

¿ES PERFECTA LA NATURALEZA?

Con frecuencia nos maravillamos ante las adaptaciones de los seres vivos. La notable precisión con la que el cuerpo de un insecto imita las hojas de la planta sobre la que vive, el sofisticado sistema de sonar mediante el cual algunos murciélagos pueden atrapar una pequeña polilla en la oscuridad total o la fina coordinación con la que las numerosas partes que forman nuestro ojo actúan posibilitando la visión, son solo algunos ejemplos de adaptación. Y tal es la sofisticación funcional de estos rasgos que muchas personas se ven tentadas a pensar que estos rasgos son, de hecho, perfectos y que, por extensión, la naturaleza que los ha producido es perfecta. En este capítulo de “evolución a la deriva” analizaremos críticamente esta idea y veremos por qué, a pesar de la notable complejidad adaptativa que exhiben, los seres vivos no son -ni podrían ser- perfectos. La clave para comprender esta cuestión está en los procesos que dan origen a esos seres vivos y sus rasgos, es decir, en los mecanismos evolutivos. El principal de dichos mecanismos evolutivos y el único conocido capaz de producir adaptación es la selección natural. Por eso, para comprender por qué la naturaleza no es perfecta debemos comprender los factores que limitan el poder de la selección natural para producir adaptación.

Pero antes de analizar esos factores, debo convencer al lector de que, de hecho, los seres vivos no somos perfectos. A tal efecto comentaré un par de ejemplos que dejarán claro, o así lo espero, que algunos rasgos de los seres vivos podrían ser mucho más adecuados a los fines que presuntamente sirven¹ de lo que de hecho son.

EL “DISEÑO SUBÓPTIMO” O LA IMPERFECCIÓN DE LA NATURALEZA

Tomemos como primer caso el ojo de los vertebrados, un rasgo que sirve habitualmente como ejemplo paradigmático de supuesta perfección biológica para ver que, paradójicamente, también serviría como ejemplo paradigmático de “mal diseño biológico” debido a una característica conocida como “retina invertida”. Si observamos un esquema de la estructura del ojo (figura 1.a) veremos un detalle curioso. La retina es la capa de neuronas y células sensibles a la luz (conos y bastones) que recubre la superficie interna del ojo. La luz impacta en la retina y las células nerviosas envían una señal al cerebro mediante sus fibras nerviosas. Estas fibras provenientes de todas las células nerviosas de la retina se juntan formando el nervio óptico que se dirige hacia el cerebro, donde la información visual será procesada e integrada permitiendo la formación de imágenes. Hasta aquí todo parece muy razonable. El detalle que hace que este

1. Utilizaré en este artículo un lenguaje deliberadamente finalista, es decir, que supone pensar (a los seres vivos en nuestro caso) en términos de fines, metas, propósitos o funciones. En esa misma línea utilizaré algunas veces la expresión “diseño biológico”. Este modo de que hablar de los seres vivos es muy útil (y tal vez inevitable) pero implica el riesgo de creer que la evolución que produce a estos organismos está guiada por ciertas metas predefinidas y eso sería un grave error. Podemos pensar entonces que el lenguaje finalista (función, utilidad, diseño biológico, etc.) se basa de una metáfora que consiste en tratar a los seres vivos o sus partes como si hubieran sido diseñados intencionalmente, pero recordando siempre que, en realidad, es la selección natural la que produce esa ilusión de diseño intencional.

maravilloso sistema no sea perfecto es que las fibras de las células de la retina se proyectan hacia adelante (figura 1.a) y esto es un problema porque el cerebro está ubicado detrás de los ojos. Así, las fibras nerviosas de cada célula de la retina deben luego dirigirse hacia atrás, convergiendo y atravesando la propia retina en un punto. Este punto es, inevitablemente, un “punto ciego” insensible a la luz. Otro problema es que la luz debe atravesar las fibras nerviosas antes de impactar en las células sensibles. Es fácil ver que hubiera sido mejor que esas fibras nerviosas se proyectaran directamente hacia atrás, lo que acortaría el trayecto hasta el cerebro y evitaría la existencia del punto ciego ¿Por qué en general no somos conscientes de que tenemos ese punto ciego? La respuesta radica en que el cerebro “edita” la información visual de modo de corregir ese -y muchos otros- problemas propios del aparato óptico de percepción de modo que no notamos esos errores². Para herir nuestro orgullo de vertebrados, la evolución produjo una versión muy semejante a nuestros ojos pero sin el defecto de la “retina invertida” en unos animales con los cuales no estamos cercanamente emparentados: los moluscos cefalópodos (pulpos, calamares y jibias). En efecto, en los cefalópodos los ojos son notablemente semejantes a los nuestros pero las fibras nerviosas de las células de la retina se proyectan directamente hacia atrás (figura 1.b), llegando al cerebro sin producir un punto ciego. El gran científico alemán Hermann von Helmholtz dijo (citado por Richard Dawkins en Evolución. El mayor espectáculo sobre la Tierra) del ojo que:

Si un óptico quisiera venderme un instrumento que tuviera todos estos defectos, me creería con toda la razón para acusarle de negligencia y devolvérselo.

2. Hay, sin embargo, un modo de notar la existencia del punto ciego: cierre el ojo izquierdo y luego con el derecho enfoque algún objeto ubicado enfrente de usted, por ejemplo, la punta de una lapicera. Luego mueva la lapicera hacia la derecha sin permitir que el ojo derecho la siga: la lapicera “desaparecerá” cuando esté a unos veinte grados de la línea central de visión. Del mismo modo, podrá comprobar que el ojo izquierdo es ciego a unos veinte grados a la izquierda.

Vamos ahora al segundo ejemplo. De este otro “defecto de diseño”, presente en todos los vertebrados con pulmones, somos bien conscientes porque con frecuencia nos trae algún problema en general menor, pero a veces trágico... Me refiero al atragantamiento durante la ingesta de algún alimento ¿Por qué ocurre este molesto y potencialmente peligroso fenómeno? La respuesta es que el tubo por el que corre el aire (la tráquea, parte del sistema respiratorio) se cruza en un punto con el tubo por el que corre el alimento (el esófago, parte del sistema digestivo). Esto es una consecuencia del hecho de que el sistema respiratorio se originó evolutivamente como una ramificación del tubo digestivo, por lo que ambos sistemas quedaron cruzados en el punto de ramificación (figura 2.a). Al igual que en el caso del ojo, aquí también vemos que la evolución ha producido ingeniosos mecanismos (la epiglotis y demás) que permiten compensar (hasta cierto punto) este “error de diseño”. El mismo Charles Darwin en *El origen de las especies* (1859) (citado por Randolph Nesse y George Williams en *¿Por qué enfermamos?*) notó este problema funcional y señaló que resulta difícil

(...) comprender el extraño hecho de que cualquier partícula de comida y de bebida que traguemos tenga que pasar por encima del orificio de la tráquea, con el riesgo de precipitarse en los pulmones, a pesar del bello dispositivo con el que se cierra la glotis.

Y, nuevamente para nuestra humillación, la evolución ha producido otros organismos que en relación con este rasgo están “mejor diseñados”. Por ejemplo, en los insectos el sistema respiratorio (sistema traqueal) es totalmente independiente del digestivo (figura 2.b); la humilde mosca no puede atragantarse, ¡pero nosotros sí!

Estos son solo dos ejemplos que muestran que si bien los seres vivos estamos maravillosamente adaptados a nuestras condiciones de vida dicha adaptación dista mucho de ser perfecta. A continuación analizaremos algunas de las razones que explican por qué la adaptación no es, ni podría ser perfecta.

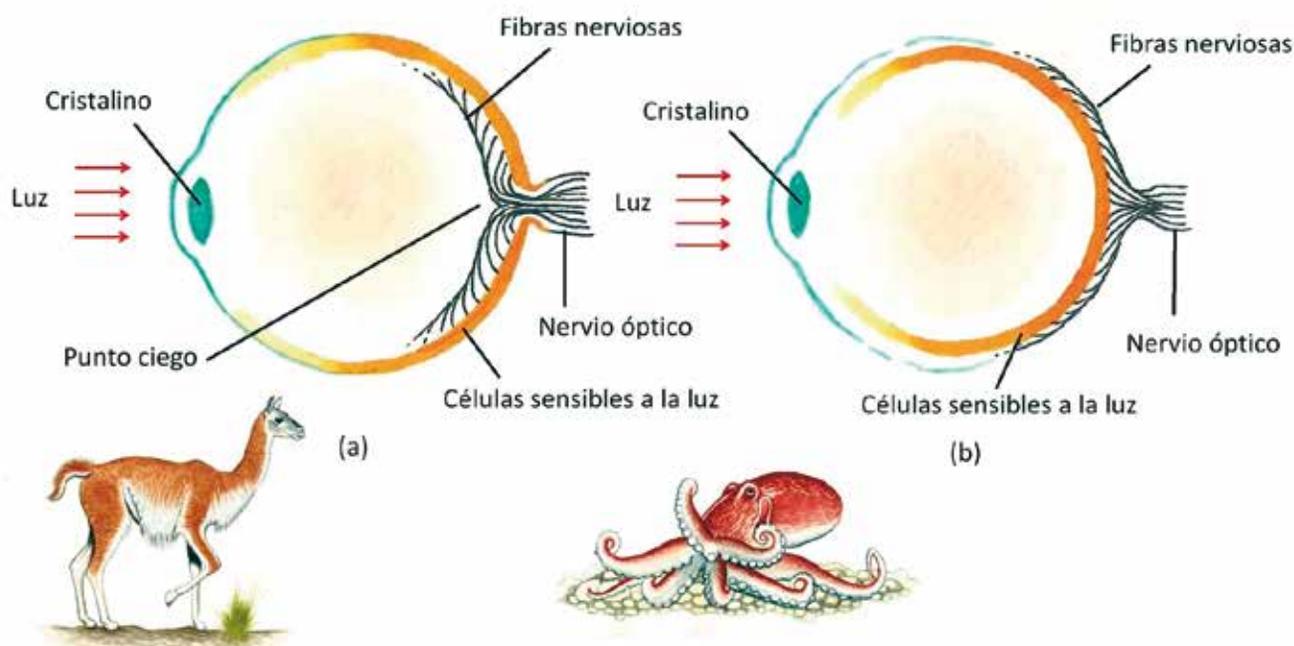


Figura 1. Comparación de la estructura (muy simplificada) de la retina de los vertebrados (a) y de los cefalópodos (b). Se observa cómo en el caso de los vertebrados (a) la luz debe atravesar una capa de fibras nerviosas antes de llegar a las células fotosensibles (capa anaranjada) y cómo las fibras generan el “punto ciego” al volverse hacia atrás para formar el nervio óptico, mientras que en el caso de los cefalópodos (b) la luz llega directamente a las células fotosensibles y las fibras nerviosas se dirigen directamente hacia atrás sin formar un “punto ciego”. Ilustración: Leonardo González Galli.

¿POR QUÉ LA EVOLUCIÓN NO PUEDE PRODUCIR PERFECCIÓN?

Tal como ya mencionamos la imperfección de la naturaleza se explica por los factores que limitan el poder de la selección natural para producir adaptación. A continuación comentaremos algunos de estos factores³.

ORIGEN AZAROSO DE LAS VARIANTES

La evolución tiene como “materia prima” las variaciones genéticas azarosas o aleatorias que se dan entre los individuos como consecuencia de las mutaciones genéticas y la reproducción sexual. Es importante recordar aquí

3. Para comprender muchas de estas razones debemos tener en claro cómo opera el principal mecanismo de cambio evolutivo; la selección natural. Para no reiterar aquí la explicación esa remitimos a los/as lectores/as a los artículos “La orquídea balde y otros diez millones de especies” y “El extraño caso de las nutrias suicidas”, de los números anteriores en esta misma sección.

que “aleatorio” tiene en este contexto un significado muy preciso: se refiere a que no existe relación entre la ocurrencia de estas variaciones genéticas y sus efectos sobre el organismo. Es decir, el hecho de que un individuo nazca con una mutación concreta es totalmente independiente de si dicha mutación tendrá o no algún efecto sobre su fenotipo y de si dicho efecto, en caso de existir, resultará ventajoso, desventajoso o neutral desde el punto de vista de la adaptación. Así, una mutación que en principio podría mejorar el ajuste entre el organismo y su ambiente podría simplemente no ocurrir, por pura “mala suerte”. Además, en caso de ocurrir, su poseedor podría tener una baja supervivencia por motivos accidentales, no relacionados con la mutación ventajosa que posee. Por ejemplo, un individuo de una población de guanacos que nació con una mutación que le otorga una mayor velocidad a la carrera (ventajosa porque le permite evitar a depredadores como los pumas con más eficacia) podría morir antes de dejar descendencia como consecuencia de una infección bacteriana, de modo que la mutación en cuestión no se perpetuaría.

LOS LÍMITES QUE IMPONE EL DESARROLLO

Para cualquier organismo que observemos podríamos imaginar alguna mejora funcional. Por ejemplo, si observáramos una escena en la que un puma persigue a un guanaco veremos que ambos animales presentan una notable adaptación en relación con la carrera. Sin embargo, viendo esa persecución, es fácil imaginar que al guanaco le sería de mucha utilidad para evitar al depredador un par de alas ¿Por qué no evolucionaron los guanacos alados? Más allá de otras consideraciones -que exploramos en los demás apartados de este artículo- una respuesta posible es que esa variante no es posible dado el programa de desarrollo del guanaco. Los cambios evolutivos se dan por pequeños cambios genéticos que afectan el desarrollo (todos los cambios que llevan desde la primera célula producto de la fecundación hasta el adulto). Así, cualquier novedad evolutiva es producto de un cambio en el proceso de desarrollo que produce las estructuras del organismo en cuestión. Algunas variaciones (las alas del guanaco podrían ser el caso) están “prohibidas” por el actual programa

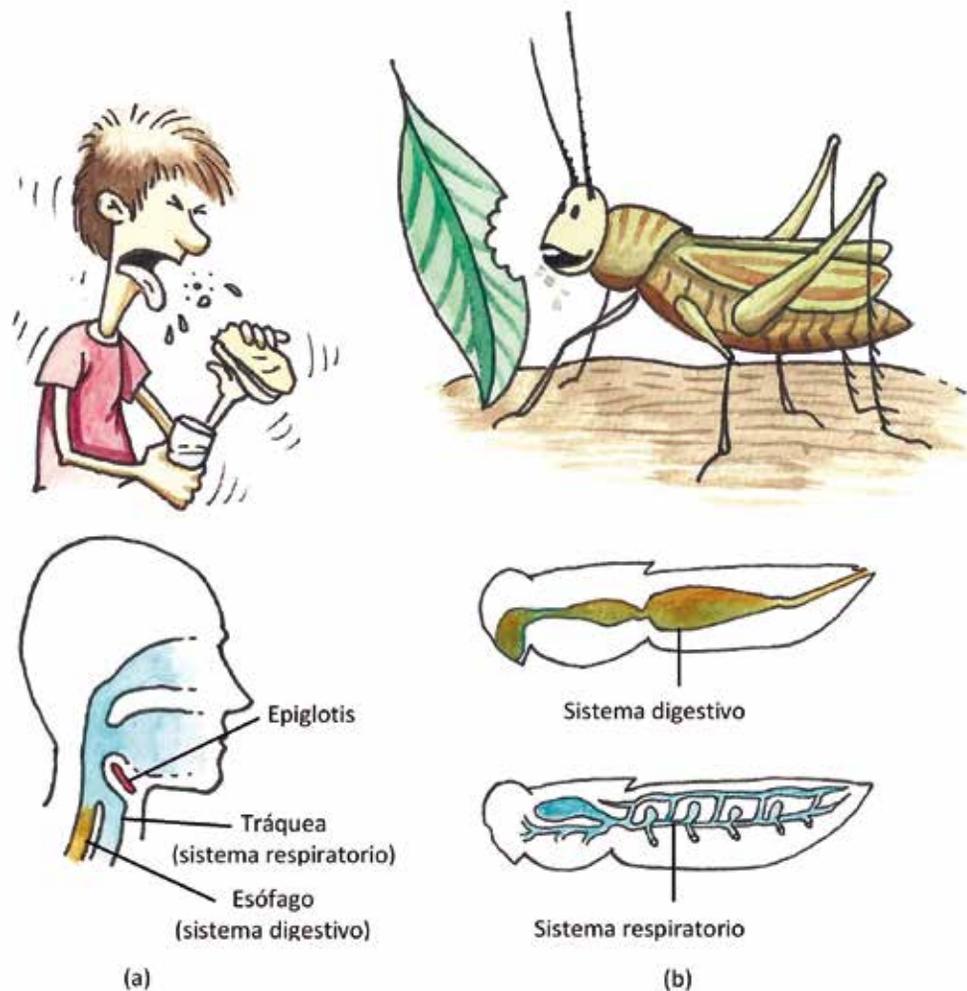


Figura 2. Comparación de la relación entre los sistemas digestivo y respiratorio (muy simplificados) en humanos (a) e insectos (b). En el caso de los mamíferos (a) ambos sistemas se cruzan, generando el problema del atragantamiento, mientras que en el caso de los insectos (b) ambos sistemas son totalmente independientes. Ilustración: Leonardo González Galli.

ma de desarrollo porque es posible que la construcción de esa estructura nueva demande un cambio radical del programa de desarrollo que afectaría dramáticamente a muchas otras estructuras, de modo que la probabilidad de que el resultado neto de ese cambio radical resultara adaptativo es remota. En síntesis, dado el programa de desarrollo responsable de la versión actual del guanaco la versión alada podría, simplemente, “no estar en el menú” para la selección natural.

RESTRICCIONES FÍSICAS

Siguiendo con el ejemplo del puma y el guanaco. Es bastante evidente que para los guanacos un incremento en la capacidad de correr velozmente será ventajosa. Como consecuencia, la selección natural incrementará la frecuencia de cualquier variación de origen genético que permita a su poseedor correr

un poco más rápido. Así, a través de las generaciones, la selección natural incrementará la velocidad máxima que los guanacos son capaces de alcanzar. Cabe preguntarse entonces hasta qué punto la selección podría incrementar la velocidad máxima. Supongamos que solo una velocidad de al menos 80 km/h asegurara (excepto por cuestiones accidentales como algún ocasional tropiezo) el escape en caso de un ataque de pumas. ¿Podemos esperar que la selección llegue a producir esa capacidad? No necesariamente. Una razón (además de las mencionadas en los demás apartados) es que existen restricciones físicas que podrían limitar ese cambio. Por ejemplo, las patas más delgadas en general permiten una mayor velocidad. Sin embargo, superado cierto umbral las patas demasiado finas se vuelven muy frágiles. Así, en algún punto, la selección dejará de favorecer patas más delgadas (porque se quiebran) por más que dicho cambio implique una mayor velocidad.

Y este límite podría implicar que la velocidad máxima sea de 70 km/h, sin llegar al ideal, a la “perfección” de los 80 km/h. Así, factores puramente físicos, en este caso la relación entre la sección transversal de los huesos de la pata y la resistencia a la fractura (factor que opera del mismo modo en las columnas de un edificio), imponen límites a los cambios que la selección natural puede producir.

CAMBIOS EN EL AMBIENTE EN GENERAL: LA REINA ROJA

Imaginemos, para poder pensar en este problema, que el guanaco vive en ambientes con poca vegetación, de modo que el color del medio dominante es un color tierra. Mientras el color del entorno se mantenga constante la selección favorecerá cualquier variante que suponga un mayor parecido entre

la coloración del guanaco y la del suelo debido a que los pumas tendrán más dificultad para detectarlos. Sin embargo, es fácil comprender que si el color del suelo cambia a través del tiempo este ajuste será inevitablemente menor: mediante selección se impondrá la variante marrón mientras el suelo sea de ese color, pero si la propagación de una planta vuelve verdoso el entorno la selección favorecerá cualquier variante verdosa (¡si la hubiere!) o manchada si eso resultara ventajoso dado el juego de luces y sombras del follaje. Así, cuanto más cambiante sea el entorno menor será el ajuste adaptativo. Y como ningún ambiente es totalmente estable siempre habrá cierto grado de desajuste dado por este desfase temporal entre los cambios ambientales y la respuesta adaptativa mediante selección natural. Metafóricamente, podemos decir que las poblaciones están “corriendo todo el tiempo para estar siempre en el mismo lugar”. De allí la comparación con la Reina Roja, personaje del libro *A través del espejo y lo que Alicia encontró allí* de Lewis Carroll que, según la historia, debía estar siempre corriendo para permanecer en el mismo lugar. O, recurriendo a otra metáfora, podemos pensar que aquello a lo que la especie se adapta (el ambiente) es como un “blanco móvil”: por más que la selección incremente el ajuste, dicho ajuste nunca será total porque el ambiente está siempre cambiando.

CAMBIOS EN EL AMBIENTE BIÓTICO: COEVOLUCIÓN

Siguiendo con el ejemplo de los guanacos y los pumas, podemos suponer que -mientras haya variación genética disponible y mientras las restricciones físicas lo permitan- la selección incrementará la velocidad que alcanzan los guanacos debido a la ventaja que esto implica frente a los ataques de pumas. La perfección, en este caso, consistiría en que la capacidad de carrera asegurara el escape, pero esto depende de qué velocidad alcance el

depredador. Sin embargo, la velocidad de los depredadores no es una variable fija: el depredador también evoluciona y dado que sus presas huyen a la carrera la selección favorecerá cualquier variante más veloz en las poblaciones de pumas. Como consecuencia, el valor de velocidad que deberían superar los guanacos para llegar a la “perfección” está variando todo el tiempo. Nótese que estamos frente a una variante del fenómeno de la Reina Roja en el que el factor ambiental que cambia (impidiendo un ajuste adaptativo perfecto) es un factor biótico; otro ser vivo que evoluciona. En estos casos se habla de “coevolución”⁴ porque los cambios evolutivos de dos especies se influyen recíprocamente: el incremento en la velocidad de los guanacos hace que se seleccionen los pumas más veloces y viceversa. Esta es también la razón por la cual una adaptación tan maravillosamente sofisticada como el sistema inmunológico de los vertebrados jamás llegará a proteger totalmente a estos animales del acoso de virus, bacterias y demás parásitos, debido a que estos patógenos también están evolucionando continuamente (y, de hecho, al tener cortos tiempos generacionales lo hacen más rápido que sus víctimas), adquiriendo mediante selección natural nuevas adaptaciones que les permiten sortear las barreras inmunológicas de sus hospedadores.

EL LASTRE HISTÓRICO

Mencionaremos, como última razón que explica la imperfección biológica, el hecho de que la selección solo puede retener y dispersar cualquier mejora que surja de las estructuras ya existentes pero no puede construir nada “desde cero”. Esto impone restricciones fuertes sobre los cambios posibles. La siguiente analogía puede ayudarnos

4. También se habla de “carrera armamentista”, por analogía con el proceso competitivo de retroalimentación positiva en la cantidad y potencia del arsenal armamentístico que se dio entre EUA y la entonces URSS durante la “guerra fría”.

a comprender este factor. Imaginemos dos ingenieros a los que se les encarga diseñar un automóvil. Uno, llamémoslo “a-histórico”, tiene a su disposición todas las materias primas necesarias y total libertad para usarlas de acuerdo con sus criterios de diseño. El otro, que llamaremos “histórico”, en cambio, debe construir el automóvil a partir de un carro de los que se usaban con caballos y cada cambio que introduzca debe mejorar el funcionamiento del carro en algún sentido relevante para su función como medio de transporte. No es imposible imaginar que el ingeniero “histórico” logre, después de muchos cambios, imaginación y esfuerzo, construir un automóvil, pero es evidente que su tarea será mucho más difícil que la del ingeniero “a-histórico”. No es imposible imaginar que el ingeniero “histórico” logre, después de muchos cambios, imaginación y esfuerzo, construir un automóvil, pero es evidente que su tarea será mucho más difícil que la del ingeniero “a-histórico”. Nótese que el ingeniero “histórico”, al igual que la selección natural, no se puede permitir hacer un cambio que no implique ninguna mejora inmediata previendo que *en el futuro* agregará otro cambio que dará sentido al primero. Es decir, no se puede permitir realizar cambios que resulten inútiles en lo inmediato pero que en el futuro (ocurrido otro cambio) serán de utilidad. Para decirlo de otro modo, el ingeniero “histórico”, al igual que la selección natural, no tiene capacidad de previsión y eso limita sus logros.

ALGUNAS REFLEXIONES FILOSÓFICAS A MODO DE CIERRE

La cuestión de la perfección o imperfección de los seres vivos tuvo (y aún tiene) un interés filosófico más allá de lo estrictamente biológico. Esto se debe a que la presunta perfección de los organismos era coherente con la cosmovisión religiosa según la cual las especies no cambian (fijismo) y fueron creadas, tal y como las conocemos ac-

tualmente, por un creador todopoderoso (creacionismo). Este era uno de los principales componentes de la doctrina cristiana que dominó Europa desde el siglo X. Por el contrario, desde el punto de vista evolucionista la imperfección es exactamente lo que cabría esperar, por todas las razones que analizamos en los párrafos precedentes. Así, esta imperfección o “diseño subóptimo” se constituyó en una evidencia a favor de la hipótesis evolucionista y en contra del creacionismo.

La imperfección biológica es entonces un rasgo inevitable en organismos que son el resultado de un proceso histórico no dirigido y sin previsión que se basa en variaciones aleatorias. Un proceso que si bien puede generar una increíble complejidad adaptativa está siempre restringido por el azar y por los límites que las estructuras ya existentes y el desarrollo imponen a los posibles cambios futuros. Así, nuestras imperfecciones nos recuerdan nuestro origen histórico: no somos un modelo creado de la nada sino la última versión de un modelo que viene siendo modificado “chapuceramente” desde hace unos tres mil ochocientos millones de años. De hecho, la enfermedad en todas sus formas (infecciones, cáncer, fracturas óseas, etc.) es la más palpable muestra de esta imperfección. Recuerde entonces, querido lector, cada vez que se atragante que ese percance es consecuencia de que nuestro sistema respiratorio surgió, en algún lejano antepasado, como una ramificación del tubo digestivo, de modo que ambos sistemas -respiratorio y digestivo- quedaron irremediablemente cruzados. Y si esa reflexión le genera algún rencor contra la evolución repare luego en el notable funcionamiento de la epiglotis (que evita que se atragante fatalmente cada vez que come) y vuelva a maravillarse con el poder de adaptación de la evolución por selección natural. ■ ■ ■

Por Leonardo González Galli

Instituto de Investigaciones CEFIEC
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA
Escuela Argentina de Naturalistas
Aves Argentinas

SOBRE LOS PROTAGONISTAS

Mammalia - Artiodactyla - Camelidae - *Lama guanicoe* (guanaco).

Mammalia - Carnivora - Felidae - *Puma concolor* (puma).

Mollusca - Cephalopoda (cefalópodos: caracterizada, entre otras cosas, porque el pié forma un número variable de brazos y tentáculos. Los pulpos, calamares y jibias pertenecen a este grupo).

LECTURAS SUGERIDAS

Dawkins, R. 2009. Evolución. El mayor espectáculo sobre la Tierra. Editorial Espasa Calpe. Madrid. Traducción de Jesús Fabregat. 430 páginas.

Nesse, R. y Williams, G. 2000. ¿Por qué enfermamos? Editor Grijalbo Mondadori. Barcelona. 348 páginas.

Shubin, N. 2009. Rasgos anatómicos del pasado. Investigación y Ciencia, 388: 42-45.

GLOSARIO

Fenotipo. Todas las características de un organismo (excepto sus genes) que resultan de la interacción entre los genes y el ambiente durante el desarrollo.