la presión hidrostática durante los periodos de adapta-

ción a las grandes profundidades (reflejo de inmersión); esta adaptación somática o de compensación, puede, desde luego, estar presente en el *pool* génico, pero no se expresa hasta que las condiciones del medio lo requieran.

Por otra parte, el mismo término de adaptación se utiliza en un sentido genético estricto, para denotar la reconstrucción de un genotipo, debido a la presión selectiva durante muchas generaciones.

Algunos autores, como Bock, restringen el término "adaptación" únicamente a los componentes fenotípicos, pero también existen definiciones que no la limitan sólo a estos componentes, sino que además, de acuerdo con Hainsworth incluyen en ella términos de eficiencia, tales como el ahorro energético, que supone la expresión de algunas isozimas en ciertos procesos de aclimatación. Mayr, a su vez, amplía la definición del término y le llama adaptabilidad, ya que está constituido por el equilibrio morfológico, fisiológico y conductual de una especie, lo que le permite competir exitosamente con miembros de su propia especie o de otras especies, además de tener tolerancia a medios físicos extremos.

Por lo tanto, la adaptación quizá se pueda considerar como la mayor eficiencia fisiológica-ecológica que llegan a alcanzar los miembros de una población. Si tomamos en cuenta sólo los aspectos fisiológicos, nos atreveríamos a decir que la selección natural ha "moldeado" las diferentes maneras en las

que pueden desempeñarse los animales y, por lo tanto, las adaptaciones se pueden considerar como atributos que favorecen la sobrevivencia y el éxito reproductivo de los individuos.

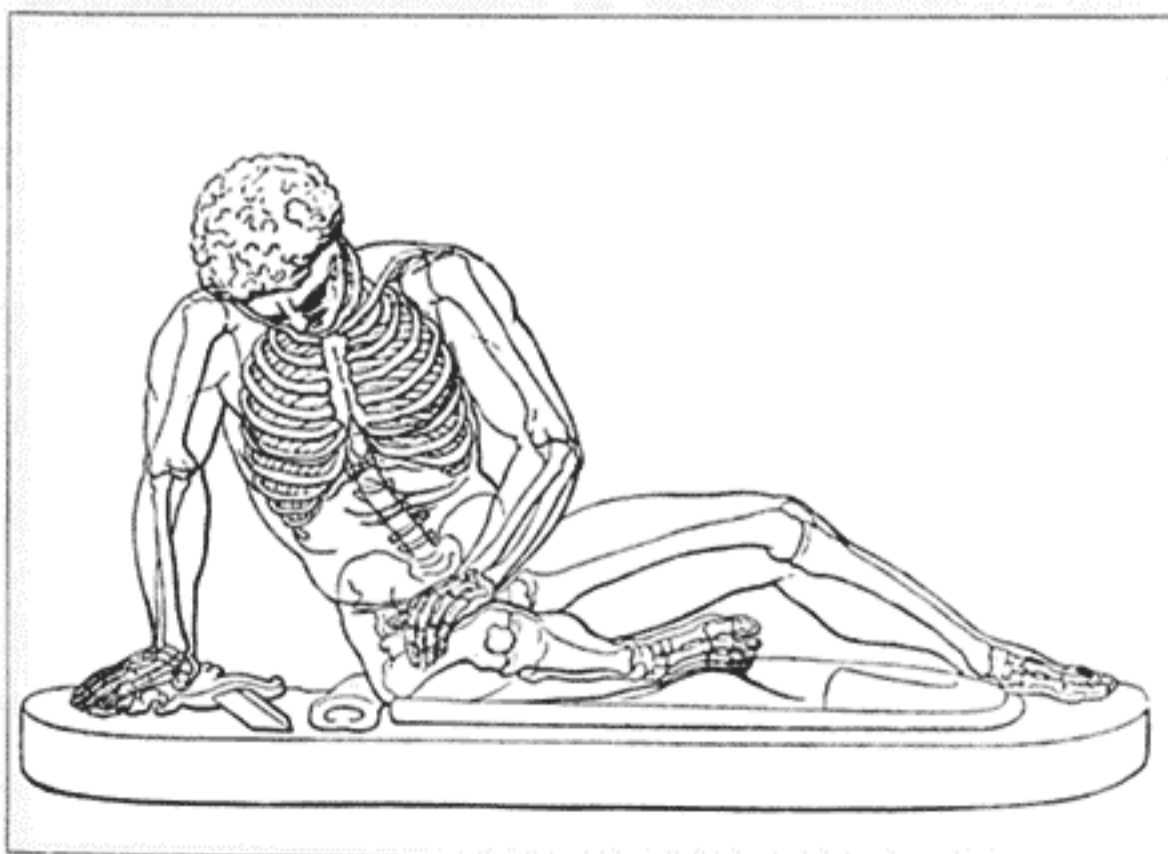
Adaptación, forma y función

La fisiología es una ciencia que estudia los diversos niveles de integración de las estructuras y funciones de la materia viva, en sus diferentes niveles jerárquicos: moléculas, células, sistemas, individuos, poblaciones y hasta sistemas ecológicos. Por lo tanto es imposible deslindar el término adaptación de la interacción entre forma y función, lo que provoca que surjan sospechas y acusaciones de lamarckismo.

Sin embargo, es interesante recordar que ya en el siglo XVIII, los filósofos franceses denominaron adaptación a la relación entre forma y función; recuérdese la ley de correlación de las partes de Cuvier, quien al ponerla en práctica pudo predecir con un solo hueso, el resto del animal, así como algunas de sus propiedades fisiológicas y ecológicas. Además, este término fue utilizado por los ensayistas británicos del siglo XIX, dentro del contexto evolutivo. "La adaptación consiste en la correlación de la estructura y los hábitos de los animales, con sus necesidades vitales y esta correlación es un hecho biológico innegable", señala Carter en su *Evolución Animal*, de acuerdo a Reid. Ni aun Lamarck hubiera estado en desacuerdo con esta idea, aunque la explicación que daba el autor de la *Filosofía Zoológica*, era la de que el organismo respondía a sus necesidades por medio de una automodificación apropiada, la cual quedaba fija en el genoma.

Actualmente lo que se sostiene es que el refinamiento de la adecuación (*Fitness*) entre el organismo y sus necesidades, se lleva a cabo por medio de la selección natural. Esto es, siguiendo a Reid, que la posibilidad de respuesta al medio está contenida en el genoma, pero se manifiesta solamente cuando encuentra una necesidad, y toda función puede ser adaptativa si la selección natural es el verdadero agente de la evolución.

Es en este momento cuando el medio ambiente juega un papel fundamental, ya que propicia que ciertas características se pongan de manifiesto (se expresen), como es el caso de las isozimas señaladas anteriormente, y que en los individuos ectotermos sólo se manifestarán en ciertas



Anatomía del cuerpo humano.



Anatomía del cuerpo humano.

condiciones de temperatura, representando para ellos la única opción de sobrevivencia en estas circunstancias.

Adaptación: paralelismo, convergencia y divergencia

Al estudiar la fisiología de los diferentes grupos animales, no deja de llamar la atención la analogía de algunas estrategias adaptativas en grupos de individuos poco relacionados filogenéticamente.

Antes de comenzar a discutir y ejemplificar estos términos, quisiéramos tratar de definirlos. En biología evolutiva se entiende por paralelismo la evolución de características similares o idénticas en linajes filogenéticamente relacionados, las cuales generalmente están basadas en modificaciones similares de las mismas vías de desarrollo. En cambio, a la evolución

convergente se la define como la evolución de características similares, o parecidas, en taxa distantes genealógicamente y, en general, con características previas diferentes o, a través de vías de desarrollo distintas.

Según Prosser, el momento en que se dice que las vías paralelas de una función se hacen convergentes, es un tanto cuanto arbitrario. Un ejemplo clásico de ello, señala el autor, es el hecho de que exista urea o ácido úrico, como productos de excreción del metabolismo proteico en grupos de animales no relacionados filogenéticamente; este paralelismo quizá se deba a mecanismos de conservación hídrica, también podría ser que las vías de síntesis de urea en la lombriz de tierra y en el riñón de los vertebrados fueran distintas; sin embargo las evidencias no son completas. De la misma manera, la pro-

ducción de ácido úrico en un pollo puede ser diferente a la de las serpientes y los insectos, pero también faltan pruebas que lo demuestren.

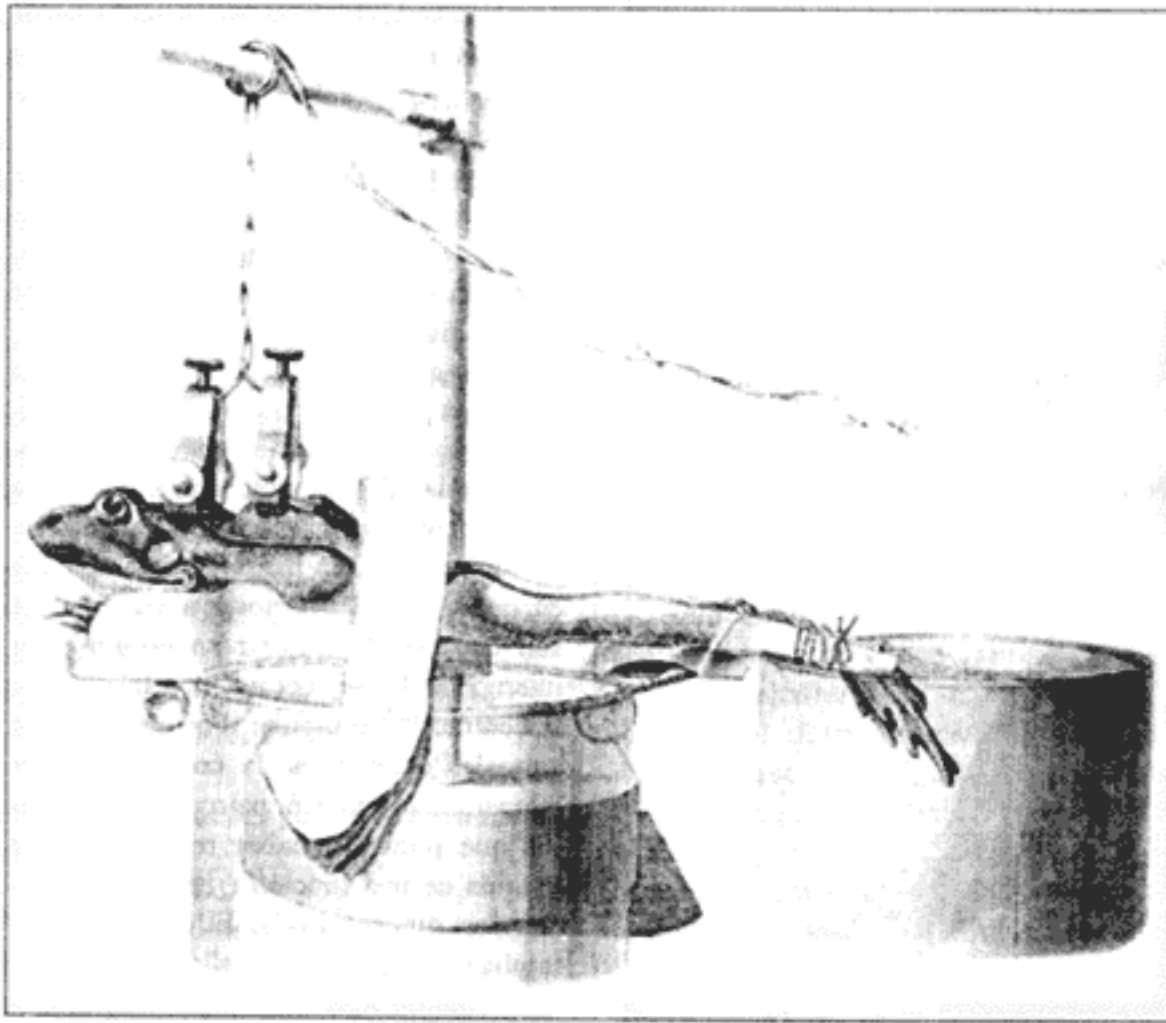
En la naturaleza encontramos numerosos ejemplos en los que animales procedentes de diferentes linajes evolutivos parecen haber convergido desde puntos de partida diferentes.

La regulación de temperatura es una estrategia repetida a través de la escala filogenética. No podemos decir que la homeotermia, o la endotermia como sería más correcto decir, sea una estrategia restringida a aves o a mamíferos; también la encontramos en insectos, ya que algunos son capaces de generar su propio calor interno mediante mecanismos tales como la contracción muscular. Por otro lado, en animales ectotermos, la conservación de temperatura involucra patrones conductuales que pudieran haber reemplazado la pérdida de una función (¿eran endotérmicos los dinosaurios?). Ello obviamente implica que para desarrollar estos patrones debieron a su vez surgir centros nerviosos con el mismo objetivo, el mantenimiento de la temperatura corporal, con una mayor eficiencia energética, a costa de una menor eficiencia en otras funciones como por ejemplo la locomoción. Este fenómeno entonces parece ser un ejemplo típico de convergencia.

Otro caso muy claro de evolución convergente, tanto en artrópodos como en vertebrados, es el del desarrollo de órganos neurohemales, para la regulación neuroendócrina. En los primeros los sistemas órgano X-glándula sinusal de los crustáceos y *pars intercerebralis-corpora allata* en los insectos, son similares al eje hipotálamo-hipófisis de los vertebrados. Debido a que estos sistemas neuroendócrinos de vertebrados e invertebrados no son homólogos, los podemos considerar como un notable ejemplo de convergencia evolutiva en grupos animales altamente divergentes.

Un ejemplo más lo encontramos en el aparato respiratorio. La presencia de branquias tanto en invertebrados como en crustáceos y vertebrados, como los peces, que muestran exactamente el mismo diseño para la misma función; es decir el sistema vascular se encuentra contenido en laminillas paralelas, que al ser bañadas por el flujo continuo de agua, permiten la captación de oxígeno.

Los caracteres etológicos, que desde luego tienen un sustrato funcional, nos muestran ejemplos preciosos de conver-



Formas de experimentación con ranas, de Emil Du-Bois Reymond en 1848.

gencia evolutiva. Tal es el caso de las migraciones que se pueden observar en grupos divergentes como lo son las aves y los insectos, y en animales acuáticos, procedentes de grupos filogenéticamente diferentes que viven en regiones polares. Estas regiones frías poseen una gran abundancia de vertebrados endotermos (aves, mamíferos, focas y cetáceos), así como diferentes invertebrados, para los cuales la única forma de sobrevivencia en el invierno, estación para la cual no hay alimento disponible, es emigrar, cambiar la dieta, cambiar el estado de vigilia a expensas del metabolismo basal (torpor, diapausia, hibernación) o bien la alternancia de generaciones.

En las regiones árticas se puede observar entonces una gran convergencia en las funciones, desde la involución del crecimiento que presentan los celenterados y los ctenóforos, hasta la presencia de migraciones y el torpor que comparten vertebrados e invertebrados de líneas filogenéticas distintas.

Hemos tratado que en los ejemplos de convergencia evolutiva que escogimos, se cumpla la definición formal de la misma y no confundirla con el paralelismo; sin embargo, lo consideramos difícil, pues volviendo a Prosser: "Se pueden hacer correlaciones

superficiales entre adaptaciones fisiológicas y la filogenia. Aunque existe un gran fundamento científico en las filogenias, se deben reexaminar muchas más especies, desde un punto de vista experimental en el que se contemplen aspectos fisiológicos, bioquímicos y moleculares."

Sin embargo, como dice Dawkins, las similitudes convergentes, aunque superficiales, son demostraciones espectaculares de la acción de la selección natural al agrupar "los diseños funcionales adecuados". Si un diseño es suficientemente bueno para evolucionar por primera vez, se utilizará nuevamente una y otra vez, desde diferentes puntos de partida y en diferentes partes del reino animal. Un caso muy claro de ello es que cada vez que se requiere gran eficiencia para conservar o para obtener agua, gases o calor, aparecen los flujos en contracorriente, que optimizan estos procesos. Cuando se observa en la escala filogenética, la repetición de estos diseños, no solo se coincide con Dawkins, sino que no se puede dejar de pensar que esta repetición puede también evidenciar fracasos o limitaciones para generar estrategias diferentes.

Si las definiciones de convergencia y paralelismo se pueden prestar a arbitrariedades, el tratar de ejemplificar adaptacio-

nes divergentes es relativamente sencillo. Cuando dos poblaciones divergen en composición genética por adaptaciones a diferentes medios, algunas diferencias genéticas les pueden conferir aislamiento reproductivo, lo cual llevará a la especiación y a la diversificación.

La evolución de mecanismos osmorreguladores ha tenido un efecto de largo alcance, en aspectos de especiación y diversificación. En los mamíferos los desechos nitrogenados son excretados en el riñón, predominantemente en forma de urea, y en las aves y reptiles como ácido úrico. El cambio evolutivo desde la excreción de amoníaco en los vertebrados acuáticos primarios (peces y anfibios), a la excreción de urea, y subsecuentemente a excreción de ácido úrico, representa un mecanismo divergente en la historia natural de los vertebrados, a pesar de excepciones bien conocidas, como lo son las de los anfibios uricotélicos y los cocodrilos amniotélicos. Esta evolución divergente, necesaria para el balance ácido-base y la excreción de desechos nitrogenados, es un resultado de la respiración aérea, al igual que lo es la de la presión selectiva, que favorece cambios fisiológicos y morfológicos para la conservación de agua en el medio terrestre.

Hemos tratado de ejemplificar la manera en que al relacionar estructura y función en los diversos grupos animales, la repetición de algunos fenómenos, así como la diversidad de expresión de otros, nos llevan a un nivel más complejo de análisis, en donde la óptica adaptativa y los conceptos evolutivos se hacen indispensables.

Bibliografía

- Bock, W. F., 1959, "Preadaptation and multiple evolutionary pathways", *Evolution* 13: 194-211.
- Dawkins, R., 1987, *The blinded watchmaker*, W. W. Norton & Co. Inc., New York, 322 p.
- Heinsworth, F. R., 1981, *Animal physiology adaptations in function*, Addison-Wesley Publishing Co.
- Mayr, E., 1988, *Toward a new philosophy of biology*, Harvard University Press, 562 p.
- Prosser, C. L., 1965, "Levels of biological organization and their physiological significance", in: J. A. Moore (ed.) *Ideas in modern biology*, Natural History Press, Garden City, New York, pp. 357-390.
- Rcid, R. G. B., 1985, *Evolutionary theory the unfinished synthesis*, Croom Held, London, 380 p.
- Simpson, G. G., 1964, "Organism and molecules in evolution", *Science*, 146: 1535-1538.