

EVOLUCIÓN

VOLUMEN 2 (2) 2007



LA EVOLUCIÓN NO DESCANSA, por J. MARTÍN Y P. LÓPEZ — 2
DESDE LA PRESIDENCIA, por M. SOLER — 3

ARTÍCULOS:

FONTDEVILA, A.

Reconstruyendo a Darwin — 5

SEQUEIROS, L. y GARCÍA CRUZ, C.M.

El conflicto de racionalidades entre Louis Agassiz y Charles Darwin — 23

BLÁZQUEZ, F.

El centenario de “*El Origen de las Especies*” en España — 33

GARCÍA PEIRO, I.

¿Existe evolución convergente en los caracteres fenotípicos del Quebrantahuesos y el Bigotudo? — 43

MOYA, A.

Biodiversidad y evolución: el compromiso ético de nuestra especie — 49

CAMPILLO ÁLVAREZ, J.E.

La enfermedad cardiovascular y la evolución darwiniana — 59

SANZ SERRANO, T.

El reto de enseñar evolución: uso de ejemplos cercanos al alumnado — 69

DOCUMENTOS:

Fisiología y teoría evolutiva, por F. BOZINOVIC — 75

Zoología y evolución, por J.L. TELLERÍA — 77

Evolucion en la Parasitología, por S. MAS-COMA — 80

LA OPINIÓN DEL EVOLUCIONISTA:

COMENTARIOS DE ARTÍCULOS

¿Es la “VER” una teoría científica?, por M. SOLER — 83

COMENTARIOS DE LIBROS

Lecturas sobre “*Darwinismo y Religion*”, por L. SEQUEIROS — 85

“*La Naturaleza Humana*” de Jesús Mosterín, por M. SOLER — 90

NOTICIAS EVOLUTIVAS — 92



Editores de eVOLUCIÓN

José Martín y Pilar López

Junta Directiva de la SESBE

Presidente: Manuel Soler
Vicepresidente: Andrés Moya
Secretario: Julio Sanjuán
Tesorero: José Serrano
Vocales: Jordi Agustí
Josabel Belliure
Laureano Castro
Santiago Merino
Alvaro Moreno
Pablo Vargas

eVOLUCIÓN es la revista de la Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)

eVOLUCIÓN no tiene necesariamente que compartir todas las ideas y opiniones vertidas por los autores en sus artículos.

© 2007 SESBE

Quedan reservados los derechos de la propiedad intelectual.

Cualquier utilización de los contenidos de esta revista deberá ser solicitada previamente a la SESBE.



Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)

Facultad de Ciencias
Universidad de Granada
18071 Granada

<http://www.sesbe.org>

e-mail: sesbe@sesbe.org

Para enviar artículos a eVOLUCIÓN:

José Martín y Pilar López
Dep. Ecología Evolutiva
Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC
José Gutiérrez Abascal 2
28006 Madrid

jose.martin@mncn.csic.es
pilar.lopez@mncn.csic.es

¡LA eVOLUCIÓN NO DESCANSA!!

Cuando el mundo se paraliza y se va de vacaciones, creemos que es el mejor momento para lanzar este nuevo número de eVOLUCIÓN para que podáis leerlo con calma y tengáis tiempo para pensar evolutivamente mientras descansáis del estrés cotidiano.

Comenzamos con una nueva carta del presidente de la SESBE (*Manuel Soler*) donde nos comenta su visión sobre los problemas de la Teoría Evolutiva en España en la actualidad.

En este número incluimos varios artículos que nos presentan: 1) como las bases fundamentales del paradigma darwinista siguen vigentes a pesar de los intentos antidarwinistas, en cuanto a la evolución de la forma, de algunos genéticos de la evo-devo. Otros dos artículos con una visión histórica 2) del conflicto de razonamientos entre Darwin y Agassiz, otra personalidad científica de su época, y 3) de la situación en la ciencia española cuando se celebraba en el mundo el primer centenario de *El Origen de las Especies*, en 1959. Más.... 4) un posible ejemplo de coevolución fenotípica entre dos aves muy diferentes, y tres ejemplos de la utilidad práctica del conocimiento evolutivo: 5) cómo conocer la evolución de la biodiversidad puede ayudarnos con nuestro compromiso ético de conservarla, 6) una explicación médica evolucionista a nuestras enfermedades cardiovasculares, y qué podemos hacer para prevenirlas, y 7) cómo abordar la enseñanza de la evolución en los institutos.

Además, abrimos una sección de "*Documentos*" sobre el papel que la teoría evolutiva tiene en España en muchas de las ciencias, (fisiología, zoología y parasitología, esta vez), así como de las ventajas que puede aportar su utilización, escritos por invitación por expertos en cada uno de los temas.

Seguimos con la sección de "*La Opinión del Evolucionista*", donde recogemos los comentarios a artículos publicados en esta u otras revistas, así como los comentarios de varios libros sobre temas relacionados o que pueden afectar, no siempre para bien, al estudio de la evolución.

Por último, en la sección de "*Noticias Evolutivas*" damos a conocer un programa de radio gallego dedicado íntegramente a la evolución que puede seguirse por internet en todo el mundo.

Esperamos que os guste la revista y recordad que seguimos ansiosos por conocer todas vuestras nuevas contribuciones a la eVOLUCIÓN.

¡Buenas vacaciones y nos vemos en Tarragona en el Congreso de la SESBE!

José Martín y Pilar López
Editores de eVOLUCIÓN

Desde la Presidencia

Problemas de la Teoría Evolutiva en España en la actualidad

Cuando se piensa en los problemas de la teoría evolutiva, inmediatamente nos acordamos de los "creacionistas", grupo de fanáticos religiosos que presentan una conjetura metafísica de fuerte contenido religioso, conocida con el nombre de "El Diseño Inteligente", como una teoría propia del campo de la ciencia experimental, pretendiendo que sea una alternativa a la Teoría Sintética de la Evolución o Neodarwinismo. En España, este problema nos parecía muy lejano, pues la actividad de estos embaucadores con muchos recursos económicos no nos afectaba. Sin embargo, recientemente, parece que están poniendo en práctica una estrategia de expansión y se están decidiendo a desembarcar en España. Tengo noticias de la edición de un lujoso libro a todo color en gran formato, en inglés, con cientos de fotografías, en el que se hace propaganda de sus eslóganes (no merecen ser llamados ideas o hipótesis) que está siendo enviado, de manera gratuita, a algunos profesores de universidad españoles. No dispongo de información rigurosa sobre este libro, pero sí la tengo, y de primera mano, sobre otro intento de "conquista de España": consiguieron que se incluyera una conferencia sobre el diseño inteligente en el ciclo de conferencias organizado para el año 2007 por la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. El conferenciante estaba previsto que fuera, nada más y nada menos, que D. Guillermo González, profesor de Astronomía en la Universidad de Iowa (EEUU) y socio de alto rango (Senior Fellow) del Discovery Institute, la principal institución impulsora del diseño inteligente. En este caso fuimos alertados por algunos socios de SESBE (y otras personas que no lo eran, en total recibimos unos 20 mensajes) y bastó con una carta dirigida al rector de la Universidad de Gijón y al director de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería para que dicha conferencia fuera cancelada. En ella, simplemente, informábamos a las autoridades académicas sobre el tema y les pedíamos que suspendieran la impartición de esa conferencia, para evitar que los manipuladores camparan a sus anchas y pudie-



Manuel Soler
Presidente de la SESBE

ran conseguir embaucar, con sus bien preparados montajes propagandísticos, a algunos asistentes desprevenidos.

En mi opinión, lo preocupante, más que la posible llegada de los creacionistas a España es, por un lado, la tendencia que existe en nuestro país, muy arraigada y extendida, a apoyar cualquier propuesta antidarwinista, y, por otro, la poca preparación, no sólo del público en general y de muchos divulgadores, sino incluso, de algunos de los profesionales de la biología, ya que, entre otras cosas, hay muy pocas universidades españolas en las que se imparta una asignatura de evolución. ¡Este es el principal problema de la teoría evolutiva en España!

Como muestra un botón. Para ilustrar la rotunda afirmación que acabo de hacer en el párrafo anterior voy a comentar brevemente el caso del "Foro Saber Esencia" (disponible en www.saberesencia.org) promovido por la Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía a través de la Fundación Andaluza Fondo y Formación de Empleo. Invitaron a unos

“expertos” a que redactaran una serie de tesis (las incluidas dentro del apartado “Ciencias Orgánicas” son 19) y, el principal objetivo del foro es “recabar aportaciones, de cara al consenso, sobre las tesis y comentarios que figuran en los diferentes campos temáticos”. Para poder participar en el foro hay que rellenar un boletín de inscripción y hay que pertenecer a una institución científica o relacionada con el ámbito de la formación y el empleo.

Los problemas comienzan ya en las tesis de partida. La mayoría de ellas están bien. Las firmadas por “Departamento de Genética de la Universidad de Granada” son perfectas: claras, concisas y con una base evolutiva sólida. Las firmadas por la “Fundación Andaluza Fondo de Formación de Empleo” distan de ser perfectas, no son ni tan claras ni tan concisas como debieran, ni la base científica es tan sólida. Pero, lo que cuesta trabajo entender, es que se hayan incluido dos tesis (nº 10 y 11) que, podríamos denominar pseudocientíficas, las cuáles, basadas en las ideas de Lynn Margulis, se utilizan para criticar la ciencia ortodoxa. Estas dos tesis están firmadas, a nivel particular, por un investigador de la Universidad Autónoma de Madrid que, según su propio currículum, tiene dos líneas de investigación: Ecología Humana (tres publicaciones en 1986, 1987 y 1988, respectivamente) y, lo que él llama Biología Teórica (ninguna publicación en una revista científica de nivel internacional). Sin comentarios.

En lo que respecta a las opiniones vertidas en el foro, éstas son aún más deprimentes. Son escasas y, en su mayoría, especulativas, con muy poca base científica y, para colmo, dogmáticas, utilizando, asiduamente afirmaciones rotundas y tajantes (aunque con frecuencia equivocadas). Llama la atención el hecho de que prácticamente todos los participantes se apuntan incondicionalmente a la línea “anti-ciencia ortodoxa”. Por ejemplo, varios coinciden en que el neodarwinismo ha quedado obsoleto aunque no se molestan en explicar los motivos, y nadie ha respondido defendiendo lo contrario. Es llamativo el bajísimo nivel científico de la mayoría de los que han enviado su opinión. El primero en participar es un señor que en su página web se define como “pensador, escritor, conferenciante, profesor de yoga y tai chi-chi kung y naturópata”. Envío numerosos y extensos comentarios (no sólo a la mayoría de las tesis de las Ciencias Orgánicas, sino a las de otros apartados como Psicología o Sociología, como si fuera un experto en todo),

inundados de una verborrea metafísica en la que con frecuencia habla de cosas como la energía virtual o el Chi. No sólo pretende que sus opiniones tengan valor científico, sino que, además, critica la ciencia y a los científicos convencionales. No merece ningún calificativo y sus opiniones no me preocupan en absoluto. Lo que sí me preocupa son las opiniones de la mayoría de los profesionales que han participado, profesores de universidad o investigadores del CSIC que muestran su ignorancia, no sólo sobre la teoría evolutiva, sino, incluso, sobre aspectos básicos del método científico. Con estas primeras opiniones enviadas al foro, es lógico que la inmensa mayoría de los científicos de verdad, no los que tienen un título, sino los que están investigando activamente, y por tanto, contribuyendo al avance de la ciencia, se abstuvieran de participar en este foro. De hecho, el foro está prácticamente muerto (al menos en lo que respecta a las tesis correspondientes a las que denominan Ciencias Orgánicas). Sólo duró un par de meses, se inició en febrero y las últimas aportaciones llegaron a principios de mayo.

De todas formas, no es algo sorprendente, pues la iniciativa de la Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía al crear este foro ya tenía problemas de base desde el principio. La democracia, como sistema político tiene muchas virtudes, pero eso no quiere decir que se pueda aplicar a todo. No creo que ningún científico esté de acuerdo con que lo acertada o desacertada que pueda ser una tesis se pueda decidir por consenso en un foro en el que puede participar todo el que quiera, independientemente de los conocimientos que tenga sobre el tema. La Tierra gira alrededor del Sol, independientemente de quien lo diga, pero también independientemente de votaciones y consensos.

Lo dicho: el principal problema de la Teoría Evolutiva en España es que ha sido muy poco difundida y, el conocimiento que se tiene de ella a nivel general, es escaso e impreciso, lo que favorece una tendencia a aceptar todas las opiniones críticas sobre dicha teoría.

Manuel Soler
Presidente de la SESBE

Reconstruyendo a Darwin

Antonio Fontdevila

Grup de Biologia Evolutiva, Departament de Genètica i Microbiologia, Universitat Autònoma de Barcelona. E-mail: Antonio.Fontdevila@uab.es

RESUMEN

Este artículo recoge la traducción del catalán de la lección inaugural del curso 2006/2007 en la Universidad Autónoma de Barcelona. Es una lección general para un público académico muy amplio. El tema consiste en un repaso actualizado del estado de la evolución haciendo hincapié en que no existen razones de peso para abandonar las bases fundamentales del paradigma darwinista y trata de salir al paso de los intentos antidarwinistas, sobre todo en lo referente a la evolución de la forma, de algunos genéticos de la evo-devo, aunque no de otros. El título de la conferencia resume mi intención. *eVOLUCIÓN* 2(2): 5-22 (2007).

INTRODUCCIÓN

Hace tiempo que a menudo surgen voces sensacionalistas que aseguran la crisis del darwinismo y la necesidad de su sustitución por otra teoría evolutiva. Algunos, aprovechando el momento postmoderno, hablan de “deconstruir” a Darwin. Este enredo mediático genera preocupación en los intelectuales interesados en la evolución y, en general, confusión en el ciudadano. Para intentar aclarar un poco este debate he aceptado dar esta lección inaugural. Pero no solo por esto. El reto al cual me enfrento sobrepasa el debate general e incide en la importancia que tiene para los evolucionistas de esta universidad transmitir a los compañeros de nuestra comunidad universitaria algunos de los conceptos fundamentales de la teoría evolutiva actual. En este contexto, me siento representante de los evolucionistas de la UAB, en el bien entendido que la responsabilidad de los contenidos y de la capacidad de comunicación es solo mía. Agradezco a mis colegas el hecho de haber pensado en mí para esta labor y a los órganos directivos de la universidad por haber aceptado su propuesta. Este honor me obliga a hacer un esfuerzo para introducir el cuerpo conceptual de la evolución a una audiencia heterogénea, pero de un alto nivel intelectual, con un lenguaje culto pero no demasiado especializado, que permita hacer entender los principios de la teoría evolutiva. Esta teoría, sencilla a primera vista, no es fácil de entender, tanto por lo que respecta a las bases del darwinismo como por los recientes descubrimientos moleculares y genómicos.

En mis conversaciones sobre evolución con profesores e investigadores de otras especialidades, observo con frecuencia algunos malentendidos que trataré de aclarar aquí. De entrada, es fundamental separar dos componentes básicos de la teoría evolutiva. Uno hace referencia al hecho evolutivo como un proceso contrastado por la observación de la naturaleza y responde a la pregunta: ¿ha ocurrido la evolución? El otro tiene como objetivo dilucidar los mecanismos de la

evolución y se puede formular preguntando: ¿cómo ha ocurrido la evolución? Muchos de vosotros debéis pensar que el primer componente es secundario porque las pruebas del hecho evolutivo son de aceptación general y que, por tanto, su exposición es aquí innecesaria. Permittedme que, aunque el contenido de esta lección se ocupa fundamentalmente del segundo componente, haga un pequeño resumen de lo que tradicionalmente se conoce como algunas de las pruebas de la evolución. Y esto por dos razones. Por un lado, pienso que algunas de estas “pruebas” sirven para introducir conceptos que, como los de homología y de diseño, son básicos para entender los mecanismos evolutivos. Por otro lado, los atentados contra el hecho evolutivo son aún muy potentes en sociedades poderosas del mundo occidental. Algunas posturas creacionistas tratan de desacreditar el hecho evolutivo basándose en las controversias científicas que hay sobre el segundo componente, los mecanismos, olvidando que es el primer componente el que valida el hecho evolutivo. Recientemente, se ha puesto de moda sustituir el creacionismo bíblico, ya del todo insostenible, por un creacionismo deísta basado en el supuesto diseño inteligente de las estructuras biológicas. El hecho evolutivo nos explica también la falacia de esta inteligencia.

Entremos, pues, en materia tratando de explicar algunas observaciones que validan el hecho evolutivo incorporando los nuevos conocimientos, moleculares, genómicos y del desarrollo, en un intento de “reconstruir” la base darwinista de la evolución.

EVOLUCIÓN DARWINIANA: BASES Y TEORÍA

Las piedras del demonio

La paleontología no es mi especialidad, pero es imposible, y sería muy injusto, no hablar de fósiles en una lección como esta. El registro fósil es una de las pruebas más apabullantes de la evolución de la vida en este planeta. Tanto es así

que cuando los fósiles se descubrieron y popularizaron a gran escala a partir del siglo XVIII los depositarios del saber ilustrado de la época sobre la cronología y la historia de la Tierra, basado en la Biblia, se sintieron muy contrariados. El Arzobispo Usher publicó la *Cronología Sagrada*, un ejemplo de obra de inspiración bíblica que mostraba la “sabiduría” de la época, datando la creación del universo el año 4004 AC. Pero la presencia de fósiles en lugares muy alejados de su hábitat natural, por ejemplo organismos marinos a grandes altitudes en las montañas, demostraba que la Tierra había pasado por grandes cambios geológicos profundos que necesitaron mucho más tiempo del que los cálculos bíblicos indicaban. Todos sabemos que la edad de la Tierra, estimada mediante técnicas físicas muy sofisticadas, es de 4500 millones de años, una cifra mucho mayor que cualquier cálculo bíblico.

Pero los fósiles no solamente desmentían las dataciones bíblicas, entraban también en contradicción con la creación independiente de los seres vivos y su supuesta ausencia de cambios desde la creación. El fijismo de las especies, como se conoce a esta hipótesis, era poco probable porque muchas especies actuales eran diferentes pero se parecían a especies fósiles, lo cual sugería que habían evolucionado a partir de éstas mediante cambios morfológicos. El mismo Darwin se enfrentó con este problema cuando excavó restos fósiles de *Glyptodon* en Suramérica, un organismo del pleistoceno que es un antepasado del armadillo actual (Fig. 1).

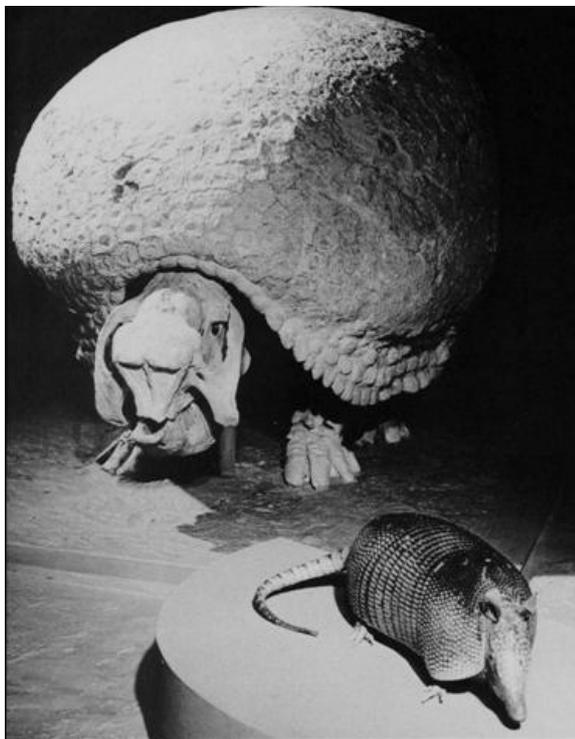


Fig.1.- La semejanza entre especies fósiles y especies actuales descendientes constituyó una de las pruebas más convincentes de la evolución para los naturalistas de los siglos XVIII y XIX. El pequeño armadillo actual (al frente) es un pariente vivo del *Glyptodon*, un armadillo extinto que vivió en el pleistoceno en Suramérica. Darwin excavó restos fósiles de *Glyptodon* y de otros organismos extintos con parientes actualmente existentes, lo cual contribuyó mucho a convencerlo de que la vida había evolucionado en el planeta (tomado de Stanley 1986).

Pero no todos los fósiles tenían descendientes actuales; muchos presentaban una morfología muy diferente a la de cualquier especie viva conocida y la explicación más lógica fue que eran restos de organismos extinguidos. La extinción era una prueba de que las especies no habían sido creadas perfectas, es decir totalmente adaptadas al medio, lo cual era inaceptable para los creacionistas fijistas como John Ray, autor de *La Sabiduría de Dios Manifestada en la Obra de la Creación*, un texto muy influyente del siglo XVII en el cual argumenta sobre la perfección adaptativa del diseño estructural de los seres vivos como prueba de la existencia de un diseñador perfecto. La dificultad teológica de aceptar la extinción como una realidad natural trastocó los fundamentos interpretativos de la diversidad natural hasta tal punto que se sugirió que era preciso explorar más a fondo porque lo más probable era que se encontrasen ejemplares vivos de todos los fósiles en regiones alejadas no visitadas nunca. No hace falta decir que estos representantes vivos de dinosaurios, mastodontes o megaterios nunca se han encontrado.

Los fósiles eran, por tanto, una evidencia demasiado abrumadora de que la creación bíblica no servía para explicar el origen y el desarrollo de la vida en el planeta y, por consiguiente, se calificaron de “piedras del demonio”. Es decir, el maligno había transformado las rocas en formas orgánicas para confundir a los creyentes y hacer que perdiesen su fe en el verdadero conocimiento bíblico de la historia de la Tierra.

El relojero ciego: vestigios y diseños imperfectos

Todos conocemos la primera vía de Santo Tomás para demostrar la existencia de Dios. “Toda máquina ha de ser movida por otra máquina, que a su vez es accionada por otra máquina y, por consiguiente, ha de existir una primera máquina que se mueve a sí misma y que mueve a las otras. Esta máquina es la creadora de todas las demás, es decir, el Dios creador”. En una metáfora popular, se dice que cualquier reloj ha de ser diseñado por un relojero. El diseñador del universo, según los creacionistas, ha de ser un creador infinitamente perfecto. Pero, ¿que pensaríamos si el cosmos y en particular los organismos vivos creados mostrasen un diseño imperfecto?

La metáfora del relojero es todavía un argumento que se emplea en círculos cultos para justificar la creación y se basa en la supuesta sabiduría de la naturaleza fruto del diseño perfecto de los seres vivos. Contrariamente, los estudios en profundidad de la anatomía y la fisiología de los organismos nos llevan a descubrir diseños que se interpretan mejor como vestigios de una historia evolutiva que como resultado de una creación inteligente.

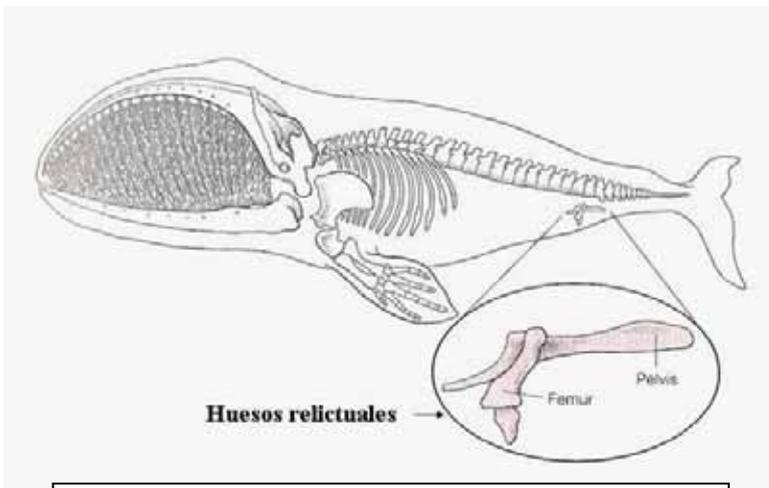


Fig. 2.- Esquema de la posición de los huesos relictuales del fémur y de la pelvis en una ballena.

¿Alguna vez nos hemos preguntado por qué los avestruces o los pingüinos tienen alas o sus huesos son huecos si no los necesitan para volar?, ¿por qué las salamandras cavernícolas tienen ojos con cristalino si viven en lugares sin luz?, ¿por qué las ballenas tienen dientes rudimentarios si no los necesitan para comer?, ¿por qué las mismas ballenas y algunas serpientes tienen huesos pelvianos y femorales si no los hacen servir para moverse? (Fig. 2), o ¿por qué nosotros mismos tenemos un hueso al final de la columna vertebral, el coxis, que no parece tener ninguna utilidad?; en fin, la lista de por qué podría ser mucho más larga y merece una respuesta. La explicación de estos órganos inútiles está, sencillamente, en el hecho de que son vestigios de órganos útiles de los antepasados a partir de los cuales han evolucionado los organismos actuales y no son el resultado de un acto perfecto de creación independiente.

La imperfección del diseño es todavía más evidente cuando nos damos cuenta que muchos órganos considerados perfectos muestran una estructura lejos de la perfección. El ejemplo más conocido es el ojo de los vertebrados, es decir nuestro ojo. Es un ojo denominado de “retina invertida”, porque las fibras nerviosas que transportan el estímulo de los fotones al ganglio óptico están delante de las células receptoras de la retina y no en su base, es decir, detrás, como hubiera aconsejado un buen diseñador. De nuevo, la explicación es histórico-evolutiva. En la evolución de los vertebrados, a partir de organismos con ojos más sencillos de retina normal, se han producido una serie de cambios morfológicos que podemos rastrear estudiando los cordados más primitivos, como el anfioxo, que han terminado por situar las células fotosensibles detrás de las fibras nerviosas, hecho que ha dado lugar a un ojo de retina invertida. Estos procesos del desarrollo no se han producido en otros organismos invertebrados que, como los cefalópodos (pulpos y calamares), tienen ojos de retina no invertida (Fig. 3).

Richard Dawkins, en una obra muy influyente, *El Relojero Ciego*, ha utilizado la metáfora de

que el diseñador o relojero de los seres vivos, si hubiera existido, tendría que haber estado ciego. Y otros, como François Jacob, han dicho que más que un relojero el diseñador habría sido un chatarrero. En todo caso, relojero ciego o chatarrero, el diseño imperfecto observado nos hace dudar de la creación independiente perfecta y nos sugiere que la evolución es una explicación más razonable.

La evolución es oportunista: unidad de tipo

El hecho de que el diseño no sea perfecto no implica que las estructuras no funcionen adecuadamente en el ambiente propio de la especie. La evolución es oportunista y utiliza las piezas disponibles para construir un nuevo organismo funcional, en un proceso de bricolaje tal y como lo haría un chatarrero. Son los antepasados más próximos los que proporcionan estas piezas, las cuales convenientemente modificadas pueden ser utilizadas para nuevas funciones, a veces muy diferentes de las originales. Este proceso de descendencia con modificación genera semejanzas, denominadas homologías, entre conjuntos de especies próximas difícilmente explicables por una hipótesis de creación independiente. Si el perro, el chacal, el lobo y el coyote fueron creados independientes, ¿por qué tendrían que parecerse más entre sí que con cualquier otra especie?

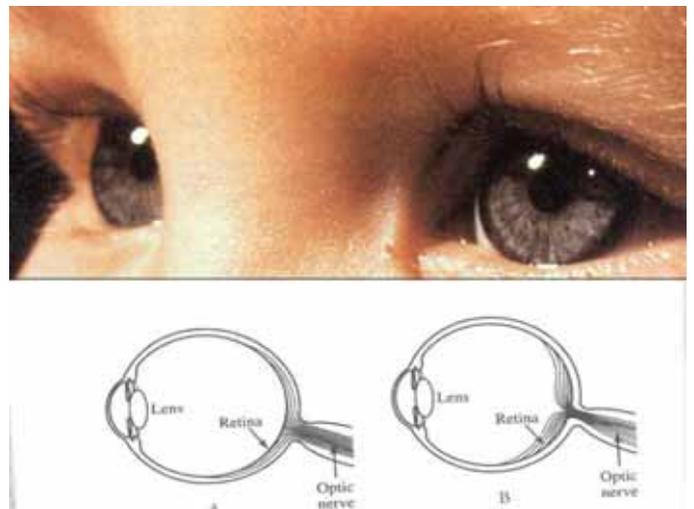


Fig. 3.- El diseño de nuestro ojo y de todos los vertebrados es de retina invertida (B) y difiere del de los cefalópodos (A). Aunque ambas estructuras presentan grandes semejanzas, muestran diferencias básicas tales como la posición relativa de la retina y las fibras nerviosas retinales (axones). En el ojo de un cefalópodo (A) los axones se proyectan directamente desde la base de las células de la retina al nervio óptico, mientras que en los vertebrados los axones parten de la superficie anterior de la retina y convergen en el nervio óptico, el cual debe atravesar la retina en el “punto ciego” para llegar al cerebro.

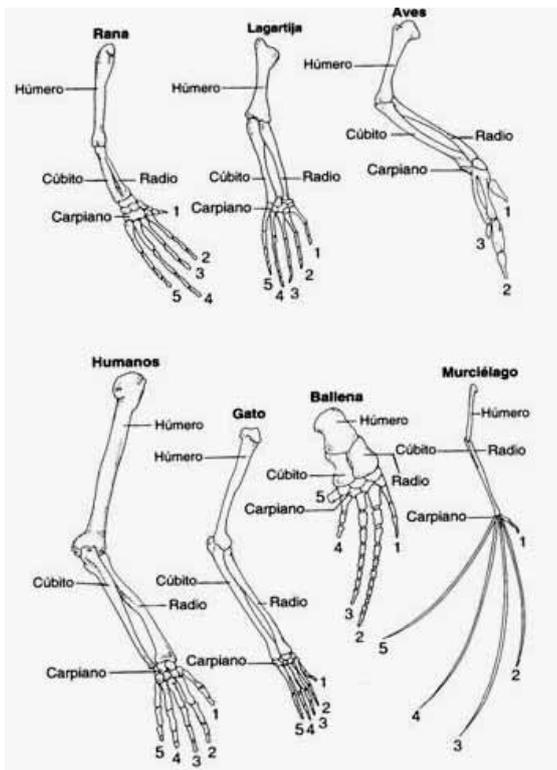


Fig 4.- Comparación de los huesos homólogos de las extremidades anteriores de diversos vertebrados, mostrando su homología. Obsérvese la transformación experimentada por muchos de ellos debido a la adaptación a las distintas formas de vida (preñil, terrestre, aérea o acuática) (tomado de Strickberger 1993).

Esta semejanza evidencia un diseño básico común con modificaciones. El reconocimiento de la homología es muy antiguo, pero su interpretación evolutiva es moderna y tuvo que esperar la genialidad de Darwin. Ya en el siglo XVI, Pierre Belon publicó una de las primeras observaciones de anatomía comparada entre los huesos humanos y los de las aves. Hoy en día son casi de conocimiento popular las homología óseas entre todos los vertebrados (Fig. 4). En el siglo XIX se desarrolló la anatomía comparada con descripciones precisas de la estructura de las especies de la mano de grandes anatomistas como Cuvier, Owen y Saint-Hilaire, la mayoría de los cuales, sin embargo, interpretaron las homología bajo una óptica idealista que propone la existencia de ciertos planes corporales o arquetipos creados independientemente, responsables de las homología entre las especies dentro de cada tipo. Esta tipología era interpretada, desde Aristóteles, como la responsable del orden jerárquico de los seres vivos, la cual generaba una escala natural en que cada organismo ocupaba un peldaño fijo, inamovible y perfectamente adaptado al entorno, y era la prueba del fijismo de las especies y también una justificación bíblica de la preeminencia de la especie humana sobre las demás especies (Fig. 5).

Pero con el descubrimiento de nuevas especies y los avances de la anatomía, lo que parecía una sucesión discontinua de especies se fue transfor-

mando en una serie continua y gradual con ramificaciones laterales que parecía más bien un árbol que una escala lineal. Utilizando toda su destreza y una amplia gama de especies, Cuvier llegó a reducir toda la biodiversidad animal a cuatro planes corporales o *bauplanes*: *Vertebrata* (vertebrados), *Mollusca* (moluscos), *Articulata* (artrópodos) y *Radiata* (animales con simetría radiada), entre los cuales era imposible pasar mediante cambios evolutivos, lo cual se oponía a la evolución gradual anatómica. Esta idea de discontinuidad insalvable entre grandes tipos (denominados *filum*; plural *fila*) ha sido explotada por los detractores de la evolución darwinista. Según el registro fósil, la aparición de los *fila* actuales y de muchos otros ya desaparecidos se produjo en menos de cuarenta millones de años a principios del Cámbrico (hace 544 millones de años), lo cual hace difícil establecer buenas homología entre los *fila* y parece cuestionar la evolución gradual. La idea de un único plan corporal ancestral o tipo fue defendida por Saint-Hilaire, y dinamitada por Cuvier, pero la prueba definitiva de la unidad global de tipo ha tenido que esperar a los estudios moleculares recientes de la biología del desarrollo, que trataré de resumir más adelante. Igualmente, la datación molecular, de la cual hablaré también más adelante, indica que las estructuras moleculares típicas de los *fila* tendrían una antigüedad mucho más allá del Cámbrico.

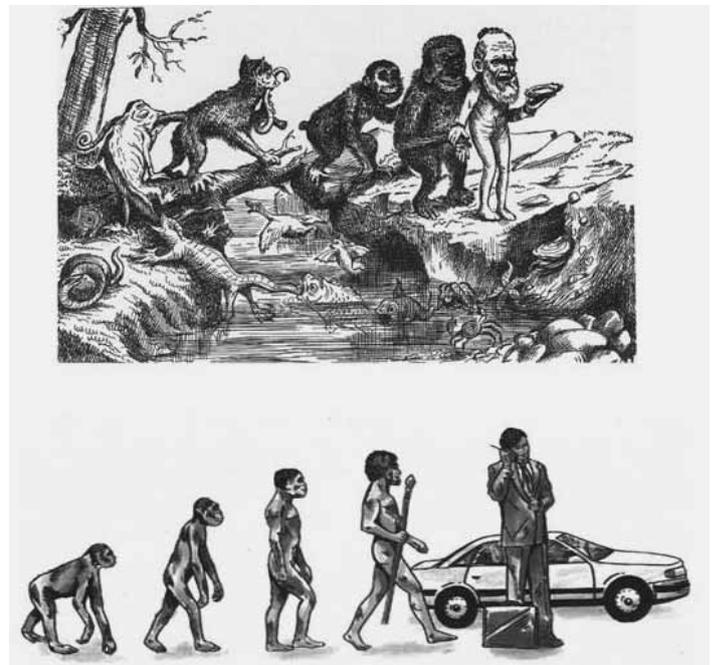


Fig 5.- La escala de la naturaleza. En la parte superior se representa una ilustración de la época victoriana sobre la evolución, inspirada en el concepto de la escala de la naturaleza. Esta misma idea sigue viva en las frecuentes ilustraciones actuales (parte inferior) que establecen analogías entre la evolución humana y otros tipos de evolución de objetos comerciales, demostrando cómo ideas científicamente periclitadas se encuentran todavía muy arraigadas en nuestro acervo cultural (tomado de Lack 1957).

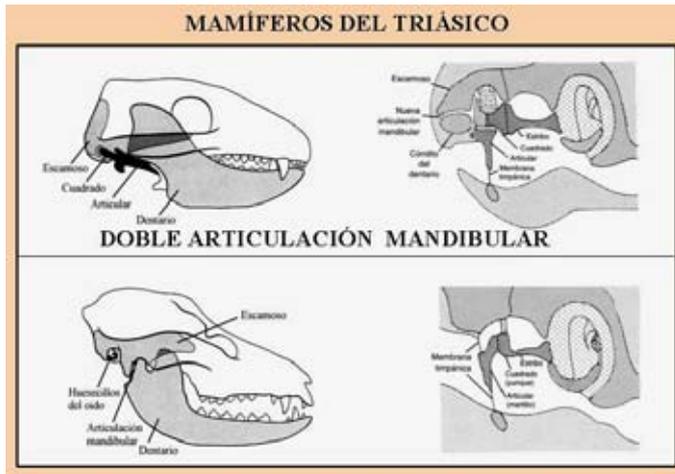


Fig. 6.- Evolución, por cooptación, de los huesecillos del oído medio de los mamíferos. En los mamíferos de principios del Triásico, como *Morganucodon* o *Diarthrogathus*, se encuentran ya dos articulaciones mandibulares, la primitiva reptiliana (articular-cuadrado) y una nueva (dentario-escamoso) que coexisten, aunque con una evidente reducción de la primera, que es casi testimonial en *Morganucodon*, considerado como el primer mamífero. A finales del Triásico los mamíferos poseen ya una sola bisagra mandibular entre dentario y escamoso, estando los huesecillos articular y cuadrado, junto con el estribo, dedicados exclusivamente a la audición (adaptado de Futuyma *et al.* 1998 y Strickberger 1993).

Establecer homologías es una tarea ardua por dos motivos. En primer lugar, si el tiempo evolutivo es largo, las estructuras se han modificado tanto que es difícil reconocer su origen común. Muchas estructuras se detectan homólogas observando los estadios embrionarios más que las formas adultas. En segundo lugar, los cambios no son solamente estructurales, sino que las estructuras homólogas derivadas pueden tener funciones muy diferentes de las originales. Esto se puede observar ya en las homologías de las extremidades de los vertebrados, que sirven para diversas formas de locomoción (marcha terrestre, vuelo, natación); pero el ejemplo de la transformación de los huesos de la mandíbula de los reptiles en los huesecillos del oído medio de los mamíferos es altamente ilustrativo (Fig. 6). Este proceso de apropiación de una estructura ancestral cambiando su función mediante una modificación, denominado “cooptación” por Stephen Gould, es muy corriente tanto a nivel morfológico como molecular.

La cooptación ilustra el carácter oportunista de la evolución y el proceso histórico del origen de la diversidad actual. En el debate sobre la interpretación de las unidades de tipo se pone de manifiesto que son unidades de descendencia con modificación si entendemos que la evolución no empieza de nuevo en cada cambio; todo lo contrario, siempre se construye sobre estructuras ya evolucionadas, cambiando lo necesario para producir otras nuevas.

Darwinismo, neodarwinismo y teoría sintética

Hasta ahora hemos justificado que las observaciones de los seres vivos son difícilmente explicables por un modelo creacionista y se ajustan mejor a un modelo evolucionista. Pero una teoría sólida se fundamenta en mecanismos que validan el modelo. El primer evolucionista que propuso una mecánica evolutiva fue Lamarck, un colega de Cuvier en el Museo de Historia Natural de París. El lamarckismo se fundamenta en dos principios básicos: la tendencia innata de los seres vivos hacia la complejidad y el reconocimiento que el ambiente induce cambios adaptativos. La influencia del ambiente como motor de la adaptación es un avance explicativo del cambio evolutivo. La idea de que cambios en el uso de determinadas partes del cuerpo (el cuello de la jirafa), en respuesta a cambios ambientales, inducen cambios morfológicos heredables (la longitud del cuello), está muy enraizada en la intuición evolutiva humana, posiblemente porque tiene un paralelo en la evolución cultural, y se conoce como la herencia de los caracteres adquiridos. Desgraciadamente no tenemos pruebas experimentales sólidas de este mecanismo, por lo que el lamarckismo es una hipótesis sin validar.

La tendencia a la complejidad tampoco es un mecanismo comprobado y, al igual que la herencia de los caracteres adquiridos, es posiblemente el producto intuitivo de las ideas progresistas de la época revolucionaria francesa que vivió Lamarck. Esta idea de progreso transforma unas especies en otras cada vez más complejas, sin que ninguna se extinga, en un proceso lineal que se conoce con el nombre de anagénesis, el cual entra en conflicto con la diversidad actual observable y no explica la escala natural. Lamarck ha de postular que periódicamente aparecen por generación espontánea organismos muy primitivos que inician nuevas series anagenéticas, de forma que en cada momento las especies que observamos en la escala natural son los últimos peldaños de cada una de estas series. La generación espontánea continua de formas primitivas nunca ha sido probada y este hecho, juntamente con las pruebas fósiles de las extinciones, desacreditó la hipótesis lamarckista. Es preciso subrayar en este momento que, según este modelo, las especies no están relacionadas por descendencia, un aspecto fundamental sobre el que volveremos enseguida al hablar de darwinismo.

La explicación de la diversidad es, en palabras de Darwin, descendencia con modificación; pero, a diferencia de Lamarck y de los defensores de la escala natural, esta modificación no es en una dirección sino en muchas. En términos técnicos, diríamos que es una cladogénesis y, por tanto, las relaciones entre las especies tienen forma de árbol (el árbol de la vida) y no de escala lineal.

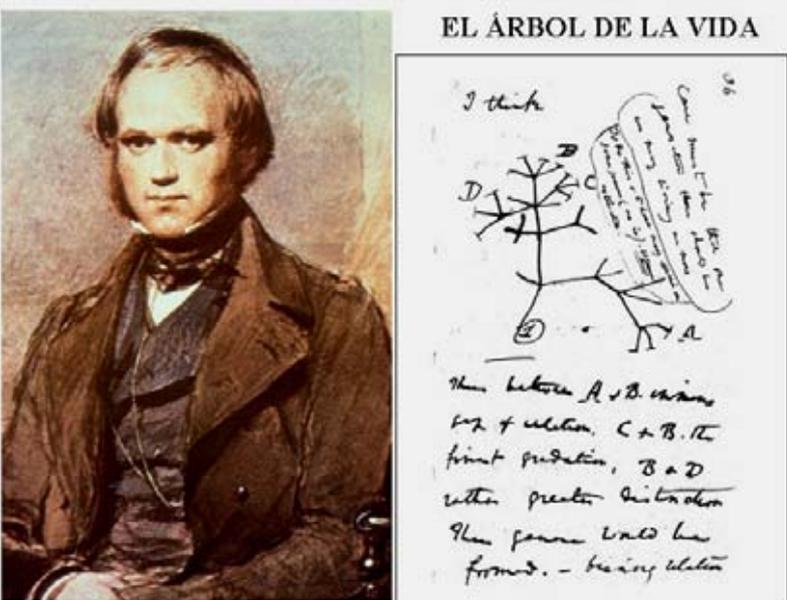


Fig. 7.- Esquema del árbol de la vida dibujado por Darwin en su cuaderno de 1837 en el que se señala la especie ancestral (1) a partir de la que emergen varias ramas que originan especies extinguidas y supervivientes (señaladas con un segmento transversal en el ápice, A,B,C,D) (tomado de Fontdevila y Moya 2003).

Cada rama de este árbol indica un linaje específico que en cada nudo se bifurca en nuevas especies que constituyen nuevos linajes. Las especies actuales ocuparían los extremos más elevados de las ramas (la copa), y las ramas interrumpidas antes representarían las especies extinguidas (Fig. 7). Esta representación invalida la escala de la naturaleza, como una serie de especies sin relación entre ellas, tanto en la visión creacionista como en la lamarckista. Pero aún nos queda la gran pregunta sin respuesta: ¿cuál es el mecanismo del origen de las especies? Este mecanismo es la selección natural.

El argumento de la selección natural se basa en tres premisas observacionales que generan dos conclusiones. Las dos primeras observaciones las extrajo Darwin del razonamiento de Malthus, cuya exposición está en el libro *Ensayo sobre los Principios de la Población* (1798). Según Malthus, el crecimiento de las poblaciones humanas es muy alto en condiciones de abundancia (primera observación), pero está restringido por las limitaciones del incremento de producción de alimentos (segunda observación). Esta situación genera escasez de recursos alimenticios y una competición individual para asegurar la supervivencia; es la famosa “lucha por la existencia”. Darwin extrapoló este concepto a las poblaciones naturales y especuló que cualquier variación individual ventajosa aumentaría la aptitud del portador y le permitiría sobrevivir y reproducirse más que a los otros; es la “supervivencia de los más aptos”, Pero Darwin se da cuenta en seguida que si estas variaciones ventajosas son heredables (tercera premisa), es decir si la variación es genética, los caracteres de la población irán cambiando a lo largo de las generaciones hacia individuos más aptos para

sobrevivir. Se produce, pues, una selección que por acumulación generacional (principio de la descendencia) puede llegar a diferenciar (principio de la modificación) unas poblaciones de otras hasta originar nuevas especies. Este proceso lo llamó selección natural y constituye la segunda y fundamental conclusión del razonamiento darwinista (Fig. 8). Todos sabemos que esta teoría fue publicada por Darwin en 1859 en su famoso libro titulado *Sobre el Origen de las Especies Mediante la Selección Natural*, y que otro investigador, Wallace, llegó a las mismas conclusiones al mismo tiempo.

La selección natural requiere que la variación sobre la que actúa tenga una base genética para que los caracteres seleccionados se puedan transmitir a las generaciones siguientes. El problema del darwinismo original es que no propone ningún mecanismo de transmisión hereditaria plausible. La herencia de las mezclas, en que los factores hereditarios estaban en los fluidos corporales y se mezclaban en la descendencia como si fuesen líquidos, era el mecanismo más popular en la época, pero no permitía que la variabilidad genética se mantuviera en las poblaciones más allá de unas cuantas generaciones. Para explicar la variabilidad natural era preciso postular altas tasas de mutación que nunca se habían observado, lo cual hacía que la selección natural fuera un mecanismo poco aceptable. Actualmente

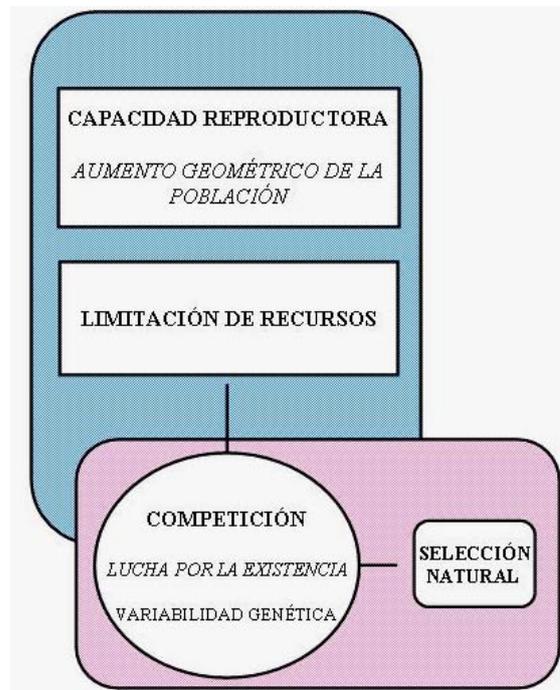


Fig. 8.- Esquema del mecanismo de la selección natural. En el marco superior interactúan la capacidad reproductora (o aumento geométrico de la población) con la limitación de recursos: las dos primeras premisas del razonamiento darwiniano. Esta interacción conduce a la competición (o lucha por la existencia) que en conjunción con la variabilidad genética, la otra premisa de Darwin, hace posible la selección natural (marco inferior) (tomado de Fontdevila y Moya 2003).

sabemos que los genes son las unidades de la herencia que conservan su individualidad a lo largo de las generaciones, es decir la herencia es particulada, y que es fácil demostrar que el mecanismo mendeliano de la herencia permite mantener la variabilidad genética en las poblaciones. Esta conjunción entre el darwinismo original y el mendelismo es lo que denominamos el neodarwinismo.

El impacto de la genética sobre la teoría de la selección natural fue enorme. El énfasis de los cambios hereditarios pasaba de los individuos a las poblaciones y nació una nueva disciplina denominada genética de poblaciones. Diversos investigadores teóricos (Fisher, Haldane y Wright principalmente) formalizaron matemáticamente la teoría neodarwinista y muchos experimentalistas, como Dobzhansky, Mayr, Stebbins y otros, demostraron en la naturaleza y en el laboratorio que la selección era posible y que podía conducir al origen de las especies. La cantidad de pruebas teóricas y experimentales eran tan abrumadoras que muchos paleontólogos, entre ellos Simpson, interpretaron los cambios fósiles como el resultado de la selección natural. La publicación del libro *Evolución: la Síntesis Moderna*, de Julian Huxley, y la reunión en Princeton, en 1947, para discutir el estado de la teoría de la evolución, condujeron a un consenso por parte de la comunidad científica sobre lo que se conoce como la teoría sintética de la evolución, que se puede resumir diciendo que la evolución se puede explicar mediante cambios graduales en las poblaciones, producidos por selección natural sobre pequeñas mutaciones y recombinaciones genéticas.

EVOLUCIÓN MOLECULAR

La selección natural darwinista actúa sobre el individuo, es decir, detecta aquella variabilidad genética observable en el organismo, el fenotipo. Cuanta variabilidad genética detecta la selección natural ha sido una incógnita hasta que hemos conocido las bases moleculares de la genética. Es evidente que hay una correlación entre fenotipo y genotipo (la composición genética de un organismo), lo cual permite el cambio evolutivo por selección natural, pero esta correlación no es fácil de medir. Las bases moleculares de la herencia nos han permitido obtener una visión enriquecedora de la evolución a este nivel.

La substitución nucleotídica

El ADN es la molécula que contiene la información genética, es decir los genes. Es de conocimiento casi general que tiene forma de doble hélice con dos cadenas, cada una formada por unidades, los nucleótidos. Cada nucleótido consta de tres componentes: un azúcar, un ácido fosfórico y una base nitrogenada. El azúcar, una

desoxirribosa, y el ácido fosfórico son idénticos en todos los nucleótidos, pero no las bases nitrogenadas, de las que hay cuatro: adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G). La secuencia de bases es lo que codifica para la secuencia de aminoácidos de las proteínas en un proceso (la traducción) que tiene un paso intermedio (la transcripción) a través de una cadena de ARN mensajero, de composición parecida al ADN, excepto en el azúcar, que es ribosa, y la timina, que es substituida por uracilo (U). La descodificación se hace según un código genético en que cada tres bases (tripleto) codifican un aminoácido. El número posible de tripletes es de 64 (4^3), lo cual indica que cada uno de los veinte aminoácidos puede ser codificado por más de un tripleto, es un código degenerado.

A nivel molecular, una mutación fenotípica puede estar producida por un cambio de un aminoácido por otro que altere la funcionalidad de la proteína codificante, como es el caso de la anemia falciforme, causada por la substitución de un solo nucleótido. Pero es obvio que la degeneración del código genético hace que muchas substituciones nucleotídicas no conlleven cambios aminoacídicos. Son substituciones sinónimas que no son detectadas por la selección natural y se denominan neutras en contraposición a las substituciones selectivas detectadas. Es evidente que la evolución de los lugares sinónimos no estará dirigida por la selección natural sino por las leyes del azar, en concreto por la deriva genética. Este es un proceso evolutivo desarrollado matemáticamente por los fundadores de la teoría sintética, basado en el hecho de que el tamaño finito de las poblaciones transmite a la siguiente generación un número finito de genes, cuyas frecuencias están sujetas a las leyes de la probabilidad. La teoría de la genética de poblaciones finitas tiene en cuenta la deriva genética junto con la selección para predecir los cambios futuros en las frecuencias génicas y genotípicas. En una población muy pequeña, una mutación no letal puede comportarse como neutra si su valor selectivo es pequeño. Está claro que las substituciones neutras son únicamente el resultado de la deriva, cuyas predicciones se conocen con precisión.

La teoría neutra de la evolución molecular

En 1968 Motoo Kimura propuso que la mayoría de substituciones a nivel molecular eran el resultado de la deriva genética y no de la selección molecular, lo cual implica que la mayoría de substituciones no afectan la aptitud de los genotipos, son neutras. El fundamento de esta propuesta está en dos observaciones: la constancia de las tasas de evolución (k) aminoacídica o nucleotídica en diferentes linajes y la abundancia de variabilidad molecular, ambas observaciones totalmente incompatibles con la teoría darwinista

de la selección natural. Estudios posteriores, más precisos, de las tasas de sustitución han obligado a perfilar más esta propuesta, lo cual ha conducido a una teoría neutra de la evolución molecular que comprende no sólo el estudio de las mutaciones neutras sino también las casi neutras, combinando en su formalización la selección y la deriva genética.

La comprensión de la constancia de las tasas de evolución molecular es fácil. En un modelo completamente neutro, una población diploide de N individuos (por tanto, $2N$ copias de cada nucleótido) genera cada generación (ronda de replicación del ADN) $2Nu$ mutaciones, donde u es la tasa de mutación nucleotídica, es decir la frecuencia de error en la replicación. Ahora bien, no todas estas mutaciones llegarán a fijarse. Si todas son neutras, la fijación será exclusivamente por deriva y la teoría predice que la probabilidad de fijación neutra (p_f) es la frecuencia inicial de cada mutación en la población, en este caso $1/2N$. El producto entre el número de mutaciones ($2Nu$) y la probabilidad de fijación ($1/2N$) nos da la tasa de fijación k , que es igual a la tasa de mutación u , un valor constante e independiente del tamaño de la población. Esta ecuación fundamental ha tenido que modificarse porque sólo es válida para moléculas proteicas en las cuales todas las sustituciones son neutras. Cuando algunas sustituciones son deletéreas (no permitidas), la tasa de sustitución es menor y la ecuación se reescribe: $k=f.u$, donde f es un factor de constreñimiento entre 1 y 0, uno para las moléculas totalmente neutras (sin constreñimientos funcionales) y cero para las moléculas totalmente constreñidas, que no permiten ninguna sustitución. Existe toda una gama de moléculas, desde las muy constreñidas, como las histonas ($k=0,010-0,013 \times 10^{-9}$), hasta las menos constreñidas, como el fibrinopéptido ($k=9,0 \times 10^{-9}$), pasando por otras intermedias, como la mioglobina ($k=0,89 \times 10^{-9}$).

En resumen, la teoría de la evolución molecular o neutralismo propone que, a nivel molecular, la selección natural positiva actúa sólo sobre un número mínimo de mutaciones favorables, aunque muy importantes, y que la mayoría de mutaciones son deletéreas o neutras. Por el contrario, en la evolución darwinista la mayoría de cambios son favorables o deletéreos, y las mutaciones neutras tienen poco valor (Fig. 9). Hay que decir que las nuevas observaciones moleculares han obligado a perfeccionar esta teoría teniendo en cuenta que la probabilidad de fijación de muchas mutaciones ligeramente deletéreas o favorables es el resultado del juego combinado de la selección y el tamaño de la población, lo cual ha generado una compleja formalización que trasciende a esta lección inaugural.

El reloj molecular

El valor teórico del neutralismo ha sido enorme porque, independientemente de su precisión para explicar la evolución molecular, ha proporcionado una hipótesis nula contra la cual podemos detectar la presencia o no de selección natural. Esta teoría es posiblemente la contribución teórica más importante de la segunda mitad del siglo XX a la teoría evolutiva. Pero, además, proporciona herramientas potentes para datar el tiempo evolutivo.

La constancia de las tasas de sustitución hace que el número de sustituciones que experimenta un gen en dos linajes diferentes sea proporcional al tiempo de divergencia a partir del antepasado común. Si mediante otros métodos, como el registro fósil, hemos datado el tiempo de divergencia entre dos especies, podemos calibrar el tiempo de aparición de todas las especies y construir un árbol en la escala del tiempo. Tenemos, pues, un reloj molecular parecido al que tienen los físicos para datar la edad de las rocas mediante el tiempo de descomposición radioactiva. El número de diferencias (K), aminoacídicas o nucleotídicas, entre especies está correlacionado con el tiempo de divergencia desde el antepasado común, tal y como lo observamos en el gen de la globina. El coeficiente de regresión lineal estima la tasa media de divergencia y, si suponemos que la divergencia se ha producido uniformemente en las dos ramas o linajes, la tasa de sustitución (k) es la mitad de este valor (Fig. 10).

Como siempre pasa en las grandes formulaciones científicas, las nuevas observaciones generan discrepancias que hay que explicar. Ya hemos visto que el constreñimiento molecular hace que k sea diferente según el gen y, por tanto, el reloj molecular depende de la molécula estudiada. Pero, también para el mismo gen, la tasa de sustitución depende del linaje. Por ejemplo, los ratones tienen una tasa media de

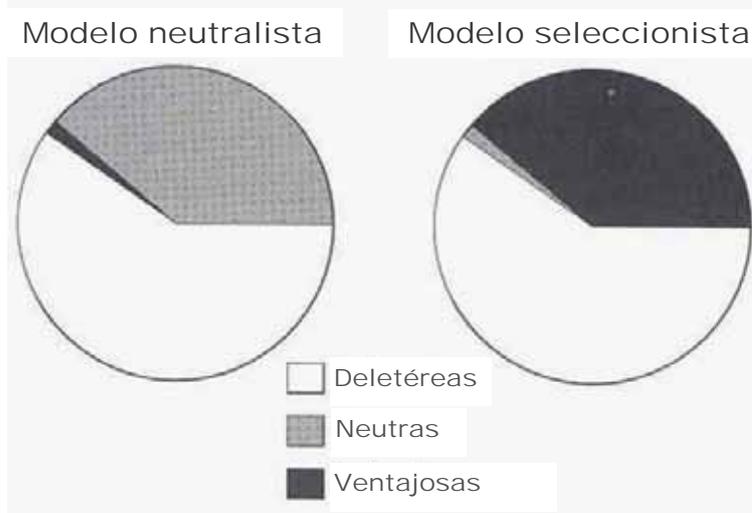


Fig. 9.- Comparación entre los modelos neutralista y seleccionista. Las distintas áreas sectoriales representan las proporciones relativas de mutaciones (deletéreas, neutras y ventajosas) propuestas por cada modelo.

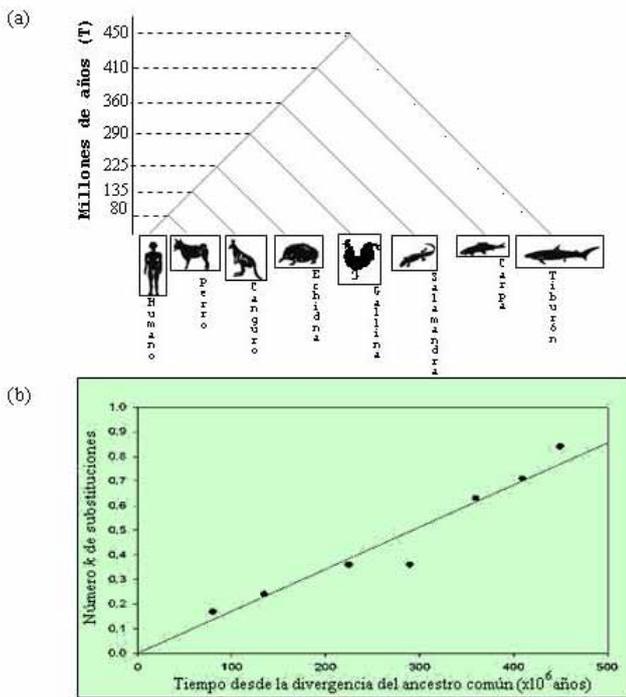


Fig. 10.- El reloj molecular. En (a) se representa un cladograma de las especies para la proteína codificada por el gen de la α -globina. En (b) se representa la divergencia (número medio K de sustituciones aminoacídicas) desde la separación entre el linaje humano y el del antepasado común de cada especie. La regresión es significativa e indica la constancia de la tasa de sustitución, que se estima como la mitad del coeficiente de regresión (tomado de Fontdevila y Moya 2003).

substitución sinónima más alta que los primates. Esto es explicable si tenemos en cuenta que el tiempo de generación de los ratones es cuarenta veces más corto que el de los primates y, por consiguiente, hay más oportunidades de mutación por año, que es la unidad temporal de cambio en las tasas de sustitución. A pesar de esto, especies con tiempos de generación parecidos discrepan también en las tasas de sustitución. Las explicaciones van desde diferencias en tasas metabólicas, que determinan diferencias de tasas de síntesis de ADN y, por tanto, de mutación, a diferencias de capacidad de reparación de los errores de replicación del ADN. Este es un tema abierto en los estudios evolutivos actuales que cae fuera del objetivo de esta lección. En resumen, a medida que se van conociendo más detalles, la aplicación del reloj molecular se hace con más cuidado dependiendo del grupo de especies y de los genes que hay que estudiar. Pero lo cierto es que el uso del reloj molecular ha sido una de las contribuciones más espectaculares de la moderna teoría evolutiva molecular y ha permitido aclarar muchas dudas sobre las relaciones evolutivas de diversos grupos, entre los cuales se encuentra el grupo formado por nosotros y nuestros parientes, el gorila y el chimpancé.

LA EVOLUCIÓN DEL GENOMA

El genoma es el conjunto del material genético de un organismo. El ADN, donde están las instrucciones de la forma y la función del organismo, está empaquetado en estructuras (una de las más conocidas es el cromosoma) que permiten que su expresión y replicación se haga de forma ordenada. Una característica fundamental del genoma es su repetibilidad, producto de la multiplicación total o parcial de secuencias que genera tamaños muchas veces no correlacionados con el número de genes codificantes. La razón básica es que gran parte de organismos tienen una gran proporción de ADN, entre el 30 y el 90 %, que no codifica. Así, los lirios tienen un tamaño genómico de noventa gigabases (una gigabase es mil millones de bases) y unos cincuenta mil genes codificantes, mientras que los humanos tenemos menos de veinticinco mil genes y un tamaño genómico de apenas 3,3 gigas. Esta desproporción entre el número de genes y el tamaño del genoma (valor C) se conoce como la paradoja del valor C (Fig. 11). Tampoco hay una relación directa entre el número de genes y la complejidad orgánica. Los humanos nos arreglamos con unos veinticinco mil genes, mientras que algunos peces y muchas plantas tienen más de cincuenta mil. Estas paradojas aparentes son el resultado de la evolución del genoma, algunas de cuyas características presento a continuación.

ORGANISMO	TAMAÑO DEL GENOMA (en gigabases)	NÚMERO DE GENES	PORCENTAJE DE RETROELEMENTOS
Levadura	0,012	6000	1-3
Nemátodo	0,10	20000	1-3
Drosophila	0,12	15000	5-10
Ratón	3,2	25000	>10
Humanos	3,3	25000	>40
Maiz	2,5	>50000 ?	>50
Lirios	90,0	>50000 ?	>90

Gregory, T.R. (2001). Animal Genome Size Database. <http://www.genomesize.com>.

Fig. 11.- Tabla en la que se comparan el tamaño del genoma, el número estimado de genes y el porcentaje de retroelementos.

La repetibilidad del genoma

El genoma aumenta de tamaño por duplicación. La duplicación es un mecanismo muy ubicuo en el genoma, que se da en secuencias de ADN desde pocos nucleótidos hasta genes completos, y también en cromosomas y en la totalidad del genoma. La evolución de nuevas funciones por duplicación génica fue propuesta por Ohno en 1970 y ha sido confirmada por los estudios evolutivos. Cuando una secuencia génica se

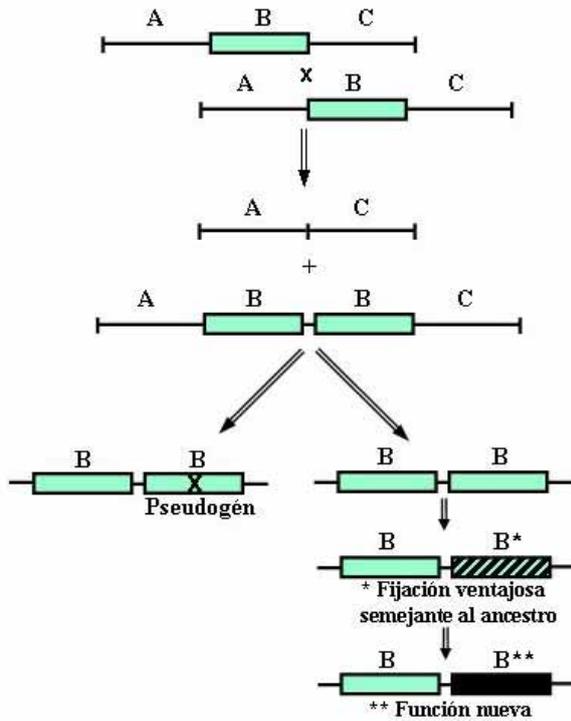


Fig. 12.- Esquema de la duplicación de secuencias codificantes por entrecruzamiento desigual. Dicho entrecruzamiento genera un producto recombinante que contiene dos copias idénticas de la secuencia B (el otro producto, A-C, es deficiente para B), una de las cuales (izquierda del diagrama) puede acumular sustituciones que la conviertan en un pseudogén. Pero existe la posibilidad también de que en la copia se fijen sucesivamente mutaciones (derecha del diagrama) que confieran alguna ventaja adaptativa, B*, (copia a barras), lo cual podría evolucionar hacia una nueva función, B**, (copia en negro) (tomado de Fontdevila y Moya 2003).

duplica, la nueva copia queda innecesaria para el genoma y es liberada de los constreñimientos funcionales, por lo que las nuevas mutaciones son permitidas por la selección natural y la nueva copia puede evolucionar hacia un nuevo gen funcional (Fig. 12). Un ejemplo es nuestra visión tricromática como resultado de una duplicación génica en el cromosoma X que se produjo hace menos de 35 millones de años en los monos del viejo mundo (catarrinos), después de la separación de los monos del nuevo mundo (platirrininos), los cuales no pueden distinguir entre el verde y el rojo. Es cierto que muchas veces las mutaciones son deletéreas e inactivan la función génica del gen duplicado produciendo una secuencia defectuosa o pseudogén. Muchas veces el proceso de duplicación continua y, a partir de un gen original, se produce un conjunto de genes con funciones diferentes pero relacionadas que constituyen familias de genes, como en el caso de las familias de las inmunoglobulinas y de las globinas, que incluye las α globinas (con cuatro genes funcionales y dos pseudogenes) y las β globinas (con cinco genes funcionales y dos pseudogenes). Cada globina funcional tiene funciones ligeramente diferentes que permiten mejorar la adaptación como es el caso de la globina γ , un miembro de las β globinas, que forma parte de la hemoglobina fetal, la cual tiene una capacidad de

captar oxígeno mayor que la hemoglobina adulta normal.

La evolución de nuevos genes por duplicación es un mecanismo evolutivo muy importante, pero no puede explicar por sí sola la paradoja del valor C. Otras duplicaciones se producen en zonas no codificantes, y generan secuencias altamente repetitivas (hasta de más de mil repeticiones) de unidades repetidas de longitud diversa, desde pocos nucleótidos (1-5) hasta más de cien. Este ADN denominado genéricamente satélite es una de las fracciones más abundantes del genoma y en gran parte está disperso. Su valor adaptativo es un tema de discusión, pero es evidente que forma parte de estructuras muy importantes, como los centrómeros y los telómeros en los cromosomas. En el caso de las secuencias altamente repetitivas dispersas en el genoma (minisatélites y microsatélites), se ha observado que las diferencias en el número de copias están relacionadas con enfermedades humanas graves, como el síndrome X frágil, la enfermedad más corriente de retardo mental hereditario, la atrofia muscular bulbo-espinal (enfermedad de Kennedy), la distrofia miotónica y la enfermedad de Huntington, entre otras.

Desde que Winge, en 1917, indicó la importancia de la duplicación de todo el genoma (poliploidía) en el origen de las especies vegetales, muchos estudios moleculares y genómicos han demostrado el origen poliploide antiguo de muchas especies tanto vegetales como animales. Uno de los ejemplos más espectaculares es el de las especies del género *Brassica* (la familia de las coles), algunas de las cuales presentan un valor C de más de mil megabases, que han evolucionado por sucesivos episodios de duplicación de un genoma ancestral parecido al de la planta *Arabidopsis thaliana*, cuyo genoma es uno de los más pequeños (145 megabases) entre las plantas con flores (fanerógamas). Este tipo de incremento del tamaño del genoma puede haber sido importante para aumentar el número de genes funcionales en la transición de los invertebrados a los vertebrados. Si comparamos el cordado invertebrado *Cionia intestinalis* (162 megas y 15.500 genes) con otros invertebrados, como *C. elegans* y *D. melanogaster*, con valores C dos veces más grandes, observamos que el número de genes es aproximadamente igual. Este es otro ejemplo del hecho de que no hay correlación entre tamaño del genoma y número de genes. Pero cualquier vertebrado tiene de dos a tres veces el número de genes de *C. intestinalis* (un organismo muy próximo a los vertebrados), lo cual parece ser el resultado de que el genoma de los vertebrados experimentó dos rondas de duplicación seguidas de divergencia funcional, una después de la separación de los tunicados (urocordados) y otra en el linaje de los peces gnatostomados (con mandíbulas) después de la separación de los peces agnatos (sin mandíbulas). La duplicación

completa de todo un genoma favorece la duplicación simultánea de genes interactuantes y la posibilidad de una evolución conjunta de redes reguladoras. Más adelante veremos como en la evolución de la forma estas redes de secuencias reguladoras adquieren un gran protagonismo porque la complejidad evolutiva dentro de los vertebrados no depende del número de genes sino del incremento de estas secuencias intergénicas a menudo no codificantes. Esto explicaría por qué en los ratones y los humanos el número de genes codificantes es prácticamente el mismo.

El genoma es móvil

Sólo el 1 % del genoma humano es codificante. La pregunta obvia es: ¿para que sirve el 99 % restante? Lo mismo podemos preguntarnos de la mayoría de mamíferos, cuya densidad génica es mucho más baja (aproximadamente 1 gen cada 70 kb) que en otros vertebrados, como el pez *Fugu rubripes* (1 gen cada 7 kb), con un tamaño de genoma más pequeño, todo lo cual hace que el número de genes sea muy parecido. Ya hemos justificado que este ADN no codificante podría contener secuencias de regulación fundamentales para explicar la complejidad orgánica. La fracción no codificante “invisible” del genoma sería equivalente a la materia oscura del cosmos de la que hablan los físicos. En humanos, se acepta que sólo del 2 al 3 % de esta materia oscura contiene secuencias que controlan el uso de los genes. El resto está formado en gran parte por secuencias repetitivas, de algunas de las cuales ya hemos hablado, entre las que destaca, por su abundancia, una clase de ADN disperso que es móvil formado por los elementos transponibles (ET) (Fig. 13). Este ADN no codificante ha sido calificado genéricamente de porquería (*junk*) como resultado de la acumulación en el proceso evolutivo. Mientras que es posible que el ADN porquería sea una realidad, la fracción de ETs presenta unas características especiales que merecen tenerse en cuenta antes de descartar su valor evolutivo.

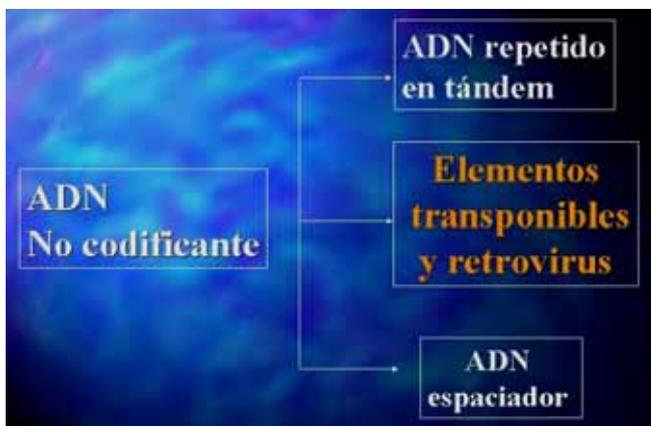


Fig. 13.- Una clasificación del ADN no codificante, realzando la importancia de la fracción repetitiva.



Fig. 14.- Moteado en los granos de maíz debido a la actividad de transposición de un elemento transponible en el endospermo. La inserción genera pérdida de función en el gen de pigmentación y la excisión recuperación de función (áreas coloreadas).

Hay dos clases fundamentales de ETs: los de la clase I, denominados retroelementos, que transcriben una copia de ARN que posteriormente retrotranscriben a una secuencia de ADN que insertan en un nuevo lugar (transposición) de un modo parecido a como lo hacen los retrovirus como el del sida; y los de la clase II, de transposición directa mediante excisión-inserción de secuencias ADN. A causa de su capacidad de invadir el genoma, se han considerado como parásitos genómicos egoístas de los que el genoma tiene que defenderse mediante mecanismos, algunos de los cuales, como la metilación, ya se han descrito y son evolutivamente muy antiguos. A pesar de todo, su abundancia, que en humanos puede llegar a más del 50% del genoma, merece ser explicada.

Los ETs producen mutaciones (Fig. 14). La gran mayoría (más del 80 %) de mutaciones en *Drosophila* y una cantidad importante (un 15 %) en los mamíferos se deben a la inserción de ETs (Fig. 15). Una inserción en una zona codificante altera la expresión del gen y a menudo lo inactiva. A pesar de todo, tenemos evidencias que al menos un 4 % de los genes humanos, es decir más de 1000 genes, contienen ETs. Pero donde posiblemente la inserción de un ET tiene consecuencias evolutivas más importantes es en las zonas reguladoras del gen, porque las propias secuencias reguladoras del ET pueden cambiar la expresión del gen. Un ejemplo de este tipo de mutación reguladora se da en los genes de la familia de la amilasa, que en mamíferos se expresan generalmente en el páncreas. Por el contrario, en humanos el gen *Amy1*, de esta familia, contiene un retrotransposón que es responsable de su expresión en las glándulas salivales. Muchos de los ETs insertos en regiones importantes, como la región HLA-DR del complejo mayor de histocompatibilidad, podrían tener también funciones reguladoras (Fig. 16).

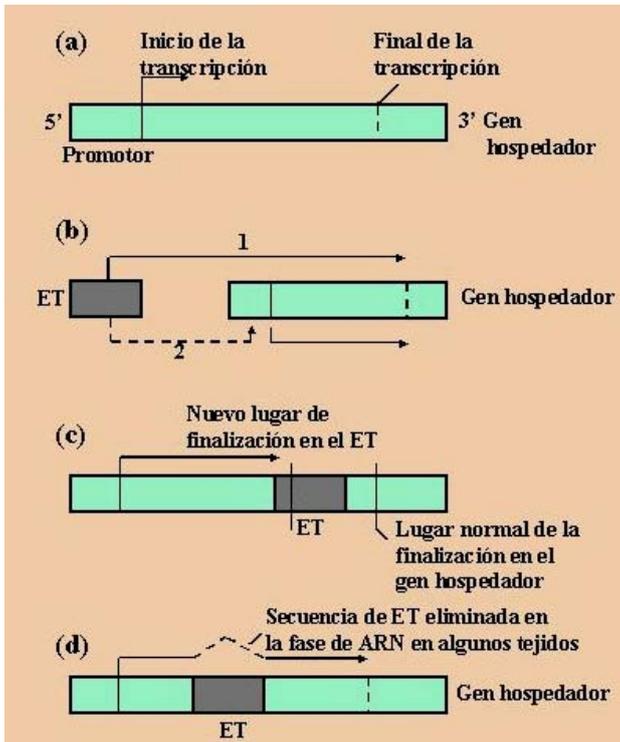


Fig. 15.- Esquema de varios mecanismos que pueden cambiar la expresión génica normal (a) debido a la inserción de un ET. La iniciación de la transcripción está regulada por secuencias de control, normalmente en posición 5', y la terminación por señales situadas en posición 3'. En (b) se muestra como la inserción de un ET en posición 5' puede modificar el patrón de expresión del gen debido: (1) a un nuevo inicio de transcripción en el ET que transcribe una larga secuencia 5' hasta la terminación del gen o (2) a una alteración de las propias secuencias de control del gen influenciadas por secuencias "estimuladoras" contenidas en el ET. La inserción de un ET dentro de la región codificante puede: (c) interrumpir la transcripción debido a las propias secuencias de terminación o poliadenilación del ET o (d) actuar como un intrón cuya excisión depende del tejido de expresión, induciendo un montaje diferencial que cambia los patrones temporales y espaciales de expresión (tomado de McDonald 1995).

La dinámica de los ETs tiene un alcance evolutivo muy importante en la reorganización del genoma. La transcripción y la excisión del elemento no son perfectas y a veces arrastran segmentos genómicos flanqueantes que son transpuestos a otros lugares del genoma. Estos segmentos pueden contener secuencias codificantes o reguladoras capaces de producir o inducir nuevas funciones génicas en los lugares de inserción (Fig. 17). Otro mecanismo importante de reorganización genómica consiste en el apareamiento ectópico entre secuencias homólogas de dos copias de ET. Este apareamiento puede afectar grandes segmentos cromosómicos o secuencias cortas de ADN. En el primer caso, el resultado es la producción de reordenaciones cromosómicas de gran importancia evolutiva, como inversiones, translocaciones, duplicaciones y deleciones. En el segundo caso, las reordenaciones se dan a nivel de genes o incluso entre exones, lo cual confiere una gran capacidad evolutiva para producir nuevas funciones génicas. De hecho, sabemos que muchos genes están contruidos empalmando piezas de otros genes,

ARQUITECTURA GENÉTICA DE LA REGIÓN HLA-DR DEL COMPLEJO MAYOR DE HISTOCOMPATIBILIDAD



Fig. 16.- Descripción gráfica de la arquitectura de la región de genes antígenicos leucocitarios humanos (HLA, del inglés *human leucocyte antigens*) que codifican las moléculas que "presentan" los antígenos en la respuesta inmune. Los exones se muestran como cuadriláteros en distintos tonos desde el blanco, gris al negro. Se muestran 5 haplotipos HLA-DR que se diferencian básicamente por la inserción de varios retroelementos dentro o entre los genes DRB: Alu (verde), LINE (azul), ERV9LTR (rojo) y HERV (amarillo, retrovirus endógenos, del inglés *endogenous retrovirus*). La densidad de Alu en toda la región de la clase II del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) a la que pertenecen los genes DR es de 1 elemento por cada kb. Muchas de estas inserciones generan montajes alternativos de genes y regulación transcripcional, lo cual se interpreta como una fuente de plasticidad evolutiva en la evolución de la respuesta inmune de los primates (tomado de Anderson *et al.* 1998).

muchas de las cuales están repetidas, y el papel de los ETs en este proceso de recombinación es importante en algunos casos.

La capacidad de los ETs de replicarse e invadir el genoma fue para algunos evolucionistas la prueba de que el ADN móvil era un ejemplo claro de ADN egoísta, parecido al de los virus u otros parásitos, sin ningún valor evolutivo para el genoma. Esta idea, aún bastante extendida entre la comunidad científica, está cambiando a medida que los nuevos datos nos descubren su papel en la evolución del genoma. La hipótesis egoísta visualiza la interacción entre ET y genoma como una carrera armamentística evolutiva en la que el genoma evoluciona mecanismos de defensa (selección negativa) y los ETs responden con mecanismos de invasión (tasa de transposición), de manera que la distribución de ETs que observamos es el resultado del equilibrio entre ambas fuerzas. Es muy posible que originalmente los ETs tuvieran un comportamiento totalmente parásito, pero esto no impide que posteriormente los ETs coevolucionasen con el genoma, el cual se apropió de algunas de sus funciones en un proceso de domesticación análo-

ESQUEMA DE TRANSDUCCIÓN DE UN ELEMENTO LINE

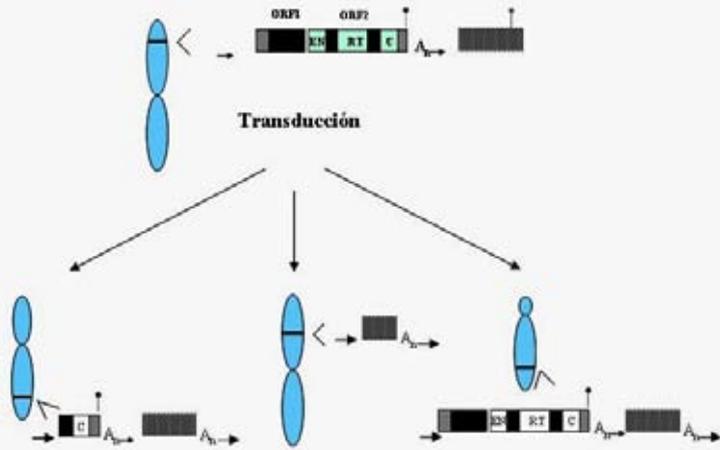


Fig. 17.- Esquema que ilustra como un retroelemento (LINE) puede aumentar la diversidad genómica por transducción. En la parte superior se representa el esquema de un elemento LINE en el que se destacan los dos marcos de lectura (ORFs), el segundo con la regiones EN (endonucleasa), RT (transcriptasa inversa) y C (zona rica en cisteína), las secuencias duplicadas del lugar de inserción (flechas) y la señal poliadenilada (A_n) marcada con un círculo. Además, se representa una secuencia flanqueante (con fondo de puntos), que puede contener exones y/o promotores, en la que se destaca una señal de poliadenilación (círculo negro). Se esquematizan tres posibles secuencias de transducción (de izquierda a derecha): 1. Un elemento L1 truncado más la secuencia flanqueante; 2. Sólo la secuencia flanqueante; 3. Un elemento L1 completo más la secuencia flanqueante. Estas secuencias transducidas se insertan en lugares cromosómicos distintos indicados por rectángulos en negro. Cada secuencia genera, al insertarse, dos secuencias duplicadas nuevas (flechas grandes en los extremos) (tomado de Moran *et al.* 1999).

go a una endosimbiosis. Las observaciones descritas más arriba sobre el papel regulador y reorganizador de los ETs en el genoma sugieren este enfoque. Aunque Barbara McClintock, la premio Nobel descubridora de los ETs, ya indicó hace más de cuarenta años su papel regulador en el genoma, hemos tenido que esperar a la era genómica para descubrir las huellas, a menudo muy débiles y alteradas, que los ETs han ido dejando a lo largo del genoma en su larga andadura evolutiva de domesticación, de las que he dado una pincelada.

Esta cascada de información que proporcionan las técnicas genéticas y bioinformáticas actuales está en gran parte sin analizar, y el futuro nos proporcionará, sin lugar a dudas, más datos sorprendentes. Pero por lo que se refiere a nuestra visión del genoma, esta es bien diferente de la que teníamos hace unos años. El genoma es móvil, entendiéndose por móvil que su dinámica está condicionada por una abundancia de transposiciones que son domesticadas y que se han ido produciendo desde el principio de la vida. Esta dinámica era muy difícil de prever en la época de Darwin, pero no me cabe duda que el mismo Darwin estaría fascinado al ver que la selección puede actuar a múltiples niveles.

LA EVOLUCIÓN DE LA FORMA

La dificultad de encontrar homologías morfológicas entre los diferentes tipos corporales o *fila* ha sido tradicionalmente un argumento antidarwinista. El mismo Ernst Mayr, uno de los arquitectos de la teoría sintética, ha escrito que “la búsqueda de genes homólogos es completamente inútil excepto en organismos estrechamente emparentados”. Obviamente, la interpretación evolutiva es que los enormes periodos de tiempo han modificado tanto la estructura de los genes que es prácticamente imposible reconocer su origen común. Pero la interpretación antievolucionista es que no hay un antepasado común. El registro fósil del Cámbrico muestra la aparición rápida, en menos de cuarenta millones de años, de todos los planes corporales animales (*fila*), lo cual no explica la falta de relaciones evolutivas (homologías) entre los *fila* ni favorece la interpretación de que el mecanismo darwinista de la descendencia con modificación a partir de una sola forma original es aplicable. La explicación de Darwin es que el registro fósil es muy incompleto y que el origen de los grandes *fila* se remonta mucho más allá del Cámbrico. Algunos estudios de datación aplicando el reloj molecular a secuencias de ADN de genes homólogos parecen indicar que la separación entre algunos *fila* puede haberse producido hace más de mil millones de años. Pero aunque se ha encontrado fauna fósil precámbrica o de principios del Cámbrico, su interpretación en relación con la fauna cámbrica no resuelve el problema de las homologías porque muchas formas corporales de esta fauna ancestral son muy diferentes de los tipos actuales, es difícil relacionarlas entre sí y otras formas ya presentan los patrones actuales.

La solución a este problema ha tenido que esperar a los estudios de biología evolutiva del desarrollo aplicando técnicas moleculares de expresión génica a organismos representativos de los diferentes *fila*. Esta disciplina, conocida como evo-devo (un acrónimo de *evolutionary developmental biology*), ha puesto de manifiesto que, a pesar de las diferencias en forma y fisiología, los animales complejos, desde las moscas a los humanos, pasando por los dinosaurios, los trilobites, las mariposas y los leones, compartimos todos una “caja de herramientas”, en palabras de Sean B. Carroll, llena de genes “maestros” que dirigen la construcción de nuestro cuerpo. Estos genes son muy antiguos y, por tanto, permiten establecer homologías entre los diferentes tipos corporales, resolviendo el problema del antepasado común, pero también nos han explicado que la evolución de la forma es un proceso de descendencia con modificación gradual igual al que se produce en los otros caracteres fisiológicos o bioquímicos que actúan a otros niveles, como la viabilidad y la fertilidad

que determinan la reproducción diferencial en las poblaciones.

Los señores de las moscas

Prácticamente todo empezó en 1915 cuando un genético, llamado Calvin Bridges, obtuvo una mosca mutante que tenía dos pares de alas, el segundo par en vez de halterios. Era el mutante *bitorax*. A partir de entonces, otros mutantes como éste, en que una parte del cuerpo se transformaba en otra, fueron encontrándose en *Drosophila melanogaster*, la mosca del vinagre, que era el organismo de trabajo de un grupo de genéticos dirigidos por Thomas H. Morgan en la Universidad de Columbia de Nueva York. Uno de estos mutantes de denomina *Antennapedia*, porque tiene patas en la cabeza en lugar de antenas. De hecho, William Bateson ya había descrito en 1894 una serie de monstruos de este tipo en otros organismos, como abejorros, cangrejos, mariposas, ranas y otros. También había “monstruos” humanos, como el caso de individuos con costillas extra, uno o dos pares de pezones extra, dedos supernumerarios, y otros más horripilantes, como la presencia de un solo ojo central (ciclopi) o de un par extra de pequeñas orejas (Fig. 18). Todas estas anomalías, en que una parte del cuerpo adquiere la forma de otra parte, las denominó homeóticas.

La importancia que estos mutantes homeóticos tenían para Bateson era que demostraban, según él, que la evolución morfológica podía producirse a saltos y no por el gradualismo preconizado por Darwin. Los cambios saltacionales o macromutaciones eran la alternativa a las micromutaciones favorecidas por los evolucionistas darwinistas fruto de los estudios impecables hechos en las poblaciones. El argumento saltacionista es que, si

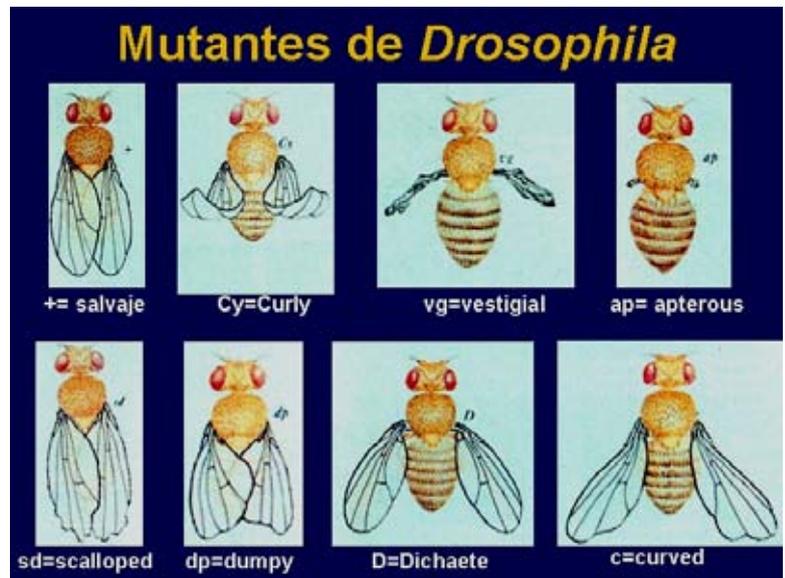


Fig. 19.- Algunos de los mutantes con los que trabajaron los genéticos de *Drosophila*.

bien las micromutaciones son el fundamento de la variabilidad sobre la que actúa la selección natural en los cambios evolutivos menores, en las poblaciones y en la especiación, los cambios mayores responsables del origen de los grandes tipos morfológicos serían el resultado de las macromutaciones. No es preciso indicar que, en general, los genéticos han dudado siempre de esta dicotomía. Los recientes estudios sobre los genes homeóticos les han dado la razón.

El descubrimiento de los genes homeóticos es una consecuencia de los estudios genéticos y evolutivos en una mosca muy humilde y poco espectacular, la *Drosophila melanogaster*, que un grupo de científicos adoptaron en la Universidad de Columbia, como ya hemos dicho antes. Este grupo obtuvo una gran colección de mutantes morfológicos de *Drosophila* (Fig. 19) que permitieron describir multitud de genes, demostrar que los genes estaban en los cromosomas, situarlos en el cromosoma mediante estudios genéticos de recombinación, comprobar que la selección actuaba en las poblaciones experimentales y, en definitiva, establecer las bases de la genética moderna. Sus descubrimientos fueron tan importantes como para otorgarles varios premios Nobel, por lo que no es exagerado calificarlos como los señores de las moscas. Como drosophilista, estoy acostumbrado a oír cosas como: “¿para qué sirven las moscas?, al fin y al cabo lo que les pasa a las moscas no tiene ninguna importancia para organismos más complejos como nosotros”, o, “¿por qué tendría que estar yo interesado en las moscas?” Desgraciadamente, estos comentarios, un poco graciosos, no se escuchan solamente en reuniones familiares o entre amigos no científicos, cosa hasta cierto punto comprensible; son también el centro de conversaciones con muchos colegas científicos no biólogos, y también con algunos biólogos. La razón de todos estos comentarios se basa, en primer lugar, en un desconocimiento del ADN y

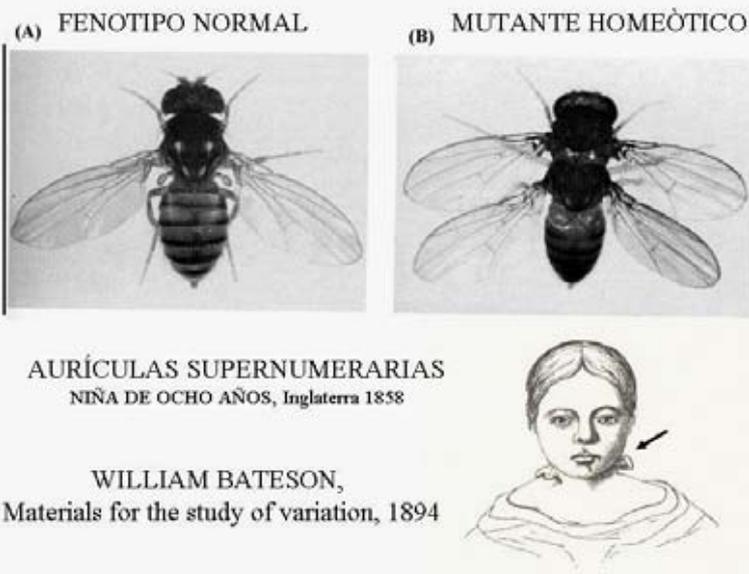


Fig. 18.- Arriba, mutante bitórax (B) y fenotipo normal (A) de *Drosophila*. Abajo, fenotipo humano mutante homólogo a bitorax.

del funcionamiento de los genes y de la evolución, y en segundo lugar en un malentendido histórico, fundamentado por la tradicional separación entre los biólogos que trabajan con organismos “superiores”, como mamíferos y humanos, y los que trabajamos con organismos “inferiores”, como las moscas, y en que la fisiología y el desarrollo son tan diferentes entre mamíferos y moscas que trabajar con moscas es irrelevante.

Biodiversidad y unidad de tipo: el GPS biológico

Los mutantes homeóticos obtenidos por los señores de las moscas son un ejemplo, ni mucho menos el único, de cómo las leyes de la genética y de la evolución de las moscas y de otros organismos “inferiores” son extrapolables a los otros seres vivos. De hecho, dos investigadores ilustres, Jacques Monod y François Jacob, estudiando la regulación genética en la bacteria *Escherichia coli*, ya habían hablado de esta extrapolación. Quien haya leído el magnífico libro *El Azar y la Necesidad* sabe de lo que hablo y entiende la famosa frase de Monod: “Lo que es cierto para *E. coli* también lo es para el elefante”. El hecho es que se clonaron los ocho genes responsables de los mutantes homeóticos de *Drosophila* y se vio que cartografiaban juntos en el tercer cromosoma de la mosca formando dos grupos: los complejos *Bitorax* (tres genes) y *Antennapedia* (cinco genes). Lo más característico de estos genes es una secuencia de unos 180 nucleótidos (caja homeótica o *homeobox*), muy parecida en todos ellos, que codifica para un dominio proteico (una parte de la proteína total codificada) de 60 aminoácidos (homeodominio). (A partir de ahora denominaremos Hox a los genes homeóticos con secuencia homeótica). Cuando se comparó este homeodominio proteico

con otras proteínas, la semejanza fue total con proteínas que enlazándose a ciertas regiones del ADN regulaban la expresión de los genes de bacterias y levaduras. Los genes homeóticos eran, por tanto, sospechosos de codificar proteínas reguladoras de los interruptores genéticos del desarrollo animal. Pero lo más importante, evolutivamente hablando, era la gran homología entre organismos tan alejados como la *Drosophila* y las levaduras. Esta homología se confirmó secuenciando otros organismos (Fig. 20). Por ejemplo, de los sesenta aminoácidos del homeodominio, 59 eran idénticos entre ratones y *Drosophila*, dos organismos que se habían separado antes de la famosa explosión del Cámbrico de que hemos hablado antes, es decir, hace más de quinientos millones de años. Nadie, ni el mismo Mayr, habría sospechado que planes corporales tan diferentes como el de una mosca (un artrópodo) y el de un ratón (un cordado) estuvieran contruidos por los mismos genes. La unidad del tipo único parecía comprobada.

Los genes Hox no son los únicos que intervienen en la construcción del cuerpo; de hecho ocupan una posición intermedia en la cascada de genes del desarrollo. En *Drosophila* hay unos cuantos centenares y nosotros puede que tengamos más de mil. Muchos de estos genes estudiados presentan grandes homologías y se expresan en las mismas estructuras (ojos, patas, alas, etc.). La forma de actuar de estos genes es parecida a la de un GPS. De la misma manera que un localizador GPS integra medidas diversas para posicionar el lugar, una parte del ADN situado al lado de los genes contiene secuencias (signaturas) que se enlazan con las proteínas reguladoras codificadas por estos genes homeóticos, y la combinación específica de estos *inputs* de enlace determina la posición donde ha de expresarse el gen para construir un ojo, una pata o un corazón (Fig. 21 y 22). El poder de la combinatoria es enorme, ya que, si pensamos que un animal tiene unas 500 proteínas de enlace, existen $500^2 = 250.000$ parejas de combinaciones, $500^3 = 12.500.000$ combinaciones triples y más de seis mil millones de combinaciones cuádruples posibles para posicionar el lugar de actuación de un gen.

El entramado de relaciones entre los genes promovidas por esta serie de interruptores genéticos es complejo y su descripción cae fuera de lugar en esta presentación. Resumiendo, los estudios de evo-devo nos muestran que existe una unidad de tipo que se puede datar mucho más allá del Cámbrico, que la evolución de la forma (la biodiversidad) depende más de cuando y donde se expresan los genes que de las diferencias entre ellos, y que los cambios evolutivos importantes están en los genes reguladores y las signaturas de enlace más que en los genes estructurales. Estos estudios explican también por qué el número de

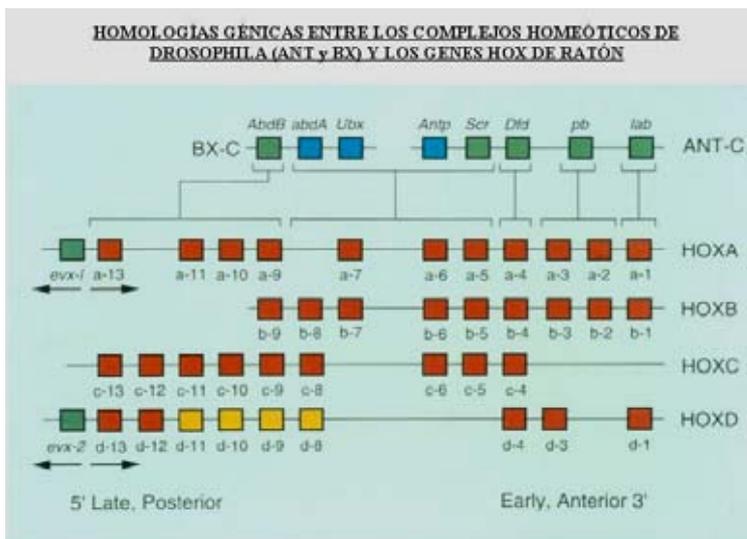


Fig. 20.- Homologías entre los complejos de genes homeóticos de *Drosophila* y genes Hox de ratón. Obsérvese la doble duplicación de las baterías de genes homeóticos en el ratón.

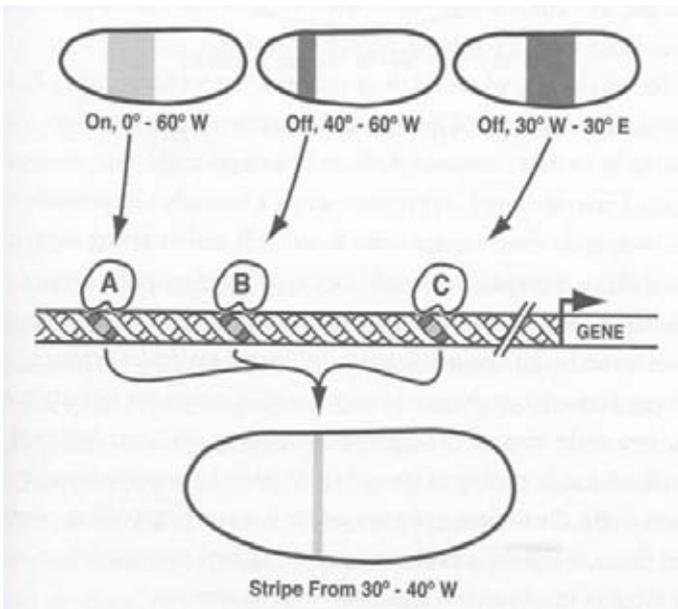


Fig. 21.- Esquema del modelo “GPS” de actuación de los genes reguladores en la expresión de genes del desarrollo. Un activador (A) y dos represores (B y C) se unen a las firmas de control del gen. Estas uniones determinan las longitudes del eje antero-posterior en las que se expresa o inhibe el gen, como se indica en la figura. El resultado de esta combinatoria de expresión de genes reguladores a diferentes longitudes es que el gen se expresa solamente en una banda entre 30 y 40° de longitud oeste.

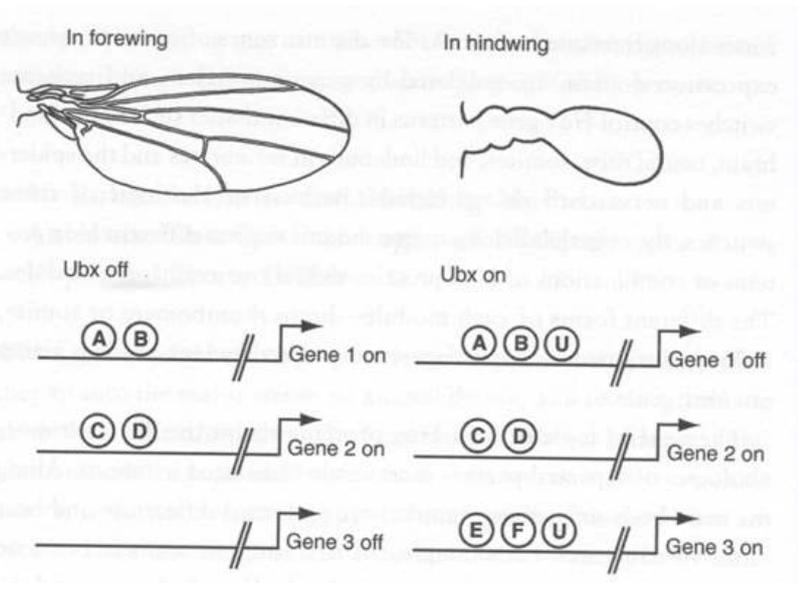


Fig. 22.- Esquema mostrando cómo una estructura alar en la región anterior (el ala) y en la posterior (el halterio) puede originarse mediante distintos genes activos regulados por combinaciones de proteínas reguladoras (A, B, C, D, E, F, U). U indica el producto del gen Ubx. (Tomado de Carroll 2005. *Endless Forms Most Beautiful*).

genes estructurales no está relacionado directamente con la complejidad orgánica. Así, para entender por qué nosotros y los ratones tenemos aproximadamente el mismo número y tipo de genes (unos 25.000) a pesar de muestras diferencias morfológicas y fisiológicas, es hora de que empecemos a estudiar en profundidad este ADN no codificante que rodea los genes estructurales.

Nuestro problema es del 1 por ciento

Nuestro genoma contiene unos tres mil millones de nucleótidos (o pares de bases). En el chimpancé, el 98,8 % de los nucleótidos son idénticos a los nuestros; por tanto, las diferencias son aparentemente mínimas, un poco más del 1 % (Fig. 23). Esta pequeña diferencia puede insultar a alguien, pero si pensamos en la maquinaria génica de la construcción de un organismo que acabamos de describir, quizá lo entenderemos. Traducido a nucleótidos, el 1,2 % representa unos 30 millones de bases, unos 15 millones de cambios en nuestro linaje. Si pensamos que sólo el 1 % de nuestro ADN es codificante y que el 2-3 % es ADN implicado en la regulación, obtenemos una cantidad todavía más mínima de diferencias significativas. De hecho, nadie sabe cuántos cambios son responsables de nuestra morfología, pero una estimación de unos cuantos miles es razonable. Está claro que estas diferencias han de estar en las zonas de control génico (los interruptores) más que en los genes codificantes.

Es interesante que ya hace cuarenta años que muchos evolucionistas llegaron a la misma conclusión, pero en aquellos tiempos no tenían las herramientas de la genética, ni de la genómica.

Las comparaciones entre genomas ayudan mucho a entender qué diferencias son importantes en la evolución de la forma. Los linajes de los ratones y de los humanos se separaron hace unos 75 millones de años. No es preciso indicar que nuestras morfologías son muy diferentes; en particular, el cerebro de los ratones es mucho más



Fig. 23.- Jane Goodall y uno de sus chimpancés.

pequeño que el nuestro, tiene un neocortex mucho más pequeño que el nuestro y, sin embargo, tenemos el mismo número de genes, el 99 % de los cuales son homólogos, es decir, están presentes en humanos y en ratones. De nuevo el problema es del 1 %. Las diferencias en el número de genes no parecen tener ningún papel en la evolución humana. Si nos comparamos con *Drosophila*, las diferencias son mayores, pero no tanto como esperaríamos. *Drosophila* tiene aproximadamente la mitad nuestros genes (unos 13.000) pero las homologías son muy grandes. Aparte de las homologías de los genes Hox, ya comentadas, sabemos que dos de cada tres genes relacionados con enfermedades humanas y el 60 % de nuestros genes neurológicos tienen sus homólogos en *Drosophila*.

Las grandes semejanzas entre genomas divergentes abren posibilidades insospechadas de utilizar organismos modelo como *Drosophila* para entender los mecanismos genéticos de caracteres de interés patológico y funcional difícilmente tratables experimentalmente en humanos, pero al mismo tiempo plantean una paradoja. Si los genes son tan parecidos entre organismos, ¿cómo evolucionan las diferencias? ¿Cómo es posible que los mismos conjuntos de genes Hox hayan sido capaces de producir la biodiversidad actual? Ya hemos explicado, someramente, que la respuesta no está en la variación de los genes codificantes para las funciones normales del organismo, ni tampoco en los genes responsables de los factores de regulación, sino muy probablemente en la manera como estos genes controladores son utilizados en el espacio y en el tiempo del desarrollo. Las zonas de control de los genes (interruptores genéticos), situadas normalmente en el ADN adyacente al gen, contienen firmas de secuencias de pocos nucleótidos (6-20), que son reconocidas por las proteínas reguladoras. El enlace de estas proteínas a las firmas determina la represión o la activación del gen en una posición determinada y la combinación de diversas de estas señales determina un número enorme de posibilidades de expresión.

CODA: DARWIN RECONSTRUIDO

Desde que Richard Goldschmidt propuso en su obra *La Base Material de la Evolución* (1940) que los grandes cambios evolutivos responsables de la gran biodiversidad actual no eran explicables por selección natural de pequeñas mutaciones favorables (micromutaciones), sino por mutaciones de grandes efectos (macromutaciones) generadoras de formas monstruosas (los monstruos esperados, en sus palabras), el darwinismo a nivel macroevolutivo ha sido discutido y considerado superado por algunos. También los avances en genética molecular han descubierto formas de evolución que, como el

neutralismo y los elementos móviles, han sido calificadas de no darwinistas. Este pequeño resumen que he presentado nos permite reflexionar si en realidad tenemos bases para descalificar el concepto darwinista de descendencia con modificación por selección natural.

En primer lugar, hemos visto que los mecanismos moleculares nos han dado una visión profunda, y también sorprendente, de como el genoma evoluciona generando una gran cantidad de ADN no codificante, una parte del cual tiene un papel evolutivo importante. Este panorama nos ha reafirmado en la unidad de tipo, un concepto básico de Darwin, y en la idea de que son las pequeñas substituciones favorables, aunque minoritarias, las que importan en evolución. Esto es evidente en las substituciones de las zonas reguladoras que funcionan como interruptores de la acción génica. La potencia de la combinatoria de un número finito de secuencias reguladoras para inventar nuevas formas nos ilustra como la selección natural utiliza continuamente antiguas redes de regulación modificándolas en vez de inventarlas de nuevo a partir de cero. Esta estrategia oportunista de construcción paso a paso aprovechando estructuras antiguas modificadas para adaptarse a los nuevos desafíos ambientales es uno de los argumentos darwinistas menos entendidos cuando se argumenta la imposibilidad de la evolución por mutaciones al azar. La lección de la evo-devo nos explica que las estructuras más simples y también las más complejas, como el ojo o las patas, no se han inventado independientemente en cada tipo corporal; todas comparten los mismos genes maestros convenientemente reutilizados en nuevas redes funcionales.

En segundo lugar, es evidente que la estrategia del chatarrero no genera el mejor diseño posible, pero sí un diseño adaptado a las condiciones ecológicas presentes en cada momento, que funciona perfectamente y hace posible la evolución en un tiempo aceptable sin tener que esperar a que aparezca todas las nuevas mutaciones necesarias para construir una nueva estructura. Las novedades no son realmente novedades absolutas sino modificaciones de estructuras antiguas y cambios en la expresión de genes ya existentes. El carácter oportunista de la selección natural es evidente en la utilización de antiguas estructuras morfológicas, como los huesos de las mandíbulas reptilianas, o génicas, como las secuencias de los ETs, para nuevas funciones (los huesecillos del oído medio de los mamíferos o la amilasa expresada en nuestra saliva, respectivamente), en un proceso que hemos denominado cooptación. Es evidente, pues, que no hay argumentos para atribuir a la arquitectura genómica el papel de motor evolutivo; la maquinaria génica es una potencialidad, importante y no infinita, por cierto, pero la realización, la actualización, está dirigida por la adaptación al medio en un proceso

de selección natural, es decir, tiene un carácter básicamente externalista, ecológico.

Para terminar, los vientos antievolutionistas actuales están enraizados todavía en comunidades económicamente desarrolladas, sobre todo en la difícil aceptación de que nosotros somos el resultado de la evolución. Sospecho, y las estadísticas me apoyan, que hay una relación directa entre las convicciones socioreligiosas y la aceptación evolutiva, pero también el grado de educación en la genética y la biología en general tienen mucho que ver. Desgraciadamente, los argumentos creacionistas pretenden encontrar un cierto apoyo en los ataques antidarwinistas de algunos sectores, a veces académicos. Yo he tratado de presentar algunos hechos, primero históricos y después de conocimientos actuales, que creo que más bien apoyan los principios darwinistas de la selección natural, bien entendido que los mecanismos de generar variabilidad genética son mucho más ricos y diversos que los que Darwin e incluso hace pocos años nosotros mismos podíamos imaginar. Pero estos mecanismos, como las sustituciones neutras, la transposición de ETs, la duplicación génica o los genes de la caja de herramientas del desarrollo, no justifican, a mi entender, el abandono, o la postergación, del principio de descendencia con modificación por selección natural. Pienso que los nuevos conocimientos permiten reconstruir a Darwin en un contexto actual y de ningún modo justifican su negación.

REFERENCIAS

- Anderson, G., Svensson, A., Setterblad, N y Rask, L. 1998. Retroelements in the human MHC class II region. *TIG* 14: 109-114.
- Carroll, S.B. 2005. The new science of Evo-Devo: Endless forms most beautiful. W.W. Norton & Co.
- Fontdevila, A. y Moya, A. 2003. *Evolución: Origen, Adaptación y Divergencia de las Especies*. Ed. Síntesis, Madrid.
- Futuyma, D.J. (1998): *Evolutionary Biology*. Sinauer. Sunderland, Massachusetts.
- Lack, D. 1957. *Evolutionary Theory and Christian Belief*. Methuen & Co.
- McDonald, J.F. 1995. Transposable elements: possible catalysts of organismic evolution. *Trends Ecol. Evol.* 10: 123-126.
- Moran, J.V., DeBerardinis, R.J. y Kazazian, H.H. Jr. 1999. Exon shuffling by L1 retrotransposition. *Science* 283: 1530-1534.
- Stanley, S.M. 1986. *Earth and Life through Time*. Freeman and Co.
- Strickberger, M.W. 1993- *Evolución*. Ed. Omega, Barcelona. Traducción de *Evolution*, edición inglesa de 1990, Jones Bartlett Pub.

Información del Autor

Antonio Fontdevila es Catedrático de Genética y Director del Grupo de Biología Evolutiva de la Universidad Autónoma de Barcelona, coordinado con la Universidad de Barcelona. Durante su larga carrera científica ha dirigido 15 tesis doctorales, ha sido profesor visitante en más de 20 universidades en todos los continentes y ha sido conferenciante invitado más de 35 veces en 10 países diferentes. Es editor asociado de varias revistas y ha sido miembro del consejo de la European Society for Evolutionary Biology (1993-1997). Ha publicado más de 120 artículos y capítulos de libros con revisores internacionales. Es editor de un libro y co-autor de dos libros de texto: *Introducción a la Genética de Poblaciones*, y *Evolución*, Ed. Síntesis, Madrid. Es fundador del Seminario de Genética de Poblaciones y Evolución en España y ha organizado tres congresos internacionales, entre los que destaca el Seventh Congress of the European Society of Evolutionary Biology (Bellaterra, 1999). Las aportaciones más relevantes de su grupo de investigación se centran en la medida de la aptitud en las estrategias de vida de las poblaciones naturales, la adaptación térmica, la ecología y la genética evolutivas de la colonización, la sistemática del complejo buzzatii (*Drosophila*), la evolución molecular y la genética de poblaciones de los elementos transponibles y la evolución del aislamiento reproductivo postzigótico.

El conflicto de racionalidades entre Louis Agassiz (1807–1873) y Charles Darwin (1809-1882)

Leandro Sequeiros San Román¹ y Cándido Manuel García Cruz²

¹ Facultad de Teología, Universidad de Granada, Campus de la Cartuja, Apdo. 2056, 18012 Granada. E-mail: lsequeiros@probesi.org

² IES Barranco Las Lajas, c/ Las Abiertas s/n, Agua García, 38355 Tacoronte, Santa Cruz de Tenerife. E-mail: cgarcru@gobiernodecanarias.org

RESUMEN

En conmemoración del bicentenario del nacimiento (1807–2007) del naturalista suizo Louis Agassiz (1807–1873), se hace una breve síntesis histórica de su vida y de su obra geológica y el conflicto de racionalidades con el darwinismo. Se analizan sus aportaciones científicas a la paleontología mediante sus estudios sobre los peces fósiles, al glacialismo como uno de los fundadores de la teoría glacial, y al debate sobre el pensamiento evolutivo como catastrofista y oponente al darwinismo. *eVOLUCIÓN* 2(2): 23-31 (2007).

Palabras Clave: Louis Agassiz, Charles Darwin, historia de las ideas evolutivas.

ABSTRACT

In the remembrance of the bicentenary of the birth (1807–2007) of Swiss naturalist Louis Agassiz (1807–1873), a brief historic summary of his both life, geological work and rationalities conflict with Darwinian is done. His scientific contributions to the palaeontology by means of his studies on the fossil fishes, to the glacialism as one of the founder of the glacial theory, and to the debate on the evolutionary thought as one catastrophist and opponent of the Darwinism, are analyzed.

Key-words: Louis Agassiz, Charles Darwin, history of evolutive ideas.

El 12 de febrero de 2009, la comunidad científica mundial conmemorará el Día Mundial de Darwin. Ese día se cumplen 200 años del nacimiento del gran naturalista Charles Robert Darwin (1809-1882). Después de varios intentos fracasados en el mundo universitario, tuvo la fortuna de realizar un viaje alrededor del mundo a bordo del *Beagle* entre 1831 y 1836. La lectura de los *Principles of Geology* del abogado y geólogo Charles Lyell (1797-1875) le cambió la mente. La interpretación de los cambios graduales, lentos y continuos de los datos geológicos le condujo a ampliar este modelo a los seres vivos. A su regreso a Londres, Darwin tardó más de 20 años en atreverse a publicar su teoría revolucionaria de la evolución de los seres vivos por la selección natural, el resultado de la interacción entre los cambios al azar de los caracteres morfológicos y la lucha por la existencia de los más dotados para sobrevivir.

En 1859 se publicó *El Origen de las Especies por la Selección Natural y la Lucha por la Existencia*. Sus ideas revolucionarias provocaron disputas agrias y abrió una brecha entre los partidarios del fijismo de las especies (por lo general, ligados a ámbitos religiosos y conservadores) y los partidarios de la evolución (por lo general, liberales, librepensadores y materialistas). El debate arreció cuando en 1871 vio la luz *La Descendencia del Hombre y la Selección Sexual*, donde explícitamente aceptaba el origen primate del linaje humano.

Tras su muerte, el 19 de abril de 1882, sus amigos quisieron que fuera enterrado en Westminster, ante la oposición del sector conservador. Finalmente pudo descansar junto a Isaac Newton, donde descansa ya en paz.

Darwin tuvo en vida y después de su muerte numerosos detractores. Uno de los más encarnizados oponentes a las ideas de Darwin fue un gran geólogo y paleontólogo suizo, *Louis Agassiz* (1807-1873), del que este año se cumplen 200 años de su nacimiento.

Darwin y Agassiz son un ejemplo de lo que en sociología del conocimiento se suele entender como “conflicto de racionalidades”. Más que diferir en ideas concretas, existen dos cosmovisiones diferentes, dos modos de entender lo que es la ciencia, lo que es la naturaleza y los seres vivos, el método científico, la posibilidad humana de interpretar el mundo, el sentido de la vida y el papel de Dios en la naturaleza.



FIG. 184. Louis Agassiz. (1807-1873.)

Louis Agassiz un geólogo y un científico nada convencional

Jean Louis Rodolphe Agassiz fue un científico nada convencional que hizo de su forma de ver el mundo su bandera ideológica. Tenía su propia racionalidad científica y defendió sus opiniones con energía y virulencia en todos los foros en los que se movió (Milner 1995). Entre sus rasgos personales más sobresalientes, tal como los describe Kaeser (2007), su más reciente biógrafo, se encuentran: escalar cumbres invioladas, penetrar en la selva virgen, el juego del sable, comer en el patio de príncipes, beber con anarquistas, tocar las almas, ganarse a los hombres y hacer volver la cabeza a las mujeres, además de ser entusiasta y jugador, y estar devorado por su pasión hacia la naturaleza; representa, pues, el prototipo del científico romántico, tanto por su personalidad como por su trágico destino: pasó de ser estrella ascendente de la investigación internacional a las mazmorras de la historia de la ciencia.

Nacido en Mottiers (cantón de Friburgo, en Suiza) el 27 de mayo de 1807, falleció en Cambridge (Massachusetts, Estados Unidos) el 14 de diciembre de 1873 (Agassiz [E.] 1885; Lurie 1960, 1970; Barber 1980; Young 1998; Cabezas Olmo 2002; Sequeiros 2002; Gould 2004; Makinistian 2004; Oldroyd 2004).

Era hijo de un pastor protestante que quiso darle una educación esmerada, aunque en sus primeros años no mostró demasiado interés por los estudios. Posteriormente se sentiría atraído por las Ciencias de la Naturaleza, especialmente por los peces de agua dulce, aunque estudió medicina, como muchos naturalistas de esa época, así como anatomía comparada, en las universidades de Zürich, Heidelberg y Munich.

Durante su estancia en Munich trabó amistad con científicos y filósofos como Döllinger, Schimper, Oken y otros sabios. Asistió durante cuatro años a las clases del filósofo Friedrich Schelling (1775–1854) del que recibió una formación en filosofía de la naturaleza idealista (la conocida como “*Naturphilosophie*”), filosofía que abandonaría décadas después, aunque nunca se libró totalmente de ella como prueban sus escritos antievolucionistas.

En 1829, con 22 años, Agassiz se graduó como doctor en filosofía y un año después, en 1830, en medicina. Posteriormente viajó a Viena, donde trabó contacto con Alexander von Humboldt (1769–1859). En diciembre de 1831, el joven Agassiz viajó a París para trabajar junto al gran maestro de la época: Georges Cuvier (1769–1832). Asombrado por los conocimientos de Agassiz, Cuvier le confió notas originales y, sobre todo, el método y las claves para interpretar los fósiles (Ellenberger 1994; Sequeiros 2002).



La tarea de Louis Agassiz en Europa (1832–1846)

En 1832, Agassiz se instaló a Neuchâtel (cerca de Ginebra, en Suiza) para desarrollar su trabajo como profesor. Su actividad es entonces desbordante y por ello, dos años más tarde, el Consejo de la ciudad le ofreció una cátedra de Historia Natural creada especialmente para él.

Sus primeros trabajos científicos se refieren al estudio de los peces fósiles que había iniciado con Cuvier, y que representa un reflejo de una de sus aficiones ya desde la infancia: había construido su primer acuario en una pequeña pileta de piedra cuando era niño. La influencia de Cuvier se advierte en la orientación de su gran monografía: *Recherches sur les Poissons Fossiles* (París, 1833–1842; véase: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k972529/f1.table>), obra de cinco volúmenes que describía e ilustraba más de 1.700 especies de peces fósiles, muchos de los cuales le fueron ofrecidos por su maestro, tomando como fundamento los principios de la anatomía comparada.

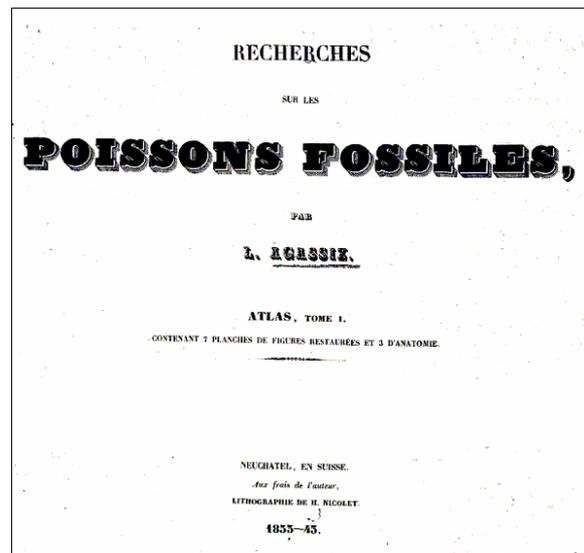
Posteriormente, Agassiz marchó a Inglaterra para examinar las colecciones de fósiles de los museos. En 1834 la Sociedad Geológica de Londres subvencionó su investigación y ganó la medalla Wollaston en 1836. No había cumplido los 30 años de edad.

Semblanza de Georges Cuvier.

Léopold Chrétien Frédéric Dagobert Cuvier (Montbéliard 1769–París 1832). Se considera el fundador de la Paleontología como ciencia al proponer los principios básicos metodológicos sobre los que se estudia el registro fósil: la anatomía comparada. Fue zoólogo prestigioso y hombre de estado francés, aunque por nacimiento era súbdito alemán y de religión protestante. Ambas condiciones, que habrían podido marginarle en el seno de la sociedad francesa, contribuyeron paradójicamente a su éxito científico y personal. Estudió filosofía y economía en la Karlschule de Stuttgart. Desde 1795 fue profesor de anatomía comparada en el Collège de France y en 1798 en el Museo de Historia Natural de París. En 1796 publicó uno de sus trabajos más conocidos: “Notice sur le squelette d’un grand Quadrupède inconnu jusque’à présent, trouvé au Paraguay, et déposé au Gabinet d’Histoire Naturelle de Madrid”, publicado en *Magazin Encyclopédique*. Restauró este esqueleto y lo incluyó entre los *Megatheria*. Durante esta época publicó sus famosas *Leçons d’Anatomie Comparée* (publicadas entre 1798 y 1805). Más tarde, vería la luz su gran obra paleontológica, *Recherches sur les Ossements fossiles* (publicada en 1812, junto con el *Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe, et sur les changements qu’elles ont produits dans le Règne animal*). Durante la Restauración llegó a ser profesor de alguna facultad de Teología protestante. Y durante el Imperio, también fue muy respetado por sus intereses protestantes. Relacionó la anatomía comparada con la zoología y sentó nuevas bases en taxonomía zoológica. Estudiando los sedimentos y los fósiles de la cuenca de París asentó e intentó justificar la existencia de catástrofes universales sucesivas que provocarían la extinción de las faunas y floras y la reaparición de otras nuevas. Desde 1802 fue secretario de matemáticas y física en la Academia de Ciencias de París.

La tarea científica de Louis Agassiz en Estados Unidos (1846–1873)

En 1846, con apenas treinta y nueve años, Agassiz era ya un reputado naturalista, por lo que recibe una invitación desde los Estados Unidos para impartir unas conferencias. Desde entonces se instala en este país, y nueve años más tarde, en 1855, preparó su obra magna: *Contributions to the Natural History of the United States*. De los diez volúmenes previstos sólo vieron la luz cuatro de ellos. La acogida que tuvieron las lecciones que impartió en el Instituto Lowel de Boston, le decidieron a fijar su residencia en los Estados Unidos. Desde 1848 estuvo encargado de la cátedra de zoología y de geología de la escuela científica agregada a la Universidad de Harvard, donde siguió impartiendo y difundiendo las tesis catastrofistas y antievolucionistas de Cuvier (Sequeiros, 2002, en prensa).



En 1859, año de la publicación de *El Origen de las Especies* de Charles Darwin (1809–1882), obtuvo el primer premio de ciencias físicas de la Academia de Ciencias de París y se le ofreció la cátedra que había ocupado el paleontólogo catastrofista Alcide d’Orbigny (1802–1857) en el Museo de Ciencias de la capital francesa (Coleman 1983; Richardson 1999; Dupré 2006). Pero los rehusó y prefirió continuar en Estados Unidos.

Las publicaciones científicas, tanto geológicas, como paleontológicas y zoológicas de Agassiz están llenas de datos nuevos e interesantes, recogidos durante largos años de estudios. En geología, aportó pruebas irrefutables sobre el transporte de grandes rocas, los llamados cantos erráticos, debido al movimiento de antiguos glaciares mucho más extensos que los que se conocen ahora. La confirmación de la teoría glacial, basada en la explicación de un enfriamiento de la Tierra anterior al período actual, no pudo hacerse sino después de muchos años de estudio y de exploración de los Alpes (Agassiz 1886; Hallam 1983).

La aureola científica de que estaba rodeado hizo que uno de los comerciantes más ricos de Nueva York, John Anderson, le regalara, por amor a la ciencia, la isla de Penikese (Estado de Nueva York), con sus barcos y 50.000 dólares, para fundar una escuela de historia natural, que se hizo realidad en 1873, el año de su muerte.

Louis Agassiz está considerado como uno de los “padres fundadores” de la moderna tradición científica norteamericana, pero también su nombre, junto con el de su colega en Harvard, el médico y antropólogo Samuel G. Morton (1799–1851), está ligado a los orígenes del “racismo científico” en los Estados Unidos, y para quienes los negros eran “subhumanos e indolentes”, entre otras “cosas” (Menard 2001, 2002).



FIG.3: Glaciar de Zermatt, parte media (Agassiz 1840, lámina 4).

Esta vista del glaciar está tomada desde el macizo de Auf-Platten, sobre la orilla izquierda del glaciar, de manera que tenemos en frente la meseta del Riffel con el Riffelhorn. La pendiente del glaciar es muy fuerte aquí; también las *crevasses* son muy numerosas y muy grandes; las morrenas se confunden cada vez más, y ya no forman sino algunas largas hileras. El torrente que se percibe a la derecha proviene del glaciar de Saint-Théodule, que nace detrás del macizo de Auf-Platten; la superficie del macizo de Auf-Platten está pulimentada hasta una gran altura, lo que prueba que el glaciar ocupaba antes este lugar (Agassiz 1840, p. 334).

La obra científica de Louis Agassiz

Tras su fallecimiento en 1873, con solo 66 años de edad, se recogieron cuidadosamente todos sus trabajos, de los que citamos los más importantes: *Pisces, etc., quos Collegit et Pingendos Curavit Spix, Descripsit Agassiz* (Munich, 1829–1831, con

91 láminas litografiadas); *Recherches sur les Poissons Fósiles* (Neuchâtel, 1833–1842, con 311 láminas, en colaboración con K. Vogt y Desor); *Monographie des Poissons Fossiles du Vieux Grès Rouge, ou Système Dévonien des Îles Britanniques* (Soloth, 1844–1845, con 41 láminas); *Iconographie des Coquilles Tertiaires* (Neuchâtel, 1845, con 15 láminas); *Mémoires sur les Moules des Mollusques Vivants et Fossiles* (Neuchâtel, 1840, con 12 láminas).

Los trabajos sobre los glaciares se encuentran en: *Études sur les Glaciers* (Neuchâtel, 1840, con 36 láminas; Véase

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k105057x/fl1.able>) y *Système Glacier* (con Guyot y Desor, París, 1847, con un atlas).

De su época americana destacamos: *Introduction to the Study of Natural History* (Nueva York, 1847), *Lectures on Comparative Embryology* (Boston, 1849), *Principles of Zoology* (con Gould, Boston, 1848; en alemán, Stuttgart, 1850), *Contributions to the Natural History of North America* (Boston, 1857, tomos I y II), *Essay on Classification* (1859), *Methods of Study of Natural History* (Boston, 1863), *The Structure of Animal Life* (Nueva York, 1866), *Glacial Phenomena in Maine* (Boston, 1867), *A Journey in Brazil* (Nueva York, 1868), *Scientific Results of a Journey in Brazil* (Nueva York, 1870).

Agassiz y las ideas evolucionistas

Como apunta Milner (1995), Agassiz fue un anatomista comparativo de la vieja escuela que había seguido fiel y apasionadamente las pisadas de Georges Cuvier. En su mente poderosa persistía la racionalidad catastrofista y fijista que no le abandonó nunca. Pero sus extensos y meticulosos volúmenes sobre los peces fósiles son trabajos de referencia para la descripción de los tipos y fijaron en la práctica esta materia de estudio.

En Harvard fundó el Museo de Zoología Comparada, inaugurado en 1860. Se ha conservado hasta hoy como museo de historia natural de estilo victoriano como él lo diseñó: como un libro de texto de forma tridimensional del plan de la creación, reflejado en la taxonomía, y cuyo objetivo debería ser, según Agassiz, “exhibir el conjunto del reino animal como una manifestación del Supremo Intelecto”.

Como profesor y educador –uno de los aspectos poco divulgados de su labor intelectual (Cooper 1917; Teller 1947)–, esperaba haber “enseñado a las personas a observar”: aconsejaba a los estudiantes que leyeran la naturaleza y no los libros:

“La naturaleza no son los libros... Si estudiáis la naturaleza en los libros, no la encontraréis cuando salgáis al aire libre” (Agassiz 1863).

Una de las pruebas normales a las que sometía a los estudiantes era la de dejarlos a solas ante un pez o un ave preparados, pidiéndoles que los describieran con el mayor detalle. No se permitían libros ni instrumentos. Pero no cayó en la cuenta de que la “mirada” del científico es siempre “interesada” y que hay concepciones del mundo previamente instaladas en el inconsciente que tamizan y distorsionan la pretensión de objetividad.

Por ello, pese a sus profundos conocimientos anatómicos y paleontológicos, y a sus estudios sobre fósiles y cambios climáticos, Agassiz se mantuvo siempre como un antievolucionista beligerante, para el que la ciencia contribuía a la celebración de la Creación divina. Sus obras más importantes en este aspecto son *Essay on Classification* (1859), y *Methods of Study in Natural History* (1863), en los que se muestra como un romántico idealista que veía el poder del Creador ejemplificado en la flora y en la fauna (Lurie 1970). Aunque nunca se identificó convincentemente con ningún tipo de religión, como persona creyente en el diseño divino de la creación pensaba que existían unas formas “ideales”, arquetípicas y no reconocía discontinuidad alguna entre los seres vivos y los restos fósiles. Pertenecían al mismo Plan Divino que él veía por doquier en la naturaleza.

Siguiendo las ideas de su maestro Cuvier, defendía que, dada la existencia de una diversidad de tipos faunísticos en los estratos inferiores más primitivos en el tiempo geológico, las especies posteriores debían de haber aparecido mediante actos creadores distintos y sucesivos (Carozzi 1974; Albritton 1980). En esos años propagaba la idea de que existe un paralelismo constante ante la sucesión de los tipos en las diferentes edades de la Tierra y la de las formas por las cuales pasa cada individuo en el curso de su desarrollo embriológico (Milner, 1995).

En sus *Methods of Study in Natural History* (Agassiz 1863), publicado cuando ya se conocían las ideas de Darwin, Agassiz comparó la idea de evolución continua –conocida entonces como *hipótesis del desarrollo*– con la alquimia medieval:

“La piedra filosofal no se ha de encontrar ya en el mundo inorgánico –insistía–, y debemos considerar tan estéril la transformación de tipos de animales inferiores en superiores mediante algunas de nuestras teorías, como el intento de los antiguos alquimistas de transmutar metales vulgares en oro”.

Apoyándose en su reputación como gran naturalista de Norteamérica, ridiculizó la teoría darwinista en el momento de su aparición (Agassiz 1860), aunque, en realidad, como ha resaltado Kaeser (2007), la publicación de *El Origen de las Especies* llegaría a arruinar su brillante carrera. Se negó a reconsiderar su postura intransigente hasta el fin de su vida porque el darwinismo no invocaba el plan divino –las especies eran, según Agassiz,

pensamientos de Dios–. Como en la Universidad de Harvard impartía también sus enseñanzas el eminente botánico Asa Gray (1810–1888), el poderoso Agassiz no perdía ninguna oportunidad para desacreditar a su colega, con el que mantuvo una interesante polémica.

Asa Gray (1810–1888). Botánico y evolucionista norteamericano, profesor en Harvard. En palabras de Charles Darwin, “Asa Gray era un cruce complejo de abogado, poeta, naturalista y teólogo”. Aunque fue el principal defensor del evolucionismo en EEUU, sentía gran proclividad hacia la teología y dedicó muchos años a defender al darwinismo de la acusación de ateísmo. Defendía que el concepto de selección natural no eliminaba del todo el “argumento del diseño divino”. Dios llevaba a cabo su plan a través de la evolución. Su postura la expuso claramente en una serie de ensayos que publicó bajo el título de *Darwiniana* (1876). A Darwin le gustaba tanto que al año siguiente dedicó a Gray su libro sobre las formas de las flores.

Agassiz nunca abandonó las ideas catastrofistas heredadas de Cuvier, sin duda porque forman parte de los fundamentos en oposición al darwinismo. Stephen J. Gould (1941–2002), uno de los grandes paleontólogos y biólogos evolucionistas del s. XX, y también profesor en Harvard, encontró una edición de los *Principles of Geology* (1830–1833) de Charles Lyell (1797–1875) anotada en sus márgenes por su principal oponente, que no era otro que el geólogo y paleontólogo suizo (Gould 1977, 1979). Las anotaciones son extraordinariamente interesantes. Agassiz intenta desmontar los cuatro componentes básicos del uniformitarismo gradualista: 1) invariabilidad e inherencia de las leyes físicas en la naturaleza, 2) uniformidad de los procesos geológicos, 3) gradualismo de los procesos, y 4) uniformidad de configuración de la Tierra.

En 1865 emprendió un viaje de exploración por Brasil, la expedición Thayer, dirigida por Agassiz, que abrió una nueva era para los trabajos geológicos en este país, y proporcionó una buena colección de 80.000 muestras de animales, plantas, fósiles y rocas.

Nunca admitió Agassiz en sus obras ni la unidad de composición orgánica, ni la variabilidad de las especies, ni la unidad de la creación. Llevó a todas las divisiones del método llamado “natural” una idea análoga a la del arquetipo de Richard Owen (1804–1892), y fue declarado y combativo adversario de las teorías de Charles Darwin. Sorprendentemente, un año antes de su fallecimiento, en 1872, Agassiz realizó un viaje a las Islas Galápagos que tanto significado han tenido para el evolucionismo. Gould (1982) ha calificado este viaje como una especie de *desafío* a Darwin, puesto que recorrió la ruta principal del naturalista británico en el *Beagle*, y en el que ni Agassiz, ni su esposa

Elizabeth que lo acompañaba, percibieron ningún ejemplo de lucha por la existencia, sino un conjunto de criaturas maravillosas que disfrutaban de la vida que les había proporcionado el Creador, y consecuentemente no tuvo repercusión alguna en cuanto a modificar su valoración del darwinismo (Larson 2001).

Richard Owen (1804–1892). Anatomista y paleontólogo británico. Ha sido recordado fundamentalmente por su contribución al estudio de los animales fósiles, y en especial de los recogidos por Darwin en su viaje alrededor del mundo. Fue pionero en los estudios de la anatomía comparada en Gran Bretaña, así como de su aplicación a la paleozoología. Intentó dar una explicación de las homologías (semejanza de órganos en los animales) acudiendo a su teoría de los “arquetipos”. Tal vez su obra más importante sea *On the Archetype and Homologies of the Vertebrate Skeleton* (Londres, 1848).

Agassiz, sin embargo, se sintió estupefacto cuando sus mejores estudiantes, incluido su propio hijo Alex, biólogo marino, abandonaron su sistema de ideas y adoptaron la teoría darwinista. Al ver que su maestro Cuvier parecía haberse impuesto al transformismo primitivo de Lamarck, Agassiz tuvo la convicción de que podría “sobrevivir a esa moda” evolucionista. En vez de ello, su influencia sufrió un desgaste progresivo hasta hacerle caer de su pedestal de guía del pensamiento biológico, y relegarle prácticamente a las mazmorras de la ciencia.

Resulta paradójico que muchas de sus ideas sobre ontogenia, morfología, filogenia y sistemática, y su aguda comprensión de que la paleontología, la embriología, la ecología, y la biogeografía, además de la anatomía, mostraban las verdaderas relaciones entre los organismos y contribuían por lo tanto a una mejor clasificación, fueran utilizadas por otros autores, entre ellos el propio Darwin así como por Ernst Haeckel (1834–1919), como pruebas indiscutibles de la realidad evolutiva. Y es, además, irónico que sus colecciones de animales, tanto fósiles como actuales, que forman los fondos fundamentales del Museo de Zoología Comparada que Agassiz fundó en Harvard, pusieran las bases para la aceptación de la teoría darwiniana, y han hecho de este museo una de las instituciones más importantes en todo el mundo sobre estudios evolutivos, tanto en lo que concierne a la selección natural como a la especiación.

Agassiz y la teoría glacial

Se suele hablar de Louis Agassiz como el “padre” de la *teoría glacial*. En realidad fue su gran divulgador, aunque hay que reconocer que gracias su prestigio basado en su capacidad de trabajo, unido a unas extraordinarias dotes de observación y a una imaginación prodigiosa, el *diluvialismo* de la Física Sagrada que había *inundado* las interpretaciones geológicas, sufrió en importante retroceso, sin llegar a su *defunción* total, dando paso al *glacialismo*. Esto no supuso, sin embargo, el abandono de las ideas catastro-



FIG. 4.- Fragmentos de rocas pulimentadas (Agassiz 1840, lámina 18). Aunque los fragmentos que están dibujados aquí provienen de localidades muy diversas, sin embargo su pulimento es de la misma naturaleza y presenta las mismas estrías que sirven para distinguir los efectos del hielo de la acción que produce sobre los peñascos la erosión... (Agassiz 1840, p. 340).

fistas por parte de Agassiz (Geikie 1895; Meunier 1911; North 1943; Fenton y Fenton 1945; Moore 1957; Carozzi 1967, 1984; Rudwick 1970; Imbrie e Imbrie 1979; Albritton 1980, 1989; Laudan 1987; Dexter 1989; Oldroyd 1996; Maccougall 2004).

El debate sobre la interpretación de determinados depósitos sedimentarios incongruentes con las explicaciones geológicas más habituales, estaba abierto desde hacía tiempo, incluyendo aquí también la explicación para los grandes bloques erráticos que se encontraban por ejemplo en la gran llanura central de Suiza, en la región francesa del Jura y en otras zonas de Escandinavia y también en Norteamérica. Científicos catastrofistas como William Buckland (1784–1856) competían en esta interpretación con otros naturalistas de la corriente actualista-uniformitarista, como Charles Lyell (1797–1875): mientras que para los primeros, el diluvio bíblico era el responsable de tales formaciones sedimentarias, para los últimos se trataba de estructuras fluviales y de escorrentía, y en algunos casos concretos, al igual que los bloques erráticos, habían sido transportados sobre grandes masas de hielo flotante (*deriva glacial*). Sin embargo, en la Europa continental las ideas iban por otros derroteros. Como relata el ingeniero de minas germano-suizo Jean de Charpentier (1786–1855), los lugareños de los Alpes, en especial montañeros, leñadores y cazadores, tenían muy claro que los bloques erráticos habían sido transportados por los glaciares que en el pasado habían ocupado una mayor extensión y distribución, y eran los responsables de las estrías y del pulimento que se observaban por doquier en el paisaje alpino (Charpentier 1835; Imbrie e Imbrie 1979). Precisamente es Charpentier quien, junto con el también ingeniero Ignace Venetz (1788–1859), convencen de esta realidad a Louis Agassiz siguiendo las ideas del suizo Jean-Pierre Perraudin (1767–1858), que en su condición de montañero y cazador había explorado los glaciares alpinos desde su infancia (Forel 1899).

En 1837, Agassiz pronuncia ante la *Société Helvétique des Sciences Naturelles* de Neuchâtel su discurso inaugural como presidente, en el que expone las ideas de la *Era Glacial* (Agassiz 1837, 1838), y dos años más tarde publica sus *estudios* sobre los glaciares (Agassiz 1840). Poco después Charpentier hace lo propio con su *ensayo* (Charpentier 1841). En esos años, Agassiz se convierte en el gran divulgador de la Era Glacial, en su “*apóstol*” según la terminología de Hallam (1983), y durante su proceso de *evangelización* y en su condición de creyente en el diseño Divino, hablaba de los glaciares como si se tratara del “*arado de Dios*”.

La controversia continuó en los años siguientes, y la aceptación prácticamente definitiva de la teoría glacial se produce con la *conversión*, entre otros, de Buckland y Lyell principalmente, que como hemos comentado procedían de filosofías geológicas antagónicas, a lo que contribuyeron también las investigaciones llevadas a cabo en Norteamérica.

El problema que quedaba por resolver, las causas del glacialismo, se mantuvo como parte de la controversia hasta las primeras décadas del s. XX, cuando el ingeniero y geofísico serbio Milutin Malankovic (1879–1958) dio una respuesta astro-nómica al origen de las glaciaciones que ha recibido importantes apoyos experimentales y observacionales.

CONCLUSIONES

Louis Agassiz fue siempre fiel a las ideas que creía más certeras y las defendió con ardor. Su gran contribución a la ciencia fue la interpretación de los valles glaciares a los que dedicó gran parte de su vida. Pero la mente estrecha y, posiblemente su altanería y los prejuicios religiosos y políticos le impidió aceptar las ideas de Darwin que, entre luchas y tensiones, se iban imponiendo entre la comunidad científica. Murió muy joven. Cargado de trabajo. Pero firme en sus convicciones no pudo ser testigo de la aureola que rodeó la muerte de su enemigo científico Charles Darwin que le sobrevivió algunos años.

REFERENCIAS

- Agassiz, E.C.C. 1885. *Louis Agassiz, his Life and Correspondence*. 2 vols. Houghton, Mifflin & Co., Boston-Nueva York.
[Esta biografía publicada por su segunda esposa, Elizabeth Cabot Carey Agassiz (1822–1907), es una de las fuentes más importantes sobre la vida y obra de Louis Agassiz. Disponible en inglés: <http://www.gutenberg.org/dirs/etext04/agass10.txt>, y un facsímil de la traducción francesa (Fischbacher, París, 1887) en: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2038271>].
- Agassiz, L. 1837. Discours prononcé à l'ouverture des séances de la Société Helvétique des Sciences Naturelles à Neuchâtel le 24 juillet 1837. *Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles* 22: 369–394. [Existe trad. inglesa en Agassiz (1838) y Carozzi (1967)].
- Agassiz, L. 1838. Upon glaciers, moraines and erratic blocks. *Edinburgh New Philosophical Journal* 24: 364–383. [Este artículo es la versión inglesa del discurso de 1837].
- Agassiz, L. 1840. *Études sur les Glaciers*. Ed. del autor, Neuchâtel, 346 pp. + Atlas (18 láminas). [Reed. en: Dawsons of Pall Mall, Londres (1966). Existen algunos extractos en versión inglesa en: Mather y Mason (1939, pp. 329–335), y trad. inglesa en Carozzi (1967)].
- Agassiz, L. 1847. *Système Glacier ou Recherches sur les Glaciers*. V. Masson, París, 2 vols, 598 pp. + láminas.
- Agassiz, L. 1859. *Essay on Classification*. Belknap Press, Cambridge (Ma.), (ed. 1962), 268 pp. [Reed. en: Dover, Mineola (N.Y.) (2004); reproducido en: Lynch (2002)].

- Agassiz, L. 1860. On The Origin of Species. *American Journal of Science and Arts* 30: 142–154.
- Agassiz, L. 1863. *Methods of Study in Natural History*. Arno, Nueva York (ed. 1970), 319 pp. [Reproducido en: Lynch (2002)].
- Agassiz, L. 1886. *Geological Sketches*. 2 vol., Houghton–Mifflin, Boston.
- Albritton, C.C., Jr. 1980. *The Abyss of Time*. Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 251 pp. [cap. 12, pp. 153–161].
- Albritton, C.C., Jr. 1989. *Catastrophic Episodes in Earth History*. Chapman & Hall, Nueva York, 221 pp. [cap. 5, pp. 53–56].
- Barber, L. 1980. *The Heyday of Natural History, 1820–1870*. Doubleday, Garden City (N.Y.), 320 pp.
- Cabezas Olmo, E. 2002. *La Tierra, un Debate Interminable. Una Historia de las Ideas sobre el Origen de la Tierra y el Principio de Uniformidad*. Prensas Univ. de Zaragoza.
- Carozzi, A.V. (ed.) (1967). Introduction. En: *Studies on glaciers, preceded by the Discourse of Neuchâtel, by Louis Agassiz*. Hafner, Nueva York-Londres, pp. I–LXXII.
- Carozzi, A.V. 1974. Agassiz's influence on geological thinking in the Americas. *Archives des Sciences* 27: 5–38.
- Carozzi, A.V. 1984. Glaciology and the Ice Age. *J. Geol. Education* 32: 158–170.
- Charpentier, J. de 1835. Notice sur la cause probable de transport des blocs erratiques de la Suisse. *Annales des Mines* 8: 219–236.
- Charpentier, J. de 1841. *Essai sur les Glaciers et sur le Terrain Erratique du Bassin du Rhone*. M. Ducloux, Lausanne.
- Coleman, W. 1983. *La Biología en el siglo XIX. Problemas de Forma, Función y Transformación*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Cooper, L. 1917. *Louis Agassiz as a Teacher; Illustrative Extracts on his Method of Instruction*. Comstock Publ., Ithaca, New York (reed. 1945).
- Dexter, R.W. 1989. Historical aspects of Agassiz's lectures on glacial geology (1860–61). *Earth Sciences History* 8: 75–79.
- Dupré, J. 2006. *El Legado de Darwin. Qué Significa hoy la Evolución*. Katz Eds., Buenos Aires.
- Ellenberger, F. 1994. *Histoire de la Géologie*. Technique et Documentation, tomo 2, París.
- Fenton, C.L. y Fenton, M.A. 1945. *Giants of Geology. The Story of the Great Geologists*. Doubleday Co., Garden City, New York (ed. 1952), 333 pp. [cap. X].
- Forel F.A. 1899. Jean–Pierre Perraudin de Lourtier. *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 35(132), 104–113.
- Geikie, A. 1895. *The Founders of Geology*. Dover Publ., Nueva York (facsimil 1962 de la 2ª ed. 1905), 486 pp. [cap. XIV, pp. 442–449].
- Goethe, J.W. von 1821. *Años de Andanzas de Guillermo Meister*. En: *Obras completas*. Ed. Aguilar, Madrid (trad. castellana 1987), tomo II, pp. 518–753.
- Gould, S.J. 1977. Uniformity and catastrophe. En: *Ever since Darwin. Reflections in Natural History*. W.W. Norton, Nueva York, cap. 18, pp. 147–152.
- Gould, S.J. 1979. Agassiz's marginalia in Lyell's *Principle*, or the perils of uniformity and the ambiguity of heroes. En: W. Coleman y C. Limoges (eds.). *Studies in the History of Biology*. The John Hopkins University Press, Baltimore, pp. 119–138.
- Gould, S.J. 1981. Agassiz in the Galapagos. *Natural History*, 90(12), 7–14. [Reproducido en: Gould, S.J. (1983). *Dientes de gallina, dedos de caballo*. Ed. Crítica, Barcelona (trad. castellana 1995), cap. 8, pp. 90–100].
- Gould, S. J. 2004. *La Estructura de la Teoría de la Evolución*. Tusquets, Barcelona.
- Hallam, A. 1983. *Grandes Controversias Geológicas*. Ed. Labor, Barcelona (trad. castellana 1985), 180 pp. [cap. 3, pp. 63–80].
- Imbrie, J. e Imbrie, K.P. 1979. *Ices ages. Solving the mystery*. MacMillan Press, Londres, 224 pp. [caps. 1–2].
- Kaeser, M.A. 2007. *Un Savant Séducteur. Louis Agassiz (1807–1873), Prophète de la Science*. Éd. de l'Aire, Vavey.
- Larson, E.J. 2001. *Evolution's Workshop: God and Science on the Galapagos Islands*. Basic Books, Nueva York. [2ª parte].
- Laudan, R. 1987. *From Mineralogy to Geology. The Foundations of a Science, 1650–1830*. Univ. Chicago Press, Chicago. (ed. 1993). [pp. 210–216].
- Lurie, E. 1960. *Louis Agassiz, A Life in Science*. Chicago Univ. Press, Chicago. [reed. en: Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore (1988)].
- Lurie, E. 1970. Agassiz, Jean Louis Rodolphe. pp. 72–74, En: C.C. Gillispie (ed.). *Dictionary of Scientific Biography* vol. 1. C. Scribner & Sons, Nueva York.
- Lynch, J.M. 2002. *Agassiz on Evolution*. Thoemmes, Bristol, 2 vols.. [Reproduce Agassiz (1859, 1863)].
- Macdougall, D. 2004. *Frozen Earth: The Once and Future Story of Ice Ages*. Univ. California Press, Berkeley, California. [caps. 3–5].
- Makinistian. A.A. 2004. *Desarrollo Histórico de las Ideas y Teorías Evolucionistas*. Prensas Universitarias, Zaragoza.
- Mather, K.F. y Mason, S.L. 1939. *A Source Book in Geology, 1400–1900*. Hafner Publ., Nueva York–Londres, (ed. facsimil 1964) [pp. 329–325].
- Menard, L. 2001–2002. Morton, Agassiz, and the origins of scientific racism in the United States. *J. Blacks in Higher Education* 34: 110–113.
- Meunier, S. 1911. *L'évolution des Théories Géologiques*. F. Alcan Éd., París. [cap. XI, pp. 261–282].

- Milner, R. 1995 *Diccionario de la Evolución. La Humanidad a la Búsqueda de sus Orígenes*. Bibliograf SA, Barcelona. [pp. 33–35].
- Moore, R. 1957. *The Earth we Live on. The Story of Geological Discovery*. J. Cape, Londres. [cap. 7, pp. 117–135].
- North, F.J. 1943. Centenary of the glacial theory. *Proceedings of the Geologists' Association* 54: 1–28.
- Oldroyd, D. 1996. *Thinking about the Earth: A History of Ideas in Geology*. Athlone, Londres. [cap. 7, pp. 145–166].
- Oldroyd, D. 2004. Agassiz. pp. 174–179. En: R.C. Selley, L.R.M. Cocks y I.R. Plimer (eds.). *Encyclopedia of Geology* Vol. 3. Elsevier Ltd, Oxford.
- Richardson, R.J. 1999. *El Significado de la Evolución. La Construcción Morfológica y la Reconstrucción Ideológica de la Teoría de Darwin*. Alianza Ed., Madrid.
- Rudwick, M.J.S. 1970. The glacial theory. *History of Science* 8: 137–157.
- Sequeiros, L. 2002. La extinción de las especies biológicas. construcción de un paradigma científico. Discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias de Zaragoza. Nov. 2002. *Monografías de la Academia de Ciencias de Zaragoza*. Noviembre/2002, N° 21, 85 pp. [También en: www.unizar.es/acz/05Publicaciones/MonografiasPublicadas/Mongr21.pdf].
- Sequeiros, L. En prensa. Cuando hablamos de evolución, ¿de qué evolución estamos hablando? *Proyección*, Granada.
- Teller, J.D. 1947. *Louis Agassiz, scientist and teacher*. Ohio State University Press, Columbus, Ohio.
- Young, D. 1998. *El Descubrimiento de la Evolución*. Ed. del Serbal, Barcelona.

Información de los Autores

Leandro Sequeiros es Catedrático de Paleontología de la Universidad de Sevilla desde 1983 hasta 1986. Desde 1986, en situación de excedencia voluntaria. Desde 1986 a 1990, Director Adjunto de la EU de Magisterio de Úbeda. Desde Octubre de 1991 hasta 1999 es profesor Asociado en el ICE de la Universidad de Córdoba en la plaza de Metodología de la Investigación Científica. Desde 1997 profesor de Filosofía de la Naturaleza y de la Ciencia, de Antropología Filosófica y de Teoría del Conocimiento en la Facultad de Teología de Granada. Director del Departamento de Filosofía de la Facultad de Teología desde 2001. Coordinador en España de INHIGEO (Comisión Internacional de Historia de la Geología) Editor desde 1994 del Boletín de la Comisión de Historia de la Geología de la Sociedad Geológica de España. Desde 2002, Académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Zaragoza.

Cándido Manuel García Cruz es licenciado en Biología (especialidad Paleontología) por la Universidad de La Laguna (Tenerife) y ejerce como profesor de educación secundaria. Es miembro de INHIGEO (Comisión Internacional de Historia de la Geología). Ha realizado estudios sobre vertebrados fósiles extintos de Canarias, y ha publicado numerosos artículos sobre historia de la geología y sus implicaciones didácticas. Como traductor ha dado a conocer “*La Teoría de la Deriva Continental*”, simposio celebrado en Nueva York en 1924 donde se discutieron ampliamente las ideas de Wegener; la “*Teoría de la Tierra*” (1785, 1788) de James Hutton; y la correspondencia entre Isaac Newton y Thomas Burnet (1681). Centra sus intereses históricos en el origen de Canarias, la deriva continental y el actualismo-uniformitarismo, preferentemente.

El centenario de *El Origen de las Especies* en España (1959)

Francisco Blázquez

Centro de Profesores Don Benito Villanueva, Avda. Vegas Altas 111 B, 06400 Don Benito (Badajoz). E-mail: fblazquez@hotmail.com

RESUMEN

A pesar de la marginación del evolucionismo darwinista durante las dos primeras décadas de la dictadura, especialmente en el ámbito de la enseñanza media y primaria, a finales de los cincuenta, un importante grupo de biólogos vinculados a las universidades de Madrid y Barcelona participaron en varios actos, obras y artículos para conmemorar el centenario de *El Origen de las Especies* (Darwin 1859). El resultado de las conferencias, los coloquios y las publicaciones fue una adhesión generalizada a las tesis de la teoría sintética, incluso entre aquellos investigadores partidarios de una evolución finalista. Además, durante el centenario, las teorías de Darwin se hicieron compatibles con el catolicismo facilitando que en los sesenta se iniciara la normalización en la difusión del pensamiento darwinista en España. *eVOLUCIÓN* 2(2): 33-41 (2007).

Palabras Clave: Darwinismo, Centenario de Darwin, Evolucionismo en España.

Introducción

Los aniversarios ponen de manifiesto la valoración y pervivencia que determinados grupos sociales, instituciones o sociedades en su conjunto conceden a ideas, personajes o acontecimientos del pasado. En 1958 se conmemoró en todo el mundo el centenario de la presentación ante la Linnean Society de los escritos de Wallace y Darwin, y en 1959 la publicación de *El Origen de las Especies* (Darwin 1859) con simposios, conferencias y obras que mostraron un gran acuerdo respecto del nuevo darwinismo establecido por la teoría sintética de la evolución (Jahn *et al.* 1989: 519). También ese año se cumplía el 150 aniversario del nacimiento de Charles Darwin (1809-1882).

Por razones políticas y religiosas en España, tras la Guerra Civil, se produjo una marginación y censura hacia el pensamiento evolucionista, especialmente en la enseñanza preuniversitaria. A pesar de ello, un evolucionismo finalista fue defendido tanto desde posiciones eclesásticas como científicas, en este último caso destacaron los paleontólogos Miquel Crusafont y Bermudo Meléndez (Blázquez 2001, 2004). La publicación de las obras de Teilhard de Chardin (1881-1955) tras su muerte supuso un impulso a esta perspectiva, sin embargo, hacia finales de los cincuenta la conmemoración del centenario de *El origen de las especies* hizo que el pensamiento y la obra de Darwin fueran reivindicados por un amplio grupo de investigadores españoles de las universidades de Madrid y Barcelona.

El Darwinismo de Salustio Alvarado

Uno de los que más intensamente se implicó en la reivindicación del pensamiento darwinista en los años del centenario (1958-1959) fue Salustio

Alvarado, catedrático de Fisiología y Biología de la Universidad de Madrid. La cuarta edición reformada de su famosa *Biología General* de 1958, aunque mostraba algunas dudas, exponía por primera vez el triunfo de la explicación neodarwinista. Esta perspectiva evolucionista y darwinista del manual universitario de Alvarado no tenía equivalente en sus propios manuales de ciencias naturales para enseñanza media de aquella época, en los que no aparecía siquiera la palabra evolución.

Con el apoyo que le prestan cincuenta años de fructíferas investigaciones genéticas y paleontológicas, el darwinismo ha abocado a una teoría general de la evolución orgánica que se conoce con el nombre de *teoría sintética* (Alvarado, 1958b: 474).

Un año más tarde, la sexta edición de *Biología General* (Alvarado 1959) ya contaba con varios capítulos en los que se exponían las pruebas que apoyaban la «realidad de la filogenia» y los mecanismos evolutivos, mostrando la importancia de la selección natural como principio explicativo de la diversidad del mundo vivo y haciéndola compatible con el pensamiento católico:

La gran importancia teórica de este principio [la selección de las variaciones favorables] consiste en que explica de una manera natural el mundo maravilloso de las adaptaciones. Mediante la selección natural se comprende cómo han podido originarse órganos tan perfectamente adaptados a un determinado fin, como las patas del caballo o la alas de las aves, sin necesidad de que el Creador tenga que intervenir con su omnipotencia en cada fase del proceso (Alvarado 1959, t. II, 340).

Respecto del ser humano, Alvarado era muy cauto y finalista al afirmar que el mecanismo evolutivo que se propusiera debía explicar el «carácter progresivo» de la evolución, la cual

Miquel Crusafont (1910-1983) inició sus investigaciones ligado al Museo de Historia de Sabadell, fue fundador y director del Instituto Paleontológico de esa ciudad y catedrático de Paleontología en las universidades de Oviedo y Barcelona.

Bermudo Meléndez (1912-1999) fue catedrático de Paleontología en las universidades de Granada (1944) y Madrid (1949), sus tratados de geología y paleontología han sido textos básicos en las universidades españolas durante varias décadas.

Salustio Alvarado (1897-1981) se había formado en Madrid con histólogos de la escuela de Ramón y Cajal, fue catedrático de Organografía y Fisiología Animal en la entonces Universidad Central (1932) y presidente de la Real Sociedad Española de Historia Natural (1951). Sus textos de ciencias naturales y biología para enseñanza media y universitaria han sido una referencia obligada para varias generaciones de españoles.

Rafael Alvarado (1924-2001), hijo de Salustio Alvarado, fue catedrático de Invertebrados en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid, presidente de la RSEHN (1977-1978) y miembro de la Real Academia Española (1981).

Antonio Prevosti Pelegrín (n. 1919) fue el primer profesor de genética de la Universidad de Barcelona (1956), catedrático de la misma (1963) e investigador pionero en genética de poblaciones en España. Su perspectiva siempre ha estado en el marco de la teoría sintética (comunicación personal, enero 2001).

Emiliano Aguirre (n. 1925) tuvo como mentores a Bermudo Meléndez y Miguel Crusafont, ha sido investigador del CSIC (1974), catedrático de Paleontología en la Universidad de Zaragoza (1977), de la Complutense de Madrid (1982), director del Museo Nacional de Ciencias Naturales (1985-1990) y primer director de las excavaciones de Atapuerca. Véase Soria y Morales (2004).

Eugenio Ortiz (1919-1990) fue profesor de Zoología de Artrópodos y de Genética en la Universidad de Madrid, estuvo vinculado a numerosos centros del CSIC destacando sus trabajos de citogenética.

Joaquín Templado Castaño (1926-1992) fue investigador del Centro de Investigaciones Zoológicas del CSIC y del Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid. Aparte de sus trabajos en ecología e histología, publicó numerosos artículos y recensiones de obras sobre evolución e historia de la evolución, siendo *Historia de las Teorías Evolucionistas* (1974; Alhambra, Madrid) la culminación de esta labor.

había aumentado la complejidad y perfección de los seres vivos «hasta llegar a la especie humana» (Alvarado 1959, t. II: 328 y 338).

Su defensa del evolucionismo darwinista le hacía mostrarse crítico con aquellos autores que no veían en la teoría sintética una explicación suficientemente completa del proceso evolutivo. Así, no pensaba que hubiera que recurrir a grandes mutaciones para explicar los fenómenos macroevolutivos, como defendía el genetista Richard Goldschmidt (1878-1958), y censuraba al zoólogo francés Pierre P. Grassé (1895-1985), de quien afirmaba que sus críticas al neodarwinismo «reposan sobre una interpretación errónea del proceso mutacional e inducen a error» (Alvarado 1959: 347).

En realidad, no puede afirmarse que Alvarado fuera un caso aislado en las universidades españolas. A finales de los cincuenta en la facultad de ciencias de la Universidad de Madrid existía una perspectiva evolucionista (en algunos casos finalista y teísta), en numerosas asignaturas de las secciones de Biológicas y Geológicas, destacando (aparte de las del propio Salustio Alvarado) las impartidas por Rafael Alvarado, Bermudo Meléndez, Emilio Guinea López (1907-1985), Carlos Crespo Gil-Delgado y José Pérez de Barradas (1890-1980); incluso el primer curso o “selectivo” contaba con el tema “Filogenia” en el cuestionario de Biología (Anuario de la Facultad de Ciencias, Univ. Madrid, Curso 1959-1960).

Análogamente, en la Universidad de Barcelona, la perspectiva evolucionista (y darwinista) era clara para el genetista Antonio Prevosti, el ecólogo Ramón Margalef (1919-2004) o el zoólogo Enrique Balcells (1922-2007).

La defensa del darwinismo en las ediciones de *Biología General* de finales de los cincuenta no fue el único reconocimiento a Darwin y su obra que realizó Salustio Alvarado. En 1958 tuvo lugar el *XXIV Congreso luso-español de la Asociación para el Progreso de las Ciencias* que celebraba los cincuenta años de su fundación. Alvarado era presidente de la sección de Ciencias Biológicas y clausuró las sesiones de trabajo con la conferencia “*Cien años de darwinismo*” (Alvarado 1958a) que conmemoraba la histórica presentación de los escritos de Darwin y Wallace acerca de la evolución por selección natural ante la Linnean Society de Londres en 1858.

En aquella conferencia, Alvarado se refirió a Darwin como el padre de la moderna biología recordando que el impacto de la idea de evolución en las sociedades del siglo XIX fue equivalente al que produjo Copérnico cuando desplazó la Tierra del centro del universo, llegando incluso a comparar la importancia del darwinismo con la del cristianismo: «El cristianismo, en la esfera moral, y el darwinismo, en el campo de la Biología». Las alusiones conciliadoras disculparon a Darwin de la aplicación de sus principios a la sociedad humana (darwinismo social), como sí hicieron algunos de sus defensores, y hacía recaer en este hecho las razones de la oposición eclesiástica al darwinismo en tiempos pasados.

TABLA 1. PONENTES Y PARTICIPANTES EN EL "COLOQUIO SOBRE PROBLEMAS ACTUALES DE LA EVOLUCIÓN" (DICIEMBRE DE 1959)

PONENTES:

- Emiliano Aguirre**, profesor encargado de Paleontología Humana en la Universidad de Madrid y del Laboratorio de Paleontología del Instituto "Lucas Mallada" del CSIC.
- Rafael Alvarado**, catedrático de Zoología (invertebrados) en la Universidad de Madrid, Secretario del Instituto "José de Acosta" (CSIC).
- Salustio Alvarado**, Catedrático de Fisiología Animal en la Universidad de Madrid, Director del Instituto "José Acosta" (CSIC).
- Enrique Balcells**, Profesor encargado de Zoología (vertebrados) en la Universidad de Barcelona, Investigador del "Instituto Español de Fisiología y Bioquímica" (CSIC).
- Miquel Crusafont**, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Barcelona, Jefe de la Sección de Paleontología del Instituto "Lucas Mallada" (CSIC).
- Ramón Margalef**, Profesor Encargado de Ecología Animal en la Universidad de Barcelona, Investigador del Instituto de Investigaciones Pesqueras (CSIC).
- Bermudo Meléndez**, Catedrático de Paleontología en la Universidad de Madrid, Secretario del Instituto "Lucas Mallada" (CSIC).
- Eugenio Ortiz**, Catedrático de Genética, Jefe del Laboratorio de Genética, Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC.
- Antonio Prevosti**, Catedrático de Genética en la Universidad de Barcelona.

PARTICIPANTES:

- Jesús Altuna**, Profesor de Ciencias Naturales del Seminario Conciliar de San Sebastián y Colaborador del Museo de San Telmo.
- Santiago Alcobé**, Catedrático de Antropología de la Universidad de Barcelona, Director del Centro de Genética Animal y Humana (CSIC).
- Emilio Anadón**, Catedrático de Ciencias Naturales en el Instituto "San Isidro" de Madrid.
- Luis Carreras**, Secretario del Instituto "José Celestino Mutis" de Farmacognosia (CSIC).
- Diego Jordano**, Catedrático de Biología de la Universidad de Sevilla (Facultad de Veterinaria de Córdoba).
- Salvador V. Peris**, Investigador del Instituto de Edafología y Biología Vegetal (CSIC).
- Joaquín Templado**, Investigador del Instituto de Edafología y Biología Vegetal (CSIC).
- Ramón Parés**, Profesor Adjunto de Bacteriología en la Universidad de Barcelona, Colaborador del Instituto Español de Fisiología y Bioquímica (CSIC).
- Arturo Valls**, Profesor Adjunto de Antropología en la Universidad de Madrid.
- Román de Vicente Jordana**, Investigador del Instituto "Jaime Ferrán" de Microbiología (CSIC).
- Antonio de Zulueta**, Profesor del Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Coloquio sobre Problemas Actuales de la Evolución

El acto más importante que conmemoró el centenario de *El origen de las especies* en España fue el "Coloquio sobre problemas actuales de la evolución". Éste tuvo lugar entre los días 14 y 19 de diciembre de 1959 en la Universidad de Madrid, bajo el patrocinio del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y de la Facultad de Ciencias de esta universidad; fue presidido por Salustio Alvarado y organizado por Rafael Alvarado, Bermudo Meléndez, Emiliano Aguirre y Eugenio Ortiz. El coloquio contó con la presencia de un importante número de investigadores españoles entre los que se encontraban muchos procedentes de la Universidad de Barcelona (véase Tabla 1).

El objetivo final de aquel coloquio fue, en palabras de Rafael Alvarado y Joaquín Templado:

“contribuir a precisar el alcance de la moderna teoría de la selección natural»; al mismo tiempo, también tenía un valor de actualización para especialistas de las diferentes disciplinas biológicas”.

El balance global de aquellos coloquios mostró una opinión favorable a la teoría sintética casi general, se señalaron algunas deficiencias explicativas y las posturas finalistas no fueron mayoritarias ni gozaron de un apoyo generalizado. Incluso Bermudo Meléndez no hizo alusión al finalismo que había caracterizado la mayor parte de sus artículos hasta ese momento y sentenciaba su apoyo a la teoría sintética:

“Estoy completamente de acuerdo con el proceso mutacional, es el único, actualmente conocido, capaz de explicar el proceso evolutivo, y que encaminado o canalizado por la selección natural da buena razón de gran parte

de los fenómenos evolutivos” (Meléndez en AAVV, 1962: 261).

La ponencia más interesante que suscitó un debate entre finalismo y neodarwinismo, entrando de lleno en el problema de la validez explicativa de la teoría sintética, fue “*Problemática paleontológica y selección natural*” de Emiliano Aguirre que aunque afirmó la existencia de «direcciones privilegiadas en el cuadro de la evolución morfológica» y de una «gran Ortogénesis» que culminaba con la cerebralización humana (Aguirre 1962: 180), demasiados párrafos dejaban claro que ya entonces Aguirre (por entonces miembro de la Compañía de Jesús) distaba

mucho de ser un finalista como Meléndez o Crusafont:

“debemos dejar de un lado toda explicación metafísica donde caben las explicaciones naturales observables”,

criticaba el finalismo simplista y, al mismo tiempo, reconocía el valor explicativo de la teoría sintética.

“Los trabajos de los últimos cuarenta años en el supuesto neodarwinista han sido numerosísimos, con resultados muy coherentes y consecuencias muy fecundas, y representa un acervo de hechos a su favor ingente y altamente valioso. Ningún otro sistema se presenta a este concurso con tan armónicas y convincentes soluciones” (Aguirre en AAVV 1962: 182).

TABLA 2. PONENCIAS DEL “COLOQUIO SOBRE PROBLEMAS ACTUALES DE LA EVOLUCIÓN” (DICIEMBRE DE 1959) (AAVV 1962)

Problemas actuales de la Paleontología:

Meléndez, B.: “Los eslabones de las series evolutivas”.

Crusafont, M.: “Algunos principios teóricos derivados del cálculo masterométrico”.

Aguirre, E.: “Problemática paleontológica y selección natural”

Problemas de las adaptaciones:

Alvarado, R.: “Las adaptaciones orgánico-funcionales (I): La convergencia adaptativa”.

Alvarado, S.: “Las adaptaciones orgánico-funcionales (II): Factores somáticos de las adaptaciones”.

Balcells, E.: “Evolución y biogeografía”.

Margalef, R.: “Adaptación, ecología y evolución: nuevas formas de plantear antiguos problemas”.

La teoría genética de la selección natural:

Prevosti, A.: “Dinámica de las poblaciones y selección natural”

Ortiz, E.: “Integración genética, selección natural y evolución”

Las ponencias de Rafael y Salustio Alvarado disertaron sobre el problema de las adaptaciones mostrándose en ambos casos partidarios de las tesis neodarwinistas y rechazando el finalismo, especialmente Rafael Alvarado:

“Y para finalizar, un ruego al Dr. Ortiz, y es que no vea en mi idea de canalización de la adaptaciones ninguna especie de ‘tendencia interna’, nada mas lejos de mi sentir biológico que el psicolamarckismo o cualquier suerte de finalismo” (R. Alvarado en AAVV 1962: 201).

Los autores pertenecientes a la Universidad de Barcelona también mostraron su adhesión a la teoría sintética. Los aspectos ecológicos fueron abordados por el zoólogo Enrique Balcells (1922-2007) y el ecólogo Ramón Margalef. Este último realizó una exposición muy novedosa del proceso evolutivo a la luz de la teoría de la información y de la teoría general de sistemas. Los genetistas Antonio Prevosti y Eugenio Ortiz analizaron los aspectos genéticos del proceso evolutivo y desarrollaron una visión acorde con los principios neodarwinistas.

Publicaciones Españolas en el Centenario de *El Origen de las Especies*

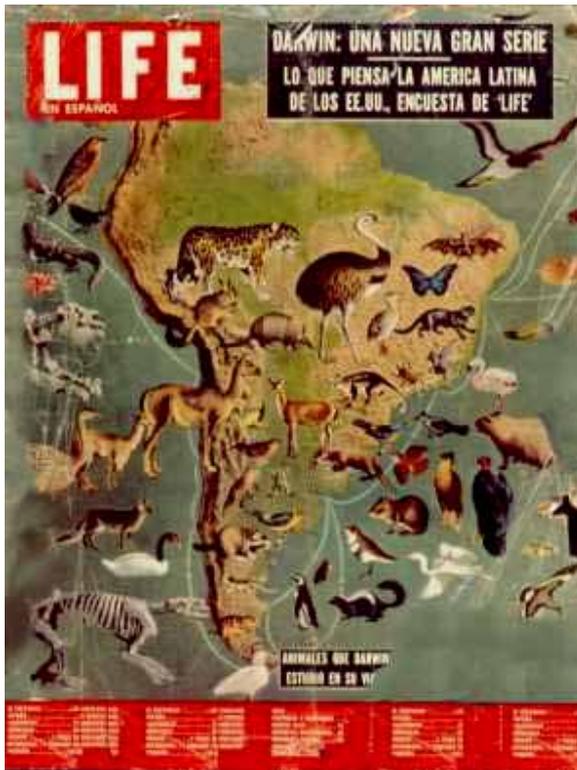
En los cincuenta, los diarios y revistas de actualidad españolas apenas reservaban espacio a noticias de carácter científico más allá de curiosidades o de algún avance en medicina o astronáutica que, por entonces, iniciaba su camino. En esta situación de abandono, y debido a la fuerte divulgación del pensamiento político y religioso en los medios de la época, el centenario de la más importante teoría biológica apenas tuvo eco en la prensa o en las revistas de actualidad.

La revista *Ibérica*, cuyo subtítulo era “El progreso de la ciencia y sus publicaciones” era la publicación del Observatorio del Ebro. *Iberica* era la única publicación especializada en la divulgación científica y tecnológica en los cincuenta, en ella colaboraban numerosos jesuitas, entre ellos Jaime Pujiula (1869-1958), fundador en 1910 del Laboratorio Biológico del Ebro (más tarde Instituto Biológico de Sarriá), antes y después de la guerra civil Pujiula se caracterizó por un marcado antievolucionismo. Véase Iglesias (1998, 68-71). *Iberica* publicaba en 1959 el único artículo relacionado con el problemática evolucionista. Sus primeras palabras eran suficientemente explícitas:

“Aunque la tesis creacionista contiene ya la única verdad acerca del origen del hombre, nos permitimos exponer la réplica sobre algunas de las teorías lamarckianas, haeckelianas y darwinistas, que ya muy poco o nada se sostienen, por la falsía de sus argumentos y pruebas” (Arce 1959).



Emiliano Aguirre.
Fuente: Emiliano Aguirre, Obra Selecta (1957-2003).



Portada del número de *Life en español* (1959) que iniciaba una serie artículos sobre el viaje del Beagle.

Aparte de este alegato antievolucionista en *Ibérica*, hubo algunos artículos en revistas especializadas que defendieron el pensamiento neodarwinista, aunque con una difusión muy reducida. Así, *Sinergia*, revista dirigida a médicos editada por la Sociedad General de Farmacia, inició en 1958 una serie de artículos sobre el origen de la vida y la evolución a cargo de los profesores de la Universidad de Barcelona: Ramón Margalef, Ramón Parés y Antonio Prevosti, que realizaron una exposición didáctica desde la perspectiva neodarwinista (véase la bibliografía).

Otra excepción al vacío divulgativo del centenario fue *Life, en español*, edición hispana de la revista de actualidad estadounidense que, en 1958, inició una serie de ocho artículos titulada “Darwin y la naturaleza” que versaron sobre los fósiles, fauna, flora y gentes de los lugares visitados por Darwin en su famoso viaje.

Por el contrario, en *Arbor*, la revista del CSIC que a principios de los cincuenta dedicó un número monográfico a la evolución (AAVV, 1951 y que a finales de la misma década no olvidaba los centenarios de Alexander von Humboldt o Edmund Husserl, sí “olvidó” el 150 aniversario del nacimiento de Darwin o el centenario de *El Origen de las Especies* y, salvo alguna reseña bibliográfica, no publicó ningún artículo al respecto.

En lo que respecta a las obras conmemorativas, en España se tradujeron algunas como *Cien Años de Evolución* (Carter 1959) o *El Destino del Hombre* (1959) en la que figuraban como autores Julian Huxley y Charles Darwin. Charles Darwin no fue contemporáneo de Julian Huxley (1887-1975), se trataba de un nieto suyo con el mismo nombre, el físico Charles Darwin (1887-1962). Huxley había publicado en *The Sunday Times* (1959), con motivo del centenario de la publicación de *El Origen de las Especies*, un artículo titulado “Lugar del hombre en la naturaleza”, este artículo fue polémico y provocó la contestación de varios autores (muchos de ellos clérigos). *El Destino del Hombre* recogía aquellas réplicas pero no el artículo original que levantó la polémica, lo que nos lleva a pensar que fue objeto de censura.

También de Huxley apareció *25.000 Siglos de Historia de la Vida. Síntesis Histórica de la Evolución*, (Huxley 1959), dedicada a un público juvenil y, mucho más importante, *El Proceso de Toda Evolución Biológica* (Huxley et al. 1958), obra colectiva traducida por Faustino Cordón que recogía numerosos artículos de los artífices de la síntesis evolucionista.

Un hecho que nos parece relevante es que en los años del centenario se incluyeron artículos que actualizaban la cuestión del origen de la vida y la teoría de la evolución en los suplementos de la *Enciclopedia Espasa Calpe*, obra de referencia para varias generaciones de españoles en la que figuraban varias entradas que ponían en duda la evolución o simplemente abogaban por un creacionismo bíblico.

En el suplemento 1957-1958, Rafael Alvarado puso al día el problema del origen de la vida dando una explicación acorde con los conocimientos científicos del momento, y en el de 1959-1960, actualizaba el tema de la evolución biológica a la luz de la teoría sintética:

“Hoy en día, desde la publicación de Huxley: *Evolution, the Modern Synthesis* (1942), el Neodarwinismo, que también se ha llamado “teoría sintética” de la evolución, explica la variabilidad y evolución del mundo viviente por un conjunto de procesos, en los que intervienen la mutación (micromutaciones al azar), la recombinación genética (que produce nuevos genotipos y, por lo tanto, nuevas posibilidades evolutivas), el aislamiento (ya geográfico, ya genético, ya ecológico) y la acción selectiva del ambiente, mediante la cual sólo sobreviven los individuos mejor adaptados “(R. Alvarado, en la *Enciclopedia Ilustrada Espasa Calpe*, Suplemento 1959-1969, p. 412).

TABLA 3. ARTÍCULOS DEL MONOGRÁFICO DE LA REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DE MADRID (“LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN A LOS CIENT AÑOS DE LA OBRA DE DARWIN”) Nº 29, 30, 31, MADRID, 1959.

- Aguirre, E.: “Aspectos filosóficos y teológicos de la evolución”.
- Alvarado, R.: “La evolución morfológica del reino animal”.
- Alvarado, R.: “La teoría de la evolución a los cien años de la obra de Darwin”.
- Benzo Mestre, M.: “Evolución y dogma”.
- Bernis, F.: “Variabilidad intraespecífica y especiación geográfica en las aves”.
- Crusafont Pairó, M.: “Biometría y evolución”.
- Dobzhansky, Th.: “Evolución y genética”.
- Grasse, Pierre-P. “Les incertitudes des doctrines evolutionnistes”.
- Lam, H. J.: “Morfología, evolución y filogenia en el reino vegetal”.
- Lemche, H.: “Neopilina (un molusco actual, con caracteres de tipo fósil, y su significado.”
- Margalef, R.: “Ecología, biogeografía y evolución”
- Meléndez, B.: “Las pruebas paleontológicas de la teoría de la evolución”.
- Ortiz, E.: “Variabilidad de los organismos, selección natural y evolución”.
- Templado, J.: “Un siglo de evolucionismo”.
- Villar Palasí, V.: “Bioquímica y evolución”.

Revista de la Universidad de Madrid

La obra más notable que se publicó en España con motivo del centenario de *El Origen de las Especies* fue un volumen triple de la *Revista de la Universidad de Madrid* (AAVV 1959) que, dirigido por Rafael Alvarado, incluía artículos sobre evolución firmados por un importante número de autores españoles y algunos extranjeros, entre los que se encontraba uno del genetista Theodosius Dobzhansky (Tabla 3).

El monográfico de la *Revista de la Universidad de Madrid* pretendía no solamente rendir homenaje a la obra de Darwin, sino comprobar la vigencia de sus ideas a través de la reciente teoría sintética, mostrando además un cierto carácter divulgativo ya que, como se afirmaba en el prólogo, aquel número extraordinario buscaba:

Poner al alcance de los no especialistas una visión panorámica, puesta al día y fidedigna, sobre un tema complicado del cual es mucho lo que se sabe, pero sin duda mucho más lo que se ignora, y del que suelen hablar más los muchos que de él saben muy poco que los muy pocos que de él saben bastante (R. Alvarado 1959: 11).

Estas últimas palabras constituían una crítica a la polémica sostenida en torno a la evolución por personas carentes de formación biológica y al silencio que se producía en aquellos que se dedicaban a problemas evolutivos, posiblemente por el clima de hostilidad hacia el evolucionismo en ámbitos eclesiásticos o en la enseñanza preuniversitaria.

La reivindicación del pensamiento darwinista en el monográfico fue notable. Como afirmaba Rafael Alvarado, Newton y Darwin:

«habían cambiado el curso del pensamiento de la humanidad»,

y éste último:

«nos hizo ver que el proceso de selección encarrilaba el desarrollo del mundo viviente».

En el artículo sobre bioquímica y evolución, Villar Palasí buscaba homologías en la estructura de moléculas y en los procesos bioquímicos de los seres vivos, su explicación no contenía alusiones extracientíficas y defendió una interpretación en la que en el universo molecular ocurrían, en esencia, los mismos procesos que en el macroscópico.

Joaquín Templado repasó la historia del evolucionismo, especialmente del darwinismo, señalando el rechazo rotundo de la biología del momento al lamarckismo y al finalismo cuyos representantes:

«juzgan necesario admitir postulados que, en realidad están más allá del campo experimental» (AAVV 1959: 42).

Templado junto a Rafael Alvarado, Ramón Margalef, Eugenio Ortiz, Francisco Bernis, etc. aceptaron a grandes rasgos la teoría de la sintética de la evolución.

La crítica vino fundamentalmente de la mano del zoólogo francés Pierre P. Grassé con “*Las incertidumbres de las doctrinas evolucionistas*” y de los paleontólogos finalistas, en el caso de estos últimos, ninguno negó la importancia de Darwin ni del proceso de selección natural pero lo hacían compatible con el finalismo.

Bermudo Meléndez señaló su lamarckismo:

«es evidente que el medio ambiente en que se desarrollan los organismos, ejerce un cierto influjo sobre ellos, encauzando su evolución, condicionándola o limitándola» (AAVV 1959: 80).

Además, mostró su finalismo y la compatibilidad con la doctrina católica. La frase final era todo un resumen de su concepción evolutiva como proceso fundamental en el plan del Creador:

“La evolución biológica ha sido el medio previsto por el Sumo Hacedor para actualizar la Creación en el transcurso del tiempo, poniendo el broche final, al darnos un alma inmortal a imagen y semejanza suya” (Meléndez en AAVV 1959: 80).

Como había ocurrido anteriormente en el monográfico sobre evolución de *Arbor* de 1951, varios artículos se ocuparon de evolución y religión. En “*Evolución y Dogma*” de Benzo Mestre, se mostraba la posibilidad del evolucionismo teilhardiano y en el extenso “*Aspectos filosóficos y teológicos de la evolución*”, Emiliano Aguirre afirmaba el hecho evolutivo y su compatibilidad con el catolicismo.

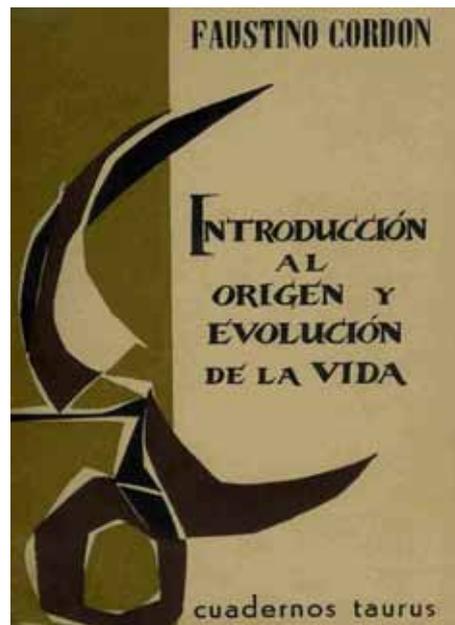
Faustino Cordón: *Introducción al Origen y Evolución de la Vida*

Otra obra española sobre evolución en aquellos años fue *Introducción al Origen y Evolución de la Vida* (Cordón 1958), a cargo del bioquímico Faustino Cordón (1909-1999) quien reconocía en el prólogo que se trataba de un «homenaje activo a Darwin». Faustino Cordón cursó Farmacia antes de la Guerra Civil, su filiación política (PCE) y la vinculación al bando republicano provocaron su marginación de la docencia universitaria dirigiendo su actividad profesional a la industria (Laboratorios Zeltia y el Instituto de Biología y Sueroterapia de Madrid). En 1979 creó la Fundación para Investigación sobre la Biología Evolucionista que dirigió hasta su muerte en 1999. *Introducción al Origen y Evolución de la Vida* era una pequeña obra que recogía tres conferencias impartidas en el Departamento de Filosofía e Historia de la Ciencia del “Instituto Luis Vives” (CSIC).

Cordón había traducido anteriormente la obra pionera de la teoría sintética de T. Dobzhansky, *Genética y el Origen de las Especies* (Dobzhansky 1955) y *El Proceso de Toda Evolución Biológica* (Huxley et al. 1958), esta última recogía importantes artículos de autores de la síntesis. *Introducción...* se ocupó del problema del origen de la vida desde una perspectiva científica y filosófica, algo novedoso hasta entonces pues la mayor parte de las obras de aquel momento lo hacían desde una perspectiva religiosa o con fuertes implicaciones finalistas.

Cordón recusaba el vitalismo, invocando causas naturales para el origen y los procesos que acontecen en los seres vivos, eliminando la posibilidad de cualquier intervención inmaterial, pero al mismo tiempo también criticaba el excesivo valor concedido al azar, especialmente en el problema del origen de la vida:

“Decir que la vida se formó por un difícilísimo azar a partir de lo inanimado encubre, más que la ignorancia, la despreocupación ante un proceso general que, desde cierto estadio evolutivo de lo inanimado, se va acercando (impulsado por las acciones rectoras de la evolución a su nivel de complejidad estructural) progresivamente a la vida, de modo que el proceso mismo es ya definidor de la vida que de él resultará. Con el expediente del azar se oculta el rasgo cósmico de la evolución viviente (es decir, que la vida es el resultado, a un cierto nivel evolutivo, de la evolución cósmica general) y, en consecuencia, se desvincula a la biología del lugar inalienable que le corresponde dentro del sistema general de las ciencias” (Cordón 1958: 28-29).



Introducción al Origen y Evolución de la Vida (1958; Taurus, Madrid:) recogía varias conferencias que constituían un homenaje de Faustino Cordón al pensamiento de Darwin.



El paleontólogo Bermudo Meléndez (1912-1999).

Fuente: Boletín de la Real Sociedad Española de Paleontología, 35, mayo 2000.

Al mismo tiempo, se mostraba contrario al reduccionismo que imperaba en la mayor parte de los campos de la biología:

«al forzar la explicación de una estructura viviente del mero análisis de sus elementos internos haciendo caso omiso del proceso por el que estos elementos han llegado a integrar tal estructura» (Cordón 1958: 30).

La perspectiva de Faustino Cordón en su primera obra sobre evolución estaba fundamentada por dos conceptos fundamentales: *homeostasis*, una característica esencial de los seres vivos que describía la constancia en muchos parámetros por procesos autorregulativos y, *fase evolutiva*, que transcurría entre dos estados de homeostasis en los que iba aumentando la complejidad por acción de la selección natural del medio.

Introducción al Origen y Evolución de la Vida, aunque desde una perspectiva heterodoxa, fue un homenaje “activo” a Darwin y al darwinismo basado en varias conferencias. Años más tarde, Cordón reconoció haber dedicado entre 1958 y 1959 otro “homenaje callado” mientras escribía *La Evolución Conjunta de los Animales y su Medio* (Cordón 1966).

Epílogo para un Centenario

El centenario de *El Origen de las Especies* revitalizó las ideas de Darwin dejando claro que la síntesis evolucionista que se había producido pocos años antes era la teoría más coherente para explicar el cambio evolutivo; para algunos (Meléndez y Crusafont) esta idea coexistió con la de una evolución dirigida, pero la mayoría de los biólogos del momento no aceptaron implicaciones finalistas. Mientras esto ocurría en el contexto académico o universitario, en la enseñanza media o primaria la evolución era simplemente negada o evitada.

Las conferencias, obras y artículos publicados con motivo del centenario rescataron a Darwin y al darwinismo de su vinculación con ideologías proscritas (ateísmo, materialismo...) señalando su compatibilidad con la religión católica y generando una nueva imagen del naturalista inglés. Pocos años más tarde podía leerse sobre Darwin:

“...el tipo perfecto de gentleman ochocentista; cumplido, amante de la quietud y del orden, sobrio, moralmente sano, respetuoso con los derechos y las opiniones de los demás, con sentimientos eminentemente filantrópicos; muy marcada su aversión por la esclavitud, aún tolerada en aquel tiempo por la mayoría, y como rasgo típico inglés, amaba a los animales, quizá de una manera exagerada, para nuestra mentalidad latina. Es especialmente simpática la figura de Darwin por su cariño a la familia,

particularmente su mujer y sus hijos” (Leonardi 1961: 65).

Los autores que conmemoraron el centenario de *El Origen de las Especies* no disponían de ediciones españolas de las obras de Darwin posteriores a la Guerra Civil. En 1950 se publicó *El Origen de las Especies* (Ediciones Ibéricas, Madrid). Realmente eran los ejemplares rescatados de una edición anterior a la Guerra Civil (Ediciones Bergua, hacia los años treinta). Esta obra apenas fue conocida y citada por los autores españoles. El aniversario propició la normalización en la publicación de sus obras. Así, en 1963 volvieron a aparecer en las librerías *El Origen de las Especies* (Ediciones Ibéricas, Madrid) y *El Origen del Hombre* (Edaf, Faresol, Madrid). Hacia la segunda mitad de la década de los sesenta, estas obras se editaron con regularidad. Darwin había vuelto a la vida en España.

REFERENCIAS

- AAVV 1951. Número extraordinario dedicado al problema de la evolución biológica. *Arbor* 66, junio.
- AAVV 1959. La teoría de la evolución a los cien años de la obra de Darwin. *Revista de la Universidad de Madrid*, vol. VIII, num. 29-31, 600 p.
- AAVV 1962. Coloquio sobre problemas actuales de la evolución biológica. Ciclo de conferencias y coloquios, 14-19 de diciembre de 1959. Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 60: 150-266.
- Alvarado, S. 1958a. Cien años de darwinismo. *Anales de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* 1: 750-782.
- Alvarado, S. 1958b. *Biología General*. 4ª ed. reformada. AGESA, Madrid.
- Alvarado, S. 1959. *Biología General*. 6ª ed. AGESA, Madrid.
- Alvarado, S. 1962. Las adaptaciones orgánico-funcionales (II): Factores somáticos de las adaptaciones”. En: “Coloquio sobre evolución biológica”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 60: 205-218.
- Arce y Aguilar, J.F. 1959. El origen del hombre y su diferenciación en antropoide. *Ibérica* 409: 227-231.
- Blázquez, F. 2001. La teoría sintética de la evolución en España. Primeros encuentros y desencuentros”. *Llull* 24 (nº 50): 289-313.
- Blázquez, F. 2004. *El Evolucionismo en España y la Síntesis Neodarwinista (1939-1970)*. Tesis Doctoral, Univ. Autónoma de Madrid.
- Cordón, F. 1958. *Introducción al Origen y Evolución de la Vida*. Taurus, Madrid.

- Cordón, F. 1966. *La Evolución Conjunta de los Animales y su Medio*. Península, Barcelona.
- Darwin, C. (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*. Londres, Murray. Primera edición española completa de 1877 traducida por Enrique Godínez: *Origen de las especies por medio de la selección natural ó la conservación de las razas favorecidas en la lucha por la existencia*. Biblioteca Perojo, Madrid.
- Dobzhansky, T. 1955. *Genética y el Origen de las Especies*. Revista de Occidente, Madrid. Trad. de Faustino Cordón. 2ª ed. con prólogo de F. J. Ayala: *Genética y el origen de las especies*. Barcelona, Círculo de Lectores, 1997.
- Huxley, J. y Darwin, C. (1958) *El Destino del Hombre*. Taurus, Madrid.
- Huxley, J. 1959. *25.000 Siglos de Historia de la Vida. Síntesis Histórica de la Evolución*. Enciclopedia Juvenil del Siglo XX, Barcelona/Bilbao.
- Huxley, J., Hardy, A.C. y Ford, E.B. 1958. *El Proceso de toda Evolución Biológica*. Revista de Occidente. Madrid. Trad. de Faustino Cordón del original: Huxley, Hardy y Ford (1954) *Evolution as a process*. Allen & Unwin. Londres.
- Iglesias, A. 1998. *A Investigación en España sobre o Evolucionismo Humano (1936-1976)*. Tesis Doctoral, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Santiago de Compostela.
- LeonardI, P. 1961. *Carlos Darwin y el Evolucionismo*. Fax, Madrid. Traducida por Bermudo Meléndez.
- Jahn, I.; Lothar, R. y Senglaub, K. 1985. *Historia de la Biología. Teorías, Métodos, Instituciones y Biografías Breves*. Labor, Barcelona.
- Margalef, R. 1958. La marcha de la evolución. *Sinergia* 10: 6-17.
- Parés, R. 1958. Origen de la vida. *Sinergia* 9: 6-17.
- Planas, J. 1958. *Programa de Biología*. Univ. Valladolid, Valladolid.
- Prevosti, A. 1959. Los mecanismos de la evolución. *Sinergia* 11: 15-23.
- Soria, D. y Morales, J. (2004) Prólogo a *Emiliano Aguirre. Obra Selecta (1957-2003)* pp. 14-45 Museo Arqueológico Regional, Madrid.

Información del Autor

Francisco Blázquez es profesor de biología en el IES Pedro de Valdivia de Villanueva de la Serena (Badajoz) y en la actualidad es asesor en el Centro de Profesores Don Benito-Villanueva. Interesado en la historia de la biología, en 2004 presentó en la Universidad Autónoma de Madrid la tesis doctoral titulada *El Evolucionismo en España y la Síntesis Neodarwinista (1939-1970)*.

¿Existe evolución convergente en los caracteres fenotípicos del Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) y el Bigotudo (*Panurus biarmicus*)?

Ignacio García Peiró

C/ El Salvador, 17-4ºD. 03203 Elche (Alicante). E-mail: peiro7@yahoo.es

RESUMEN

De entre las especies ibéricas de aves con marcados rasgos ornamentales, dos de ellas, el Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) y el Bigotudo (*Panurus biarmicus*), con gran distanciamiento filogenético actual, comparten caracteres fenotípicos muy similares (presencia de negras bigoterías, cola alargada y color rojizo-anaranjado en la mayor parte del cuerpo). Sin embargo, aparentemente éstos operan por mecanismos de selección muy similares (señalización de estatus social, selección sexual y selección de hábitat), lo que podría ser un ejemplo de evolución convergente. *eVOLUCIÓN* 2(2): 43-47 (2007).

Palabras Clave: Quebrantahuesos, *Gypaetus barbatus*, Bigotudo, *Panurus biarmicus*, caracteres fenotípicos, evolución convergente.

El Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) es un buitre del viejo mundo, perteneciente actualmente a la Familia *Accipritidae* (Sibley y Monroe 1990) y actualmente catalogado en España como En Peligro (EN), aunque con tendencia creciente en la última década (1998-2001) (Madroño *et al.* 2004). El Bigotudo (*Panurus biarmicus*) es un pequeño Passeriforme, actualmente perteneciente a la Familia *Paradoxornithidae* (Sibley y Monroe 1990) que está actualmente catalogado en España como especie Casi Amenazada (NT) debido a su reducido tamaño poblacional, su distribución fragmentada y tendencia decreciente en la década de los 90 (Madroño *et al.* 2004). Los factores que regulan algunas de las poblaciones de Quebrantahuesos son denso-dependientes (Carrete *et al.* 2005). Sin embargo, dado que algunos componentes de aptitud (por ej., éxito reproductor) no son buenos indicadores de medios densodependientes (Benton y Grant 2000), es probable que factores denso-independientes (clima, condiciones meteorológicas) sean los determinantes en la regulación de las poblaciones de Bigotudo (Peiró *et al.* en revisión).

Ambas especies mantienen un sistema de distribución metapoblacional en España, en el que no existen apenas conectividades entre áreas. Dentro de las regiones ornitogeográficas en las que se clasifica la avifauna española, la primera de ellas está predominantemente ubicada en la región J (Aragón y valle del Ebro), mientras que la segunda en la región B (Pirineos) (Lobo y Carrascal 2003).

Las variables ambientales que mejor discriminan entre ambas zonas son la precipitación anual y los cultivos de secano (Lobo y Carrascal 2003). Las áreas marginales de distribución del Bigotudo y del Quebrantahuesos en el sur del Levante (Hondo y Salinas de Santa Pola-Sierras de Cazorla y Segura), pueden considerarse muy separadas de sus principales regiones ornitogeográficas, por lo que podrían estar alejadas de las áreas fuente y darse en ellas procesos selectivos y aislamiento reproductor.

Quizás, el proceso de especiación en ambas podría seguir el modelo alopátrico, dado que en España ambas se encuentran en los límites de distribución de una población original central Europea y Asiática de mayor tamaño.



Ambas especies tienen estructuras ornamentales homólogas: bigoterías de color negro en la base del pico, larga cola y colores rojizos o anaranjados en la parte ventral.

La teoría de Darwin sobre la evolución de la selección natural y sexual (Darwin 1859, 1871) postula que aquellos atributos que incrementan la aptitud biológica en términos de supervivencia y fertilidad, aumentan por selección su frecuencia en la población en sucesivas generaciones, mientras que aquellos atributos costosos y elaborados evolucionan por selección intra- (entre individuos del mismo sexo) y/o intersexual (entre individuos de distinto sexo). También, la teoría de la selección natural sostiene que la convergencia de rasgos funcionales, morfológicos y estructurales de especies filogenéticamente no relacionadas son el resultado de mutación al azar, bajo similar medio ambiente y similares presiones de selección.

Ante la teoría de la selección natural y sexual, los atributos homólogos del Quebrantahuesos y el Bigotudo, podrían presentar la misma funcionalidad, aun siendo clados no relacionados filogenéticamente.

¿Es el color rojizo importante?

En el Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), la funcionalidad de la coloración rojiza no está todavía muy clarificada. Negro *et al.* (1999) sugieren que los Quebrantahuesos se untan deliberadamente con baños de óxido de hierro como una función cosmética y, especialmente en la señalización del estatus de dominancia, basándose en el principio de hándicap de que para que una señal haya de evolucionar ha de ser costosa (Zahavi 1975).

Posteriormente Negro *et al.* (2000), sugieren que el óxido de hierro actuaría como bactericida, de modo que los individuos más rojizos (menos infectados: hembras y adultos) estarían en ventaja sobre los individuos más pálidos (machos y jóvenes) y serían preferidos por otras parejas, de modo que una señal visual (color rojizo) podría evolucionar por selección natural.

¿Cómo convergen estas señales en ambas especies?

En el Bigotudo, la funcionalidad de la coloración rojiza evolucionaría por medio de mecanismos similares: la señalización de estatus social y selección sexual.

Los Bigotudos poseen una doble dieta: insectívora en verano y granívora en invierno (Bibby 1981, 1983). Se ha hipotetizado que el cambio de dieta obliga a los Bigotudos ingerir piedrecillas para adaptar su estómago y que el decrecimiento de la longitud de día es el factor de conversión en otoño (Spitzer 1972). Este aspecto ha sido

apuntado en el Parque Natural de El Hondo por López y Monrós (2004).

La ingestión de gastrolitos ha sido comprobada en aves del Cretácico *Yanornis martini* como una indicación de la más antigua permutación de dieta como adaptación al herbivorismo (Zhou *et al.* 2004). La ingestión de arenisca ha sido documentada en 62 de 90 especies de aves Norteamericanas (Gionfrido y Best 1996) y tiene una doble funcionalidad: derivar estacionalmente el cambio de dieta y como aportes de calcio durante la puesta de huevos (Bishton 1986; Hogstad 1988; Gionfrido y Best 1995).

Sin embargo la ingestión de piedras podría tener un papel importante en la adaptación coloración del plumaje como señal de dominancia y selección intrasexual, de modo que los individuos en mejor estado nutricional estarían señalizando su condición a través de una coloración pigmentaria más rojiza, tomada a través de la ingestión diferencial de gastrolitos, y también estarían señalizando su habilidad para encontrar alimento.

¿Y las bigoterías?

En el Bigotudo, la funcionalidad del tamaño de las bigoterías implica mecanismos de selección intra e intersexual, en la elección de machos dentro del periodo reproductor (Hoffman 1994) y como señalización de estatus de dominancia en la competición intersexual durante las agrupaciones fuera del periodo reproductor, cuando las interacciones agresivas son más frecuentes (Hoi y Hoi 2001).

La señalización de estatus funciona especialmente cuando los individuos interactúan en agregaciones (comederos, bebederos) (Rohwer 1975). En algunos Passeriformes que viven en agregaciones, como por ejemplo el Lúgano (*Carduelis spinus*), existen individuos nómadas y transeúntes, donde la señalización funciona mejor puesto que viajan muchos kilómetros en busca de alimento e interactúan con ejemplares no conocidos (Senar *et al.* 1990). En estos lugares, Senar *et al.* (1993) han demostrado que el tamaño negro del babero de esta especie juega una importante función como señalización de estatus de dominancia, donde los ejemplares con babero más grande (dominantes), ganan los encuentros frente a los de babero más pequeños (subordinados).

Es posible que en el Bigotudo, el tamaño y color de los bigotes sea una señal que actúe de manera similar en las agrupaciones dispersivas que se mueven en busca de alimento (semillas de carrizo) y en las agregaciones (dormideros o lugares de nidificación), señalizando los individuos dominantes con mayor tamaño de bigote las confrontaciones frente a los subordinados, donde los machos más abundantes, en un sistema social de vida, llevan a cabo fertilizaciones extra pareja (Hoi y Hoi-Leitner 1997).



En el Lúgano (*Carduelis spinus*), Senar (2004), muestra que las señales ornamentales cumplen una función ambivalente, siendo el negro del babero una señal de estatus social y el amarillo del ala una función de habilidad para encontrar alimento. En estas señales ambivalentes, las hembras, para elegir pareja, analizan simultáneamente ambas señales.

En el Quebrantahuesos la funcionalidad del bigote podría también jugar un papel importante en la selección sexual, entre la competición de machos dentro del sistema social de formación de parejas (por ej., Bertran y Margalida 2002).

¿Y la cola?

La cola del bigotudo es extremadamente larga. Su funcionalidad ha sido estudiada en experimentos en cautividad por Romero-Pujante (2000) y por Romero-Pujante *et al.* (2002, 2005), evidenciando que tiene importante papel en los procesos de selección sexual, natural y selección del hábitat: las hembras eligen a los machos con la cola más larga, si bien los machos no eligen a las hembras con la cola más larga, pero sí muestran interés como compañeras de cópulas extra pareja. También, la cola influye en cómo los bigotudos se mueven y explotan el hábitat, no siendo ésta importante en el tiempo que pasan a diferentes alturas en el tallo vertical del carrizo pero sí con una función importante como órgano de balanceo (Romero-Pujante *et al.* 2005).

Romero-Pujante *et al.* (2002) indican que la elección de los machos es más débil que la elección de las hembras, por lo que los machos tendrían un compromiso de aptitud (*fitness trade-off*) cuando eligen a una hembra.

Este compromiso de aptitud sugiere que estos rasgos sexuales secundarios son relativamente poco costosos de producir y están sesgados en la elección de pareja, por lo que concordarían con la hipótesis de señal redundante en el uso de

múltiples ornamentos de Möller y Pomiankowski (1993).

También, los estudios de Romero-Pujante y colaboradores muestran que tanto una cola más larga como una cola más corta pueden dificultar la maniobrabilidad, y así los procesos de selección natural favorecen una selección estabilizadora hacia colas de tamaño medio. La cuestión aquí es si estos procesos también tendrían lugar en medios naturales, manipulando los ornamentos y observando que sucede en los ejemplares en libertad, y si los factores propios de la dinámica poblacional (por ej. competición intraespecífica) pueden inferir en los procesos selectivos y modificar componentes de aptitud. Algunos investigadores muestran que algunas propiedades de las comunidades de aves (por ej. competición interespecífica) pueden moldear algunos componentes fenotípicos o rasgos morfológicos (Alatalo y Lundberg 1984; Schluter y Grant 1984).

En otro passeriforme con una cola extremadamente larga como la Golondrina Común (*Hirundo rustica*), los fenómenos de selección natural y sexual operan manteniendo una cola exagerada por selección natural y porque habría una selección sexual direccional a favor de rectrices externas más largas: las hembras preferirían emparejarse con machos con colas más largas y esto se traduciría en una mayor éxito reproductor (Cuervo 2003).

CONCLUSIONES

En el Bigotudo y el Quebrantahuesos podrían existir múltiples rasgos ornamentales homólogos (colas largas, cabezas grises, bigoteras negras, coloraciones anaranjadas), cumpliendo en el mismo individuo funciones diferentes: la coloración rojiza señalizadora de estatus, las bigoteras como atributos de selección sexual y la cola como determinante en la selección sexual y de hábitat.

Esto podría ser un ejemplo de evolución convergente, donde, especies distintas, separadas

filogenéticamente, compartirían similares mecanismos de evolución de los caracteres fenotípicos. Existen muchos ejemplos de evolución convergente en el reino animal y vegetal: Por ejemplo, en plantas, Hu *et al.* (2003) encuentran evidencias de evolución convergente en la perennialidad del arroz y el sorgo.

En animales, en Insectos, especies crípticas y simpátridas de Neurópteros con linajes diferentes se ha comprobado la existencia de evolución convergente de los cantos de cortejo (Henry *et al.* 1999), de modo que similares señales de aptitud podrían tener un ancestro común. En peces, Winemiller y Adite (1997) reportan evolución convergente en morfología y dieta en peces de África y Sudamérica. En reptiles, Rosenblum (2006) muestra evidencia de evolución convergente y selección divergente ligada al hábitat en la coloración de Eslizones del Nuevo Mundo. En mamíferos, Mares (1976) muestra ejemplos de evolución convergente en rasgos de roedores sudamericanos. En aves, Prum y Torres (2003) muestra evidencia de nanoestructuras de colágeno de las plumas que funcionan por un mecanismo similar en clados distintos. Grant *et al.* (2004) muestra que en los Pinzones de Darwin, una combinación conjunta de hibridación introgresiva y selección prevén una explicación de convergencia en morfología y constitución genética bajo condiciones ecológicas cambiantes. Price *et al.* (2007) muestra evidencias en el canto y patrones de plumaje similares en taxones distintos de Oropéndolas del Nuevo Mundo.

Agradecimientos - He de indicar que parte de lo escrito aquí se basa en la mera especulación y planteamiento de hipótesis que podrían ser contrastadas e investigadas a posteriori. Quiero expresar mi agradecimiento a los miembros del Dpto. Ecología y Hidrología de la Univ. de Murcia, Dres. Francisco Robledano Aymerich y Miguel Ángel Esteve-Selma por su constante ayuda y apoyo ofrecido durante mi labor como doctorando. Este artículo va dedicado a ellos.

REFERENCIAS

- Alatalo, R y Lundberg, A. 1984. Density-dependence in breeding success of the Pied Flycatcher (*Ficedula hypoleuca*). *J. Anim. Ecol.* 53: 969-977.
- Antor, R.J., Margalida, A y Heredia, R. 2003. Quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*). Pp. 164-165. *En:* Martí, R y del Moral, J.C (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Dir. Gral. Conserv. Naturaleza- SEO/Birdlife Madrid.
- Benton, T.G y Grant, A. 2000. Evolutionary fitness in ecology: comparing measures of fitness in stochastic, density-dependent environments. *Evol. Ecol. Res.* 2: 769-789.
- Bertran, J y Margalida, A. 2002. Social organization of a trio of Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*): sexual and parental roles. *J. Raptor Res.* 36: 65-69.
- Bishton, G. 1986. The diet and foraging behaviour of the Dunnock *Prunella modularis* in a hedgerow habitat. *Ibis* 128: 526-539.
- Bibby, C.J. 1981. Food supply and diet of the Bearded Tit. *Bird Study* 28: 201-210.
- Bibby, C.J. 1983. Studies of west palearctic birds, 186: Bearded Tit. *British Birds* 76: 549-563.
- Carrete, M., Donazar, J.A y Margalida, A. 2005. Density-dependent productivity depression in Pyrenean Bearded Vultures: implications for conservation. *Ecol. Appl.* 16: 1674-1682.
- Cuervo, J.J. 2003. La selección sexual versus selección natural: el ejemplo de la cola de la golondrina. Pp. 463-469. *En:* Soler, M. (ed.). *Evolución: la Base de la Biología*. Proyecto Sur, Granada.
- Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*. John Murray, London.
- Darwin, C. 1871. *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. John Murray, London.
- Gionfrido, J.A y Best, L.B. 1995. Grit use by House Sparrows: effects of diet and grit size. *Condor* 97: 57-67.
- Gionfrido, J.A y Best, L.B. 1996. Grit-use patterns in North American birds: the influence of diet, body size and gender. *Willson Bull.* 108: 685-696.
- Grant, P.R., Grant, R.B., Markett, J.A., Keller, L.F y Petren, K. 2004. Convergent evolution of Darwin's Finches caused by introgressive hybridization and selection. *Evolution* 58: 1588-1599.
- Henry, C.S., Wells, M.L y Simon, C.M. 1999. Convergent evolution of courtship songs among cryptic species of Carnea group of Green Lacewings (Neuroptera: Chrysopidae; Chrysoperla). *Evolution* 53: 1165-1179.
- Hoffman, B. 1994. *Female Choice in Bearded Tits: Importance of Male Morphological and Behavioural Features*. Tesis de Licenciatura. Univ. Viena.
- Hogstad, O. 1988. Foraging pattern and prey selection of breeding Barmblings *Fringilla montifringilla*. *Fauna Norv. Serv. C. Cinclus* 11: 27-39.
- Hoi, H y Hoi, Ch. 2001. Intrasexual selection in Bearded Tits: Beard length – a reliable predictor for dominance rank. Pp. 121-138. *En:* Hoi, H. (ed.) *The Ecology of Reed Birds. Biosystematics and Ecology Series 18*. Austrian Acad. Sci. Press, Vienna.
- Hoi, H y Hoi-Leitner, M. 1997. An alternative route to coloniality in the Bearded Tit: females pursue extra-pair fertilizations. *Behav. Ecol.* 8: 113-119.

- Hu, F.Y., Tao, D.Y., Sacks, E., Fu, B.Y., Xu, P., Li, Y., Yang, K., MacNally, G.S., Khush, A.H., Paterson, A.H y Li, Z.K. 2003. Convergent evolution of perenniality in rice and sorghum. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 100: 4050-4054.
- Lande, R., Engen, S., Saether, B-E., Filli, F., Matthysen, E y Weimerskirch, H. 2002. Estimating density dependence from population time series using demographic theory and life-history data. *Am. Nat.* 159: 321-337.
- Lobo, J.M y Carrascal, L.M. 2003. Respuestas a viejas preguntas con nuevos datos: estudio de los patrones de distribución de la avifauna española y consecuencias para su conservación. Pp. 651-668. En: Martí, R y del Moral, J.C (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Dir. Gral. Conserv. Naturaleza SEO/Birdlife, Madrid.
- López, G. y Monrós, J. 2004. Bigotudo (*Panurus biarmicus*). Pp. 341-344. En: Madroño, A, Gonzalez, C y Atienza J.C (eds.) *Libro Rojo de las Aves de España*. Minist. Medio Ambiente-SEO/Birdlife, Madrid.
- Mares, M.A. 1976. Convergent evolution of desert rodents: multivariate analysis and zoogeographic implications. *Paleobiol.* 2: 39-63.
- Madroño, A., González, C y Atienza, J.C (eds.). 2004. *Libro Rojo de las Aves de España*. Minist. Medio Ambiente - SEO/Birdlife, Madrid.
- Möller, A.P y Pomiankowski, A. 1993. Why have birds got multiple sexual ornaments?. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 32: 167-176.
- Negro, J.J., Margalida., Hiraldo, F y Heredia, R. 1999. The function of the cosmetic coloration of bearded vultures: when art imitates life. *Anim. Behav.* 58: 14-17.
- Negro, Margalida, A., Grande, J.M., Hiraldo, F y Heredia, R. 2002. Iron oxides in the plumage of bearded vultures. Medicine or cosmetics. *Anim. Behav.* 64: 5-7.
- Peiró, I.G., Robledano, F y Esteve, M.A. 2006. The effect of age and sex on wing morphology and body size of the Bearded Tit *Panurus biarmicus* in relation to complete moult. *Ring. Migration* 23: 101-106.
- Peiró, I.G., Robledano, F y Esteve, M.A. En revisión. Population trends of the Bearded Tit (*Panurus biarmicus*) in the southernmost marginal areas of the European distribution range: importance of local environmental factors and conservation implications. *Anim. Conserv.*
- Price, J.J., Friedman, N.R y Ornlund, K.E. 2007. Song and plumage evolution in the New World Orioles (*Icterus*) show similar lability and convergence in patterns. *Evolution* 61: 850-863.
- Prum, O.R y Torres, R. 2003. Structural colouration of avian skin: convergent evolution of coherently scattering dermal collagen arrays. *J. Exp. Biol.* 206: 2409-2423.
- Rossenblum, E.B. 2006. Convergent evolution and divergent selection: lizards and white sands ecotone. *Am. Nat.* 167: 1-15.
- Romero-Pujante, M.D. 2000. *La Importancia de los Procesos de Selección Sexual y Selección Natural en el Bigotudo (Panurus biarmicus)*. Tesis Doctoral. Univ. Granada.
- Romero-Pujante, M.D., Hoi, H y Blomqvist, D. 2005. The importance of tail length for habitat use in the Bearded Tit *Panurus biarmicus*: an experimental study. *Ibis* 147: 464-470.
- Rohwer, S.A. 1975. The social significance of avian winter plumage variability. *Evolution* 29: 593-610.
- Schluter, D y Grant, P. 1984. Determinants of morphological patterns in communities of Darwin's finches. *Am. Nat.* 123: 175-196.
- Senar, J.C. 2004. *Mucho más que Plumas*. Monogr. Museo de Ciencias Naturales, 2. Barcelona.
- Senar, J.C., Camerino, M y Metcalfe, N.B 1990. Familiarity breeds tolerance: the development of social stability in flocking Siskins (*Carduelis spinus*). *Ethology* 85: 13-24.
- Senar, J.C., Camerino, M., Copete, J.L y Metcalfe, N.B. 1993. Variation in black bib of the Eurasian Siskin (*Carduelis spinus*) and its role as a reliable badge of dominance. *Auk* 110: 924-927.
- Sibley, Ch y Monroe, B.L. 1990. *Distribution and Taxonomy of Birds of the World*. Yale Univ. Press, New Haven.
- Spitzer, G. 1972. Jahreszeitliche Aspekte der Biologie der Bartmeise (*Panurus biarmicus*). *J. Ornithol.* 113: 241-275.
- Winemiller, K.O y Adite, A. 1997. Convergent evolution of weakly electric fishes from floodplain habitats in Africa and South America. *Environm. Biol. Fish.* 49: 175-186.
- Zahavi, A. 1975. Mate selection: a selection for a handicap. *J. Theor. Biol.* 53: 205-214.

Información del Autor

Ignacio García Peiró es Doctor en Biología por la Universidad de Murcia. Su Tesis Doctoral versó sobre diversos estudios de los passeriformes aplicados a la gestión del carrizal del Parque Natural de El Hondo. Ha publicado numerosos artículos sobre ecomorfología, ecología migratoria, taxonomía, selección de hábitat y ecología funcional de diversos passeriformes, fundamentalmente palustres. Actualmente sus líneas de investigación van encaminadas principalmente hacia la dinámica poblacional de Bigotudo en áreas marginales de distribución del sur de Europa, factores limitantes durante la migración en passeriformes transaharianos y funcionalidad de señales ornamentales en el Pechiazul.

Biodiversidad y evolución: el compromiso ético de nuestra especie

Andrés Moya

Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva
Universitat de València. E-mail: andres.moya@uv.es

RESUMEN

Aunque definamos la conservación biológica en el contexto de las ciencias positivas, resulta evidente, como en pocas ciencias, el impacto que la sociedad humana tiene sobre la adecuada implantación de sus conclusiones objetivas. El impacto de la sociedad humana debe entenderse en, al menos, una doble perspectiva. Por un lado la necesidad imperiosa de que las instituciones políticas sean capaces de desarrollar legislaciones apropiadas para la preservación del legado biológico. En el seno de sociedades democráticas pueden darse, o no, políticas decididamente conservacionistas. Pero es demasiado importante el tema, y este trabajo trata de dar razones al respecto, como para dejar exclusivamente en manos de la clase política el patrimonio natural. Como en muchos otros ámbitos, la situación y conservación del patrimonio natural no deja de ponernos delante las contradicciones a las que el desarrollo económico y demográfico nos ha llevado, todo ello bien aderezado por una filosofía Occidental muy proclive siempre, con independencia de su orientación ideológica, a pensar que todo lo existente no es más que un bien a ser utilizado por el hombre. Y esta otra es la segunda perspectiva, a saber: de no haber cambios profundos en la sociedad civil, esencialmente en lo relativo a la concepción de lo que debe ser la convivencia con el medio físico y biológico circundante, mientras no se perciba, en su globalidad, que nada es ya un bien de uso ilimitado, estamos llevados a presenciar en los próximos años tasas, si cabe, mas aceleradas de extinción de experimentos evolutivos irrepetibles: las especies. *eVOLUCIÓN* 2(2): 49-58 (2007).

Palabras Clave: Biodiversidad, Conservación, Extinción.

INTRODUCCIÓN

Para comprender la biodiversidad que nos rodea es preciso investigar las causas que la promueven o la destruyen. Tales causas, por otra parte, pueden ser diferentes según la escala de tiempo considerada, lo que en biología evolutiva constituye el debate entre micro- y macro-evolución. En cualquier caso ambos niveles se nutren mutuamente. Cuando estudiamos el cambio experimentado por la biodiversidad durante grandes periodos de tiempo apreciamos ciertas regularidades que pueden ser fundamentales para entender el que sufre, hasta cierto punto, la biodiversidad actual. Por otro lado, el estudio sobre escalas de tiempo menores, especialmente las actuales, permite adentrarnos con mayores posibilidades explicativas en las causas promotoras de la misma y, por extensión, a la evolución de la biodiversidad a lo largo de la historia de la vida en el planeta. Necesitamos datos sobre el pasado de la biodiversidad para tener una visión aquilatada de la biodiversidad presente. Hemos atravesado fases con profundas disminuciones de la misma y radiaciones de nuevos grupos de organismos (taxones) prácticamente minoritarios en fases previas. Podríamos extrapolar tal dinámica y sostener de antemano que la vida continuará. Pero solamente hay una pequeña salvedad a esa cuestión: ¿estaremos nosotros entre los escogidos? Nuestra especie no es una mas en la superficie del planeta, porque

tenemos una decidida capacidad de intervención sobre la naturaleza, intervención que tiene variedad de interpretaciones. Una de ellas, probablemente la más importante, es la intervención consciente. Es tal, o puede llegar a ser tal, que hasta nosotros mismos nos autointervenimos. El hombre tiene capacidad de transformar la naturaleza de una forma no imaginable hasta hace muy poco tiempo. Por lo tanto existe una decidida responsabilidad sobre qué hacer con la naturaleza, asumiendo implícitamente que corremos un riesgo de destrucción y/o auto-destrucción. La intervención consciente, racional, científica sobre la naturaleza y la biodiversidad es inevitable, lo que conlleva, como digo, una profunda dimensión ética. No podemos ser ajenos a las consecuencias que nuestras acciones sobre la biodiversidad puedan tener sobre nuestro porvenir. Nuestra intervención en la naturaleza va más allá de una simple pero fundamental acción depauperadora de la biodiversidad. Estamos transformando la vida del planeta, incluyéndonos nosotros mismos. No estamos lejos del superhombre de Nietzsche.

Pretendo desarrollar dos tipos de reflexiones. Por un lado consideraciones científicas en torno a la ciencia que subyace a la evolución de la biodiversidad del planeta, incluyendo radiaciones y extinciones de diferente tipo y las supuestas causas de las mismas, para luego ir pasando a un segundo conjunto de ellas, que culminan en la acción antrópica. Se trata de dos tipos de

reflexiones que pasan, más o menos sutilmente, del 'es' al 'debe ser', de lo que la ciencia nos dice sobre cómo ha ido cambiando el panorama biológico del planeta a cómo lo tenemos en el momento actual, y cómo nuestra especie tiene una responsabilidad ineludible si ejerce su también ineludible racionalidad sobre la naturaleza, responsabilidad que requiere políticas. Los dos primeros apartados constituyen una versión abreviada y modificada *'ex professo'* el presente artículo del capítulo 9 de la obra de Fontdevila y Moya (2003). Para el resto de apartados me he servido de diferentes publicaciones que he hecho a lo largo de los últimos quince años en diferentes revistas de pensamiento y cultura en nuestro país, y que tenían que ver con consideraciones filosóficas y éticas en torno a la biodiversidad. Para dar unidad he ido modificando, actualizando, combinando, etc., tratando de conseguir dar con un conjunto que muestre una vinculación entre ciencia y ética de la conservación de la biodiversidad.

Algunas consideraciones científicas en torno a extinciones y apariciones

La jerarquía biológica es inclusiva, de forma tal que taxones de rango superior están compuestos por taxones de rango inferior. Un género se compone de especies, y una familia de géneros. Decimos entonces que el taxón familia es más inclusivo que el de género porque una familia contiene especies, mientras que el género es más inclusivo que el taxón especie porque la contiene. Supongamos que disponemos a lo largo del tiempo geológico de información relativa a, por ejemplo, número de familias, géneros o especies de determinados organismos. Sin entrar en la importante problemática que supone la

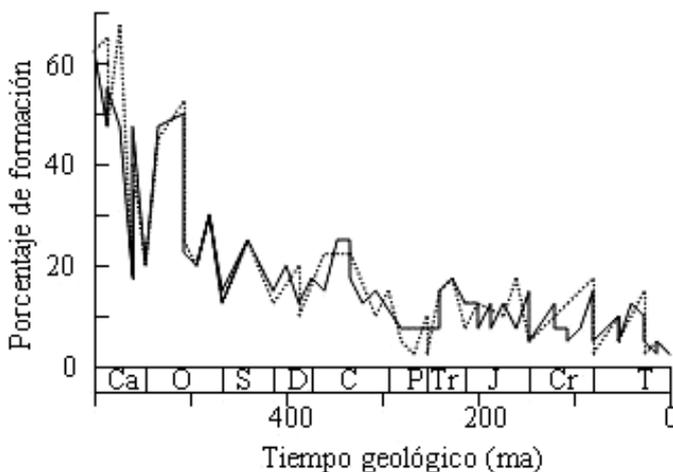


Fig. 1.- Tasas de formación de familias animales marinas durante el Fanerozoico. El eje vertical corresponde al porcentaje de familias originadas en el momento geológico correspondiente. La línea punteada corresponde a un primer estudio de Sepkoski, mientras que la negra al llevado a cabo por el mismo autor diez años más tarde, basado en una mayor cantidad de datos (Sepkoski 1993). Los símbolos de los periodos geológicos aparecen referenciados en el pie de la Fig. 3. Tomado de Fontdevila y Moya (2003).

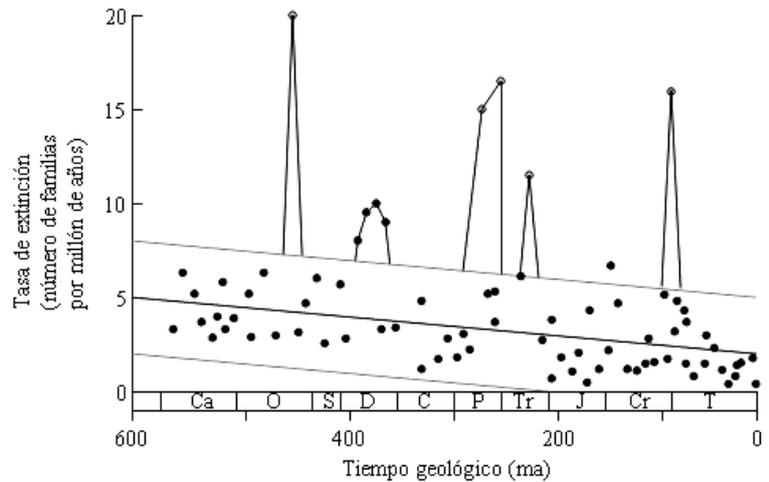


Fig. 2.- Tasas de extinción de familias animales marinas durante el Fanerozoico, según datos de Raup y Sepkoski (1982). La línea de regresión (central), que representa una extinción de fondo con carácter decreciente en el tiempo, corresponde al ajuste de los puntos de menos de ocho extinciones por millón de años. Las líneas laterales indican la desviación estándar de la regresión. Los cinco puntos sin relleno representan algunas de las reconocidas como grandes extinciones y que se desvían de forma significativa de la extinción de fondo. Los símbolos de los periodos geológicos aparecen en el pie de la Fig. 3. Tomado de Fontdevila y Moya (2003).

adscripción adecuada de un ejemplar a su taxón, el juego que tal información paleontológica nos brinda es monumental. Así, podemos evaluar, en un intervalo de tiempo dado, el número de taxones que ha aparecido, el que ha desaparecido o, simplemente, la distribución del número de taxones componentes de taxones más inclusivos (por ejemplo cuántos géneros o especies tienen determinadas familias). Veamos algunos casos concretos. La Fig. 1 muestra el porcentaje de formación de nuevas familias animales marinas durante el Fanerozoico (Sepkoski 1993). Se puede observar que ese porcentaje es mayor en el Cámbrico y en el Ordovícico que en cualquier otro momento posterior. Podríamos modelar el cambio experimentado por tales porcentajes desde el Cámbrico y estimar la tasa, decreciente por otro lado, de formación de nuevas familias.

De forma similar se puede estimar la tasa de extinción de familias. La Fig. 2 muestra un ejemplo que, en este caso, representa el número de familias de animales marinos desaparecidos por millón de años desde el Cámbrico. Sorprende dos cosas en esta figura. La primera es la pérdida decreciente de familias, menos de diez, por cada millón de años, desde el Cámbrico. Es lo que se conoce como tasa de extinción de fondo. Pero, en segundo lugar, hay episodios que se salen de estos intervalos, y que se caracterizan por números elevados de extinciones de familias de animales marinos. Destacan las cinco grandes

extinciones masivas, concretamente al final del Ordovícico, al final del Devónico, entre el Pérmico y el Triásico, al final del Triásico y entre el Cretácico y el Terciario.

Podríamos preguntarnos, entre muchas otras cosas, si existe, por ejemplo, algún tipo de relación entre las tasas de aparición y desaparición de taxones. En un estudio sobre especies pertenecientes a algunos clados (grupos de organismos relacionados por su origen común, monofilético, mas que con organismos de cualquier otro grupo) en periodos de gran diversidad, Stanley (1979) determinó las tasas de formación y extinción de las mismas. Observó que ambos estaban correlacionados, de forma que taxones con altas tasas de formación también tienen altas tasas de extinción. Comprobó, por ejemplo, que a partir de sus determinaciones sobre las tasas de formación y extinción de especies en familias de mamíferos y bivalvos que habían experimentado una gran diversidad durante el Cenozoico, una familia media de bivalvos precisaba del orden de 11 ma para doblar su número de especies, y solamente 3,15 ma en el caso de la familia media de mamíferos.

Sepkoski (1993) recopiló, como indicaba más arriba, datos paleontológicos correspondientes a series estratigráficas de más de 4.000 familias (unos 20.000 géneros) de animales marinos que abarcan más de 500 millones de años (ma) del Fanerozoico. Constituye unos de los registros

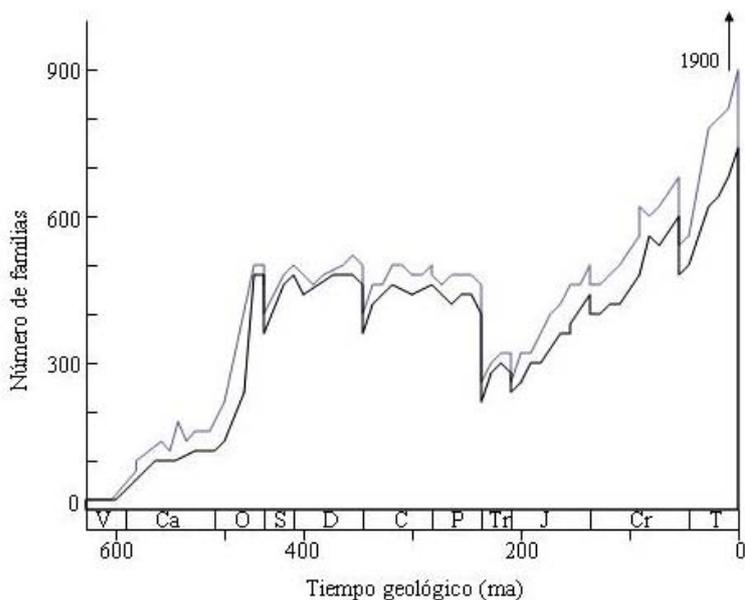


Fig. 3.- Diversidad taxonómica de familias marinas durante el Fanerozoico. La línea superior hace referencia a la distribución del número total de familias, mientras que la inferior aquellas de las que se dispone de un registro fósil sólido. Por lo tanto, el área entre ambas líneas hace referencia al registro fósil poco o nada preservado. 1900 y la flecha quiere indicar el número aproximado de familias actuales, incluyendo aquellas que difícilmente se preservan como fósiles. Los símbolos del eje de las ordenadas corresponden a los siguientes periodos geológicos: V, Vendiano; Ca, Cámbrico; O, Ordovícico; S, Silúrico; D, Devónico; C, Carbonífero; P, Pérmico; Tr, Triásico; J, Jurásico; Cr, Cretácico; T, Terciario. Tomado de Fontdevila y Moya (2003).

más completos, obtenidos normalmente a partir de la información de conchas y esqueletos fósiles. Como puede apreciarse en la Fig. 3, aparece un rápido incremento del número de familias al principio del Cámbrico, coincidiendo con la aparición de la mayor parte de los filums animales. Después del Cámbrico se observa un patrón de crecimiento con una fase constante en el Paleozoico, aunque con importantes decrecimientos, fundamentalmente cerca o al final del Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triásico y Cretácico, para finalizar con un rápido crecimiento a través del Mesozoico y Cenozoico, alcanzando un máximo en el Plioceno y el Pleistoceno. Lo que apreciamos, a pesar del registro más o menos sinuoso, es un incremento en el número de familias marinas, lo que a su vez viene afectado por la aparición o desaparición de las mismas que he tratado de mostrar en las Fig. 1 y 2. La combinación de ambas a lo largo del tiempo sería responsable del perfil de familias presentes. Pero lo mismo podría decirse de otros grupos de organismos, concretamente terrestres, tanto registro de fauna como de flora. Sabemos, por ejemplo, que la diversidad de plantas vasculares ha crecido moderadamente desde el Carbonífero al Cretácico Medio, tras lo cual se observa un crecimiento rapidísimo que se corresponde con la diversificación de las angiospermas. Lo mismo ocurre con los insectos, que muestran un incremento sistemático de su biodiversidad desde el Pérmico, probablemente como consecuencia de lo poco proclives a la extinción que son las familias de los mismos. Por último tenemos los vertebrados terrestres, con un patrón relativamente similar al de las plantas. Durante el Terciario asistimos a un aumento notable de la diversidad de aves y mamíferos.

Un objetivo importante de la biología evolutiva cuando consideramos escalas geológicas, consiste en describir y explicar los patrones de cambio de la biodiversidad, concretamente el origen, la radiación y la extinción de los taxones. Factores como las interacciones a largo plazo entre las especies, los cambios en el clima y el nivel del mar, la distribución de los continentes, los impactos de objetos extraterrestres, etc., pueden ayudarnos a explicar las radiaciones evolutivas y las extinciones. Se ha tratado de determinar el carácter selectivo o no de las extinciones, concentradas en algunos taxones y, por lo tanto, asociables a determinados tipos de factores que las promueven. En relación con la capacidad adaptativa diferencial de los taxones para sobrevivir, ya he indicado (Fig. 2) la disminución progresiva de la tasa de extinción de la fauna marina en las extinciones de fondo. Se puede interpretar tal dato simplemente como consecuencia de un aumento de la diversidad de especies por familia, pero también cabe interpretarlo como consecuencia de una capacidad adaptativa creciente. Pero no disponemos

TABLA 1. PORCENTAJE DE FAMILIAS, GÉNEROS Y ESPECIES DE INVERTEBRADOS MARINOS QUE SE EXTINGUIERON DURANTE LA CINCO EXTINCCIONES EN MASA (EN CURSIVA) Y OTRAS DE MENOR ENVERGADURA DURANTE EL FANEROZOICO. Los porcentajes correspondientes a familias y géneros se han obtenido directamente de los datos de fósiles, mientras que el de especies es una media, con su error estándar, del número de especies extintas por género.

Extinción	Edad (en ma)	Familias (%)	Géneros (%)	Especies (%)
Eoceno tardío	35,4	-	15	35 ± 8
<i>Final del Cretácico</i>	65,0	16	47	76 ± 5
Principio del Cretácico tardío	90,4	-	26	53 ± 7
Final del Jurásico	145,6	-	21	45 ± 7
Jurásico temprano	187,0	-	26	53 ± 7
<i>Final del Triásico</i>	208,0	22	53	80 ± 4
<i>Final del Pérmico</i>	245,0	51	82	95 ± 2
<i>Devónico tardío</i>	367,0	22	57	83 ± 4
<i>Final del Ordovícico</i>	439,0	26	60	85 ± 3

de una teoría selectiva que justifique la creciente resistencia a las extinciones en respuesta a cambios ambientales, impredecibles a largo plazo.

Si ya resulta difícil que la adaptación sea incapaz de proteger a las especies de cambios ambientales durante las extinciones de fondo, mucho menos cuando estamos en periodos de cambios ambientales mayores. Tales tipos de extinciones masivas han cortado de plano, por ejemplo, muchas tendencias evolutivas, así como iniciado otras totalmente imprevisibles según los registros previos. El reemplazamiento de los dinosaurios por los mamíferos no podía ser previsible.

Dada la espectacularidad de las extinciones masivas, los científicos han tratado de estudiar los factores puntuales promotores de las mismas. La Tabla 1 recoge algunos datos sobre las cinco grandes extinciones masivas mencionadas anteriormente y otras extinciones de menor calibre, pero notorias en cualquier caso. Obsérvese el espectacular caso de la extinción del final del Pérmico, donde desaparecen el 50% de las familias, el 82% de los géneros y del 95 % de las especies marinas. Le sigue en magnitud la de final del Ordovícico. La última gran extinción corresponde al final del Cretácico, también conocida como suceso K-T (en el límite entre el Cretácico y el Terciario), con efectos importantes en comunidades marinas, plantas terrestres y vertebrados. En ella se dio la extinción de los dinosaurios.

Las causas de las extinciones masivas

La mayor extinción masiva se produjo en la transición Pérmico-Triásico (P-Tr) y supuso la desaparición de un 95 % de las especies (Tabla 1), haciendo desaparecer los trilobites y una gran cantidad de braquiópodos articulados que nunca más recuperaron su importancia en distribución y diversidad. Los insectos, que nunca sufrieron otra extinción masiva, fueron diezmos (desaparecieron 8 de 27 órdenes) y se perdieron el 70% de géneros de invertebrados marinos. Sin embargo, en estos, la extinción afectó diferencialmente a los grupos, extinguiendo el 35 % de los géneros de amplia distribución y el 97 % de los restringidos a las zonas costeras, siguiendo un patrón parecido al de las extinciones de fondo.

Las causas de esta extinción están sin aclarar, pero existe una razonable explicación basada en la conjunción de varios factores. Veamos tres de ellos. En primer lugar, la reunión de los continentes en una sola masa de tierra (Pangea) que se produjo en el Pérmico y duró unos 10 ma, proporcionó el escenario propicio para cambios sustanciales en el clima, el nivel del mar y la circulación oceánica. Debido al efecto continental del Pangea, el clima se hizo estacional extremo, generando un periodo de aridez y calentamiento global, aunque existen también evidencias de una amplia glaciación continental a finales del Pérmico. Por otra parte está probado que el nivel del mar sufrió una regresión gradual durante el Pérmico medio, que se aceleró a finales del mismo hasta un máximo de 250 m, para volver a

alcanzar rápidamente el nivel original a principios del Triásico. Esto supuso una disminución de la superficie continental cubierta por el mar y la consiguiente pérdida masiva de los hábitats bentónicos costeros. La muerte de los organismos marinos puede haberse producido también por anoxia. El Pangea destruyó la circulación oceánica que permite la oxigenación de las aguas marinas tanto en superficie como en profundidad. Los detritus planctónicos acumulados en los fondos se descomponen utilizando oxígeno, creando un ambiente anóxico letal para los organismos acuáticos.

Otro factor probable de extinción son las grandes erupciones volcánicas. La presencia de una extensa masa basáltica (*trap* en inglés) situada en el borde noroccidental de la placa siberiana es el testimonio de una gran erupción magmática continuada (casi de 1 ma) que se produjo hace unos 250 ma. Se conocen muchos episodios eruptivos de este tipo, distribuidos por el planeta (Fig. 4), y su importancia como promotores de catástrofes climáticas es cada vez más apreciada. En el caso del *trap* siberiano, la emisión de enormes cantidades de aerosoles como SO_2 pudieron absorber grandes cantidades de radiación solar y generar un corto "invierno". Sin embargo, el efecto a largo plazo habría sido el calentamiento global debido al efecto invernadero producido por el CO_2 liberado por las lavas basálticas. A las emisiones de CO_2 procedentes de las lavas podría haberse agregado la oxidación del carbono orgánico (hidrocarburos, petróleo, carbón) depositado en los fondos marinos cuando la regresión los expuso al aire, lo cual habría multiplicado el efecto invernadero. Existen otros efectos no menos importantes capaces de matar a los seres vivos, entre ellos la formación de partículas en forma de pequeñas gotas en las que el SO_2 se combina con el agua y forma ácido sulfúrico que permanece en la atmósfera mucho más tiempo que las cenizas volcánicas, absorbe las radiaciones generando un efecto invernadero, destruye la capa de ozono y se precipita finalmente en forma de lluvia ácida. La acumulación de estos productos de la actividad volcánica en las aguas marinas puede matar los organismos planctónicos que extraen el CO_2 del agua y del aire para formar sus esqueletos calizos que se acumulan en los sedimentos calizos de los fondos marinos. Este proceso se denomina la "bomba biológica" y deposita allí la mayoría de carbono del planeta. Si estos organismos mueren, el carbono no se sedimenta y se acumula en forma de CO_2 , calculándose que la interrupción de la bomba biológica durante 25 años puede doblar la cantidad de CO_2 en la atmósfera. Esta acumulación amplifica la de las emisiones volcánicas, generando más efecto invernadero y extinciones.

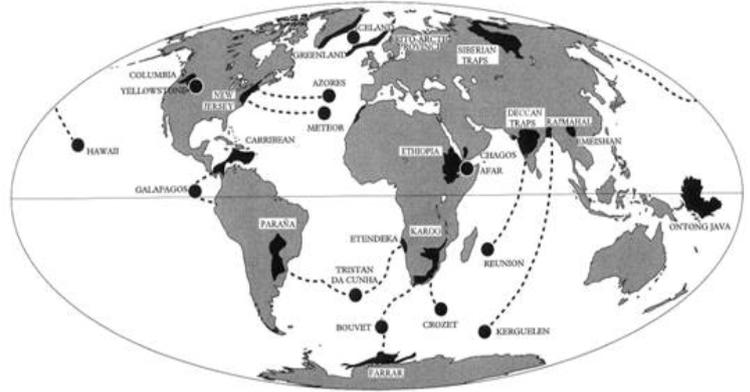


Fig. 4. Cartografía de las erupciones basálticas (*traps*) en el planeta. La formación de los actuales puntos calientes volcánicos (círculos negros) podrían ser los causantes del origen de los *traps*. Tomado de Fontdevila y Moya (2003).

Los defensores de la hipótesis del vulcanismo proponen que la mayoría de las extinciones masivas están asociadas con erupciones tipo *trap*. Así, la extinción K-T se ha relacionado con los *traps* de Deccan, una amplia región de la India, cubierta por lavas basálticas de mas de 1.500 m de profundidad, datadas de hace 65 ma, exactamente en la transición K-T. Pero también se atribuye a los impactos de meteoritos efectos perversos sobre la biodiversidad de la citada transición, concretamente el impacto de un meteorito de unos 10 km de diámetro que originó un cráter de 150 km en el noroeste de Yucatán (México).

El descubrimiento en 1980 de que en el estrato de la transición K-T existían unas concentraciones excesivamente elevadas de iridio, un mineral abundante en las rocas de meteoritos, dio pie a la hipótesis de que hace 65 ma se produjo un impacto de un meteorito que proyectó grandes cantidades de materiales a la atmósfera generando cambios profundos en el clima y en la composición atmosférica y oceánica, conducentes a la extinción masiva. Finalmente, existen fuertes evidencias de que el impacto generó una enorme ola marina o tsunami de unos 4 km de alto. Este cataclismo podría haberse producido mientras las emisiones de CO_2 , de cenizas y de SO_2 de los *traps* del Deccan y, también, una disminución del nivel del mar, llevaban ya tiempo (cientos de miles de años) deteriorando el ambiente. Por tanto, la extinción masiva del K-T pudiera ser el resultado de una conjunción desafortunada de tres eventos catástrofes: las erupciones basálticas, el descenso del mar y, finalmente, un impacto de meteorito.

La tercera extinción masiva y nuestra devastadora presencia: HIPPO

Algunos autores proponen que las extinciones masivas presentan una periodicidad de unos 26 millones de años. Esto implica reconocer un gran número de extinciones masivas en el registro, aunque la datación de muchas de ellas está en continua revisión. Las causas de esta periodicidad se han buscado en ciclos astronómicos que provocan la incursión de grupos de cometas en nuestro sistema solar que impactarían en los planetas. Esto podría deberse a una estrella acompañante que orbita alrededor del sol, denominada Némesis, que no ha podido ser detectada, o como consecuencia del movimiento del sistema solar que periódicamente (cada 26-36 ma) lo transporta a un plano galáctico donde la densidad de materia cósmica (gases y polvo) es mayor de lo normal. Estas “mareas” galácticas incrementarían el flujo de cometas hacia el interior del sistema solar y aumentaría la probabilidad de impacto. Esta hipótesis, denominada de Shiva, predice que el próximo máximo en el presente ciclo es el momento actual.

Independientemente de si los fenómenos de Némesis o Shiva son reales, existe el convencimiento por una gran mayoría de evolucionistas de que actualmente estamos presenciando la tercera gran extinción masiva. Esta sospecha se basa en la alta tasa de extinciones producidas en los últimos 10 a 100.000 años, que coinciden con épocas de glaciaciones. Hace unos 6 ma que las masas continentales alcanzaron ya un aspecto parecido al actual, lo cual tuvo consecuencias muy importantes para el clima. Especialmente la ubicación del aislado continente de la Antártida en el polo sur inició una serie de casquetes polares con acumulaciones de hielo de varios kilómetros que enfriaron el clima entrando en la edad el hielo. Durante todo este periodo se sucedieron episodios alternantes de enfriamiento y posterior suavización del clima que originaron muchos episodios de extinciones masivas. Uno de ellos ocurrió hace unos 11.000 años cuando en un periodo entre 1.000 y 2.000 años desaparecieron dos tercios de los grandes mamíferos del continente americano. En Australia la extinción se inició mucho antes, hace 20.000-30.000 años, dejando únicamente cuatro especies de grandes mamíferos.

Existe una gran polémica sobre las causas de estas extinciones recientes, pero muchos las atribuyen a la depredación de la llegada de los humanos a dichos continentes, que coincide precisamente con esas fechas. Esta llegada fue muy tardía y rápida, a diferencia de la invasión del continente eurasiático donde hubo más tiempo para que los cazadores y las presas se adaptaran a una coevolución y una cohabitación. Esta explicación de superdepredación se ha extendido a la situación actual. En los últimos

400 años se ha podido documentar con cierta aproximación las tasas de extinción en nuestro planeta (Tabla 2) y las cifras son aterradoras. En Norteamérica, donde existen datos fiables, sabemos que de los 50 millones de bisontes y los 40 millones de antílopes *proghorns* sólo quedaban en 1900 menos de 20.000 antílopes y de 500 bisontes. Semejante depauperación se ha producido también en organismos como los lobos y los osos. Otros muchos vertebrados como el *passanger pigeon*, el condor de California y el pavo salvaje han dejado de existir. En las islas oceánicas el panorama es tanto o más desolador. En Hawai la colonización humana data de los años 300-400 dC y la invasión europea de 1778. Ambas colonizaciones alteraron el hábitat y son responsables de abundantes extinciones. Se estima que aproximadamente el 50 % de las aves nativas se extinguieron inmediatamente de la primera llegada de los polinesios, ya sea debido a su uso como alimentación o adorno, o debido a la profunda deforestación agrícola. En la mayoría de estudios arqueológicos y paleontológicos de otras islas el panorama es parecido. La llegada de colonos europeos ha agravado la situación y el número de extinciones ha aumentado. Estos datos referidos a las aves pueden extrapolarse fácilmente a toda clase de especies, aunque no existan registros de ellas. Podemos hacer una comparación entre la tasa de extinción de fondo durante los 500 millones de registro fósil y la tasa actual de extinción. Según cálculos recientes la primera tasa es de aproximadamente una especie cada cinco años (contando las extinciones masivas) y sólo la tasa actual de extinción en Brasil es de 4 especies por día. Esta tasa aumenta progresivamente y podría ser de varias especies por hora muy pronto. Esto indicaría que estamos presenciando una extinción masiva.

Wilson (2002) ejemplifica en las islas de Hawai (ya he comentado algo mas arriba al respecto) los cinco factores que, a juicio de los biólogos de la conservación, son responsables de la decadencia de las especies. Se trata de HIPPO, letras iniciales en inglés de los siguiente cinco factores:

a) Destrucción de hábitat (*Habitat destruction*). Los bosques de Hawai, por ejemplo, han sido talados y desbrozados en sus tres cuartas partes.

b) Especies invasoras (*Invasive species*). Gran cantidad de especies hawaianas autóctonas han sido desplazadas por pocas especies introducidas.

c) Contaminación (*Pollution*). Así están buena parte de las aguas dulces, las marinas y el suelo de las islas, lo que afecta o elimina especies.

d) Población (*Population*). El incremento de la población conlleva efecto incrementados del resto de factores HIPPO.

TABLA 2. RESUMEN DE LAS EXTINCCIONES DE LOS ÚLTIMOS 400 AÑOS.

	<i>Organismos</i>	<i>Número de especies extintas (%)</i>	<i>Número de especies amenazadas (%)</i>
Animales	Moluscos	191 (0,2)	354 (0,4)
	Crustaceos	4 (0,01)	126 (3)
	Insectos	61 (0,005)	873 (0,07)
	Vertebrados	229 (0,5)	2.212 (5)
	Peces	29 (0,1)	452 (2)
	Anfibios	2 (0,07)	59 (2)
	Reptiles	23 (0,4)	167 (3)
	Aves	116 (1)	1.029 (11)
	Mamíferos	59 (1)	59 (11)
	<i>Total</i>	485 (0,05)	3.565 (0,3)
Plantas	Gimnospermas	2 (0,3)	242 (32)
	Dicotiledóneas	120 (0,2)	17.474 (9)
	Monocotiledóneas	462 (0,2)	4.421 (9)
	<i>Total</i>	584 (0,3)	22.137 (9)

e) **Sobrerrecolección (*Overharvesting*)**. Muchas especies de aves, por ejemplo, fueron cazadas en cantidad tal que se hicieron raras y luego se extinguieron.

El panorama de HIPPO se puede generalizar. Sin lugar a dudas, la causa de esta extinción masiva es la actividad humana, en sus diversas facetas. La deforestación es quizá la más importante (H). En las selvas tropicales la deforestación oscila entre 1 y 2% anual, con lo que en menos de un siglo habrían desaparecido dichos bosques. El aumento de la población mundial es explosivo (P), incluso con los programas de control de natalidad actuales la población podría ser de 11 mil millones muy pronto. Actualmente la humanidad está utilizando un 30% de la producción orgánica del planeta, directa (alimentos o combustible) o indirectamente (deforestación, vegetación no utilizable). Si el crecimiento demográfico continúa podría llegarse al 80%, lo cual resultaría insostenible. La superexplotación de la biosfera debido a una mala gestión de recursos conduce a hambrunas y, por lo tanto, al incremento alarmante de extinciones, bien por su consumo directo (O), bien por su reemplazamiento (I). Pero, además, las excesivas emisiones de gases (P), producto de nuestro incontrolado desarrollo industrial y de la deforestación por el fuego, están generando un proceso de calentamiento global análogo al de las grandes extinciones. La cantidad de CO₂ en la atmósfera actual (0,034 % aproximadamente), en continuo crecimiento, es mayor que el de los periodos interglaciales del Pleistoceno (0,028% aproximadamente). Otras emisiones provocan deterioros, en muchos casos de consecuencias imprevisibles hasta que se detectan. Tales son

las emisiones de clorofluorocarbonos (CFC) que destruyen la capa de ozono aumentando la radiación UV, de consecuencias mutágenas detrimentales en los seres vivos.

Del ‘ser’ al ‘debe’ en la conservación de la biodiversidad

Dice el diccionario sobre el término “conservar” que se trata de mantener una cosa o cuidar de su permanencia. De su aplicación a las especies deberíamos decir que conservar una especie es mantenerla o cuidar de su existencia. Lo primero que advertimos en la definición del término es la acción humana sobre las especies biológicas, una acción directamente encaminada a mantenerlas o cuidarlas. Pero la acción supone, en cualquier caso, un marco de actuaciones muy amplio que, inexcusablemente, empiezan por un estudio sobre su estado actual y, en cierto modo, una evaluación del riesgo de extinción en las circunstancias biológicas y ambientales bajo las que ha existido antes de nuestra presencia y/o acción, así como el riesgo añadido que supone la acción antrópica. Pero la acción antrópica en biodiversidad comporta muchos factores, como vamos a ver enseguida.

A tenor de la definición, la ciencia de la conservación en biología implica, ante todo, un compromiso de actuación sobre la diversidad biológica, que no se limita, por lo tanto, a la tarea inicial de examinar objetivamente la situación de tal diversidad, sino que este es siempre un paso previo para poder desarrollar luego la estrategia de preservación mas adecuada. No es privilegio exclusivo de la biología de la conservación, como ciencia natural, el aunar tan desde el principio teoría y práctica. Hay otras, pero en pocas se

contempla tan claramente desde su propia definición la necesidad de que su investigación está encaminada a una tarea de actuación, del 'es' al 'debe'. Y es que la ciencia en cuestión surge con urgencia, como una especie de necesidad apremiante por parte de la comunidad de científicos de las ciencias naturales de responder de una manera multidisciplinar a los graves problemas de pérdida de diversidad biológica que sufre el planeta (Wilson 2002), especialmente durante los últimos cien años. Muchos científicos, zoólogos, botánicos, ecólogos, genéticos, etc., han puesto de manifiesto, desde sus respectivos campos, y con las metodologías que le son propias, la problemática HIPPO. El argumento tiene dos pasos:

a) El estudio de determinadas regiones pone de manifiesto la pérdida sistemática de diversidad por HIPPO, y

b) Si esta acción persiste y se generaliza en todo el planeta, las consecuencias sobre la biodiversidad serán nefastas.

El primer argumento es típicamente científico, representa el estado de la cuestión, el 'es' concreto o particular. El segundo, una extrapolación, podríamos denominarlo el argumento del 'debe'. En efecto, de seguir con la misma tónica que (a), de generalizarse los factores HIPPO a todo el planeta, podrían devenir pérdidas masivas de biodiversidad. El segundo argumento es una posibilidad, un 'podría ser'. Nadie 'a priori' desea tal pérdida, pero caben dos actitudes frente a ella. La primera es tener la convicción de que el proceso va a ser irreversible y la segunda nos habla de la confianza que nuestra especie tiene en sí misma para poder hacer frente a cualquier tipo de adversidad, siendo la pérdida de biodiversidad una de las mayores en el momento actual. ¿En qué momento preciso consideramos que se ha llegado a la irreversibilidad en la pérdida masiva de biodiversidad? Porque dependiendo de la respuesta podemos encontrar científicos que afirman que hay que sugerir políticas activas de actuación, y otros que sostienen que tal cosa no es necesaria.

Uso y abuso de la Naturaleza

Durante los últimos treinta años se ha venido estudiando con especial interés el efecto que la especie humana viene ejerciendo sobre el resto de especies como consecuencia de sus múltiples tareas industriales, agrícolas, ganaderas o de mera implantación urbanística. La tesis históricamente más extendida, que subyace medularmente en la mayor parte de las grandes corrientes del pensamiento occidental, lo resume espléndidamente Horkheimer (1973):

"La indiferencia moderna frente a la naturaleza constituye en verdad tan sólo una variante de la actitud pragmática, que es típica

de la civilización occidental en su totalidad." (pág. 113).

O más adelante:

"A pesar de todo, la naturaleza es concebida hoy día más que nunca como mera herramienta del hombre. La naturaleza es objeto de explotación total, que no conoce límites, puesto que no conoce ninguna meta instituida por la razón. El imperialismo sin límites del hombre no encuentra jamás satisfacción. El dominio de la especie humana sobre la tierra no tiene parangón en aquellas épocas de la historia natural en que otras especies animales representaban las formas más altas de la evolución orgánica. Sus deseos encontraban su límite en las necesidades de su existencia física. Es cierto que la codicia del hombre, su deseo de extender su poder hacia dos infinitudes, el microcosmos y el macrocosmos, no surge inmediatamente de su propia naturaleza, sino de la estructura de la sociedad." (pág. 118)

Los mismos estudios sobre la tasa de reducción del número de especies con la entrada en juego de la especie humana, muestran con notoria preocupación que nuestra acción se añade negativamente a la tasa de recambio de especies, disminuyéndola (Ehrlich y Ehrlich 1982). Tal como se cita en el libro editado por Parker (1982) sobre la clasificación de las especies vivientes, hay en la actualidad clasificadas alrededor de 1.4 millones. De ellas, aproximadamente, 750.000 son insectos, 41.000 vertebrados y 250.000 plantas (plantas vasculares y briofitas). A esta información, no obstante, hay que añadir que:

a) el número completo actual se estima esté por los 5 millones (Wilson 1988), y

b) no hay duda de que la extinción procede ahora a un ritmo mucho mayor que antes de 1800 (Wilson 1988).

Quizá por su heterogeneidad, no resulta claro el poder determinar todas y cada una de las razones que han llevado a particulares, grupos políticos, sociedades científicas, etc. a poner de manifiesto y denunciar públicamente el proceso de degradación a que estamos sometiendo el planeta. El pragmatismo que nos caracteriza, que puede estar relacionado con el instinto de supervivencia de la especie, igual que funcionó antaño, y funciona aún, para utilizar los bienes naturales y ver en ellos algo de lo que se dispone por derecho, antes divino, y ahora propio, también puede utilizarse para poner de manifiesto que una acción sistemática de expolio o saturación poblacional nos puede llevar a difíciles situaciones de supervivencia o, cuanto menos, de bienestar generalizado. Se trata, en efecto, de la que antes mencioné como capacidad de nuestra especie para poder reaccionar positivamente frente a situaciones que le son adversas, aunque la solución suponga, primero, una fuerte inversión

en el conocimiento más profundo de aquello que queremos y podemos utilizar y, segundo, la disminución de nuestra acción expropiativa sobre la naturaleza. No hay que irse a la selva amazónica para poder ver los desaguisados a los que, quizá inconscientemente en el pasado, pero con plena conciencia colectiva en el presente, hemos sometido a nuestro ambiente más cercano. Ya no se trata solo del carácter exótico de algunas especies que se conservan en los Jardines Botánicos, y que vienen de lugares lejanos, sino en esas otras que eran propias de nuestro entorno y que se han convertido en raras y amenazadas. Ante tal perspectiva un jardín botánico, y cualquier otro centro de protección o conservación de la diversidad biológica, pasa a ser un centro de denuncia pública de la acción abusiva humana sobre la naturaleza.

Tres aproximaciones a la conservación

Aunque se reflexiona mucho sobre ello, el pragmatismo no puede ser la filosofía que presida nuestra relación con el entorno físico y biológico. Tomemos, por ejemplo, el caso de la preservación de las especies. Dos cuestiones son importantes en relación con ello: ¿Qué razones pueden darse para una política de preservación de especies?, y, en caso de haber dado una respuesta satisfactoria, o razonable, a esta primera cuestión, ¿qué hacer si los recursos financieros y humanos son insuficientes para la preservación de las mismas? A estas dos cuestiones trata de responder Norton (1987). Norton resume que los argumentos en el presente se dividen en dos grandes categorías:

- a) aquellos que están basados en el valor económico de las especies salvajes para la especie humana, y
- b) aquellos otros que consideran a las especies con un valor intrínseco, con independencia de cualquier valor real o potencial para la especie humana.

Veamos los dos. Bajo el criterio economicista habría que determinar cuál es el valor económico de una especie a preservar. Es muy posible que todas las especies tengan un valor económico, e incluso que el valor económico de las especies raras esté por encima del valor económico medio de las mismas. Pero no se tienen medios suficientes como para poder abordar tamaño obra de valoración antes de tomar una decisión política sobre su preservación y, en consecuencia, muchas especies serán infravaloradas según el criterio economicista y, probablemente, no protegidas adecuadamente.

Los argumentos basados en el valor intrínseco de las especies, o visión no antropocéntrica, presentan, a juicio de Norton, problemas de más difícil solución. Tales argumentos asocian derechos a las especies, pero adolecen del problema de concreción política o plausibilidad.

¿Cómo priorizar la preservación de especies en una supuesta toma de decisión política basándonos en el criterio genérico de que tienen derechos?

La tercera vía que Norton propone la denomina la de los valores transformativos. A su juicio un cambio en el sistema de valores humanos, como consecuencia de nuestra experiencia de la naturaleza, es decir la experiencia única con las especies y los ecosistemas, es la única vía posible para incorporar el tema de la diversidad natural en las tomas de decisión política. Bajo tales transformaciones de los sistemas de valores humanos se puede pensar, a largo plazo, políticas de conservación. Hoy por hoy, no obstante, esta tesis de los valores transformativos es tan difícil políticamente como la de adoptar medidas proteccionistas según el argumento del derecho intrínseco de las especies a no desaparecer. Aún estamos en el punto, y los estaremos durante tiempo, de que se tomen decisiones hora favorables hora desfavorables, a la preservación de parques naturales, de espacios verdes en áreas urbanas o de la variedad natural, según criterios particulares de los que detentan el poder. En una mirada a vista de pájaro podemos decir que la presión social mundial al respecto no es muy fuerte, aunque la cosa cambia a marchas forzadas. Solo un cambio en los sistemas de valoración y relación no abusiva con la naturaleza forzaría medidas políticas donde se incorporarían drásticas resoluciones favorables a la conservación de la biodiversidad.

Caminando hacia el superhombre

Hace unos meses me comentó un científico amigo mío, la sorpresa que le produjo el que su hijo adolescente le manifestara abiertamente que no iba a dedicarse a la ciencia. Nada de especial tiene, ciertamente, que un hijo tuyo decida orientar su vida profesional por terrenos nuevos o no explorados por otro miembro familiar de generaciones precedentes. Lo que tanto a mi amigo como a mi nos sorprende fueron los motivos que le habían llevado a tal conclusión, motivos que iban mucho más allá de la simple cuestión de “no me gusta lo que hace mi padre”. Le dijo: “Mira papá, es tal el cúmulo de conocimientos que la ciencia ha conseguido, que los científicos no tenéis tiempo material para asimilarlos y, ni mucho menos, para pensar en ellos. Yo me quiero dedicar a pensar”.

Probablemente tal respuesta encierra un importante y positivo mensaje, a saber: que el conocimiento científico ha devenido tan amplio durante los últimos 50 años, por dar una cifra, que somos incapaces al día de hoy de hacer una evaluación racional de sus múltiples consecuencias. ¿Bajo qué prisma vamos a poder enfrentar y racionalizar el viejo sueño, casi realizado, de los pensadores del pasado de que el

hombre es, realmente, dueño de la naturaleza, y también de la suya propia?, ¿qué compromisos o de qué valores nos hemos de nutrir para poder tomar las riendas de nuestro destino?, ¿qué pensamiento hemos de desarrollar y enseñar que pueda asimilar la ciencia en su totalidad?, ¿por qué habría que hacerlo?

Las ciencias de la computación y la biología están contribuyendo de forma decisiva a una reconsideración efectiva del puesto del hombre en el cosmos, parafraseando a Scheler. La revolución biotecnológica de nuestros días procede, en la reciente genealogía de la ciencia, de un singular descubrimiento: el de la estructura en doble hélice del ADN. Los grandes descubrimientos catapultan las posibilidades de la ciencia hacia realidades difícilmente imaginables. La realidad es producto de la ciencia, sería la máxima, por si alguien dudaba, en este país propenso al “que inventen otros”, sobre el poderosísimo valor intrínseco del hallazgo fundamental. Casi sin solución de continuidad hemos pasado de la resolución de la estructura del ADN, a la manipulación del material genético (la ingeniería genética), a la elucidación de la composición genética de los organismos (el genoma), y ahora estamos implicados en el desarrollo de tecnologías que nos permitan evaluar cómo funcionan, en su totalidad, los genomas, porque empezamos a apreciar, que los organismos son totalidades, pero totalidades que se pueden estudiar de una forma no metafórica. El desarrollo ha sido tan espectacular que produce vértigo pensar lo que tenemos entre manos y, probablemente, lo que podamos tener en un futuro más o menos lejano. Si ya cuesta admitir que el genoma de nuestra especie es un poco quimérico, y que esta promiscuidad “contra natura” de disponer de genes y material genético procedente de múltiples fuentes, es más abundante de lo que en principio estábamos dispuestos a admitir, conviene que vayamos reflexionando sobre las nuevas quimeras, las que construimos, simplemente por ser quien somos, y haciéndome eco, de nuevo, de ese principio de que la ciencia es la realidad. Se ha escrito y tergiversado tanto a Nietzsche, probablemente el filósofo más leído en la actualidad, que bien valdría la pena reivindicar la búsqueda original de su pensamiento, si es que ello es posible dado el carácter aforístico y antisistema de su obra filosófica.

Por adelantar algo sobre los motivos que justifican el interés por pensar la ciencia del hijo de mi colega y, en general, la necesidad de pensar sobre la realidad que con ella estamos construyendo, bien valdría recordar que alrededor de la obra del filósofo alemán, con antecedentes y seguidores bien conocidos, muchos de ellos dentro de la propia biología, se ha ido perreando una filosofía del superhombre, del hombre mucho más quimérico de lo que nuestro genoma nos dice que somos, que va a constituir,

si no constituye ya, un foro de discusión ética y política del futuro inmediato. Habrá que aprender mucho más que ciencia.

REFERENCIAS

- Ehrlich, P, y Ehrlich, A. 1982. *Extinction. The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Victor Gollancz Ltd. London.
- Fontdevila, A., y Moya, A. 2003. *Evolución: Origen, Adaptación y Divergencia de las Especies*. Ed. Síntesis, Madrid.
- Futuyma, D. 1998. *Evolutionary Biology*. Sinauer Assoc., Sunderland. MA.
- Horkheimer, M. 1973. *Crítica de la Razón Instrumental*. Ed. Sur, Buenos Aires.
- Norton, B.G. 1987. *Why Preserve Natural Variety?* Princeton Univ. Press, New Jersey.
- Parker, S.P. (Ed.) 1982. *Synopsis and Classification of Living Organisms*. McGraw-Hill, New York.
- Raup, D.M., y Sepkoski, J.J. Jr. 1982. Mass extinction in the marine fossil record. *Science* 215: 1501-1503.
- Sepkoski, J.J. Jr. (1993). Ten years in the library: new data confirm paleontological patterns. *Paleobiology* 19: 43-51.
- Stanley, S.M. 1979. *Macroevolution: Pattern and Process*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Wilson, E.O. 1988. The current state of biological diversity. Pp. 3-18. *En: Wilson, E.O. (ed.) Biodiversity*. National Academic Press, Washington.
- Wilson, E.O. 2002. *El Futuro de la Vida*. Galaxia Gutenberg y Círculo de Lectores,. Barcelona.

Información del Autor

Andrés Moya, Dr. en Biología y en Filosofía, es Catedrático de Genética en la Universitat de València y Director del Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva de esa misma Universidad, del que fue su promotor. También lo ha sido del Centro de Astrobiología (INTA-CSIC) y del Centro Superior de Investigación en Salud Pública (CSISP) del Gobierno Valenciano. Su actividad científica e intelectual se sitúa en los campos de la Genética, la Evolución y la Filosofía. La evolución experimental y la genómica evolutiva son las áreas donde ha hecho contribuciones científicas más significativas. Ha realizado una amplia labor de divulgación y reflexión sobre la ciencia y publicado varios libros, siendo la teoría evolutiva y el alcance del pensamiento evolutivo el núcleo central de toda esa actividad.

La enfermedad cardiovascular y la evolución darwiniana

José Enrique Campillo Álvarez

Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad de Extremadura. Badajoz.
E-mail: campillo@unex.es

La enfermedad cardiovascular

La enfermedad cardiovascular es la principal causa de mortalidad en las sociedades desarrolladas. Sus expresiones más frecuentes son el infarto de miocardio, el ictus o infarto cerebral y los problemas vasculares periféricos como la trombosis y el embolismo (Fig. 1).

A este destino final se llega tras varios años de padecer algunas de las enfermedades llamadas de la opulencia (obesidad, diabetes, dislipemia e hipertensión), que suelen darse conjuntamente, ya que forman parte del llamado *Síndrome Cardiometabólico* (Campillo 2004). Todas estas patologías aceleran el proceso llamado aterosclerosis por el cual se produce un engrosamiento de la pared de determinados vasos, que va estrechando su luz a lo largo de varios años, hasta que en un determinado momento se produce un trombo en ese estrechamiento y se interrumpe bruscamente el paso de la sangre en el vaso afectado.

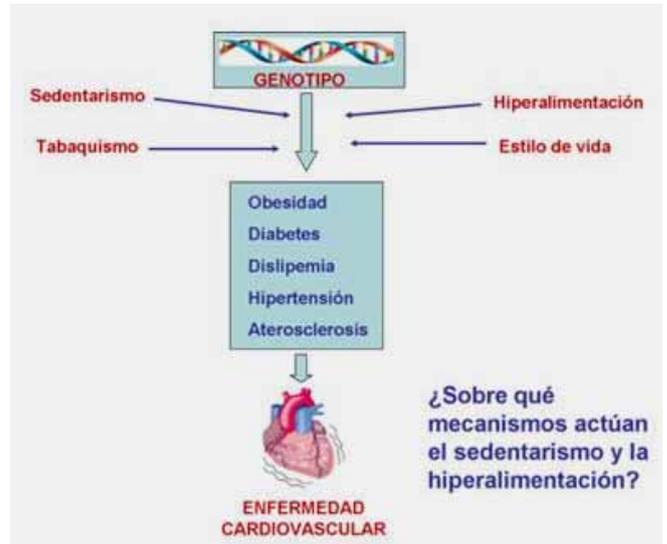


Fig. 2- Sobre la base de una determinada condición genética actúan una serie de factores ambientales desencadenando las llamadas enfermedades de la opulencia. Estas patologías, si se las deja a su evolución natural sin tratamiento aceleran el proceso de aterosclerosis, que es el que conduce inevitablemente a la enfermedad cardiovascular y a la muerte.

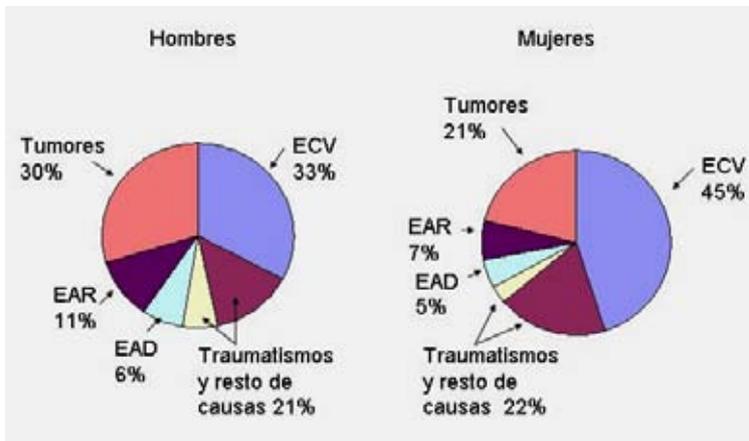


Fig. 1.- Causas de mortalidad en España. INE, año 2001. ECV, enfermedad cardiovascular; EAR, enfermedad aparato respiratorio y EAD, enfermedades del aparato digestivo.

Hoy se sabe que una cierta condición genética es fundamental para el desarrollo de estas enfermedades; ya que surgen de la expresión inadecuada de un determinado genotipo. Pero la expresión inadecuada de estos genes no es espontánea, se promueve por la actuación continuada de una serie de factores ambientales (Fig. 2) entre los que destacan la hiperalimentación y el sedentarismo.

La medicina darwiniana y los genes paleolíticos

Una de las cuestiones que aún no se ha resuelto por completo es el dilucidar cuáles son los mecanismos íntimos mediante los cuales el sedentarismo y la hiperalimentación producen enfermedad. Numerosos datos clínicos, estudios epidemiológicos e investigaciones básicas demuestran la importancia de la hiperalimentación (sobre todo el exceso de determinados alimentos como grasas saturadas y dulces) y la ausencia de actividad física sobre el desarrollo de problemas cardiovasculares. Pero a pesar de tanta evidencia, la pregunta clave aún está por dilucidar: ¿Cómo es posible que una alimentación abundante y el no realizar esfuerzos físicos nos enfermen?

Una de las maneras más eficaces de abordar esta cuestión es recurriendo a la llamada Medicina Darwiniana o evolucionista. Esta novedosa rama de la medicina, estudia la patología humana desde una perspectiva evolucionista y considera que muchas de las enfermedades que hoy nos afligen son consecuencia de la incompatibilidad de nuestros genes de la Edad de

Piedra, con nuestra forma de vida de la Era Espacial. En la Fig. 3 se muestran los dos textos fundacionales de la Medicina Darwiniana.

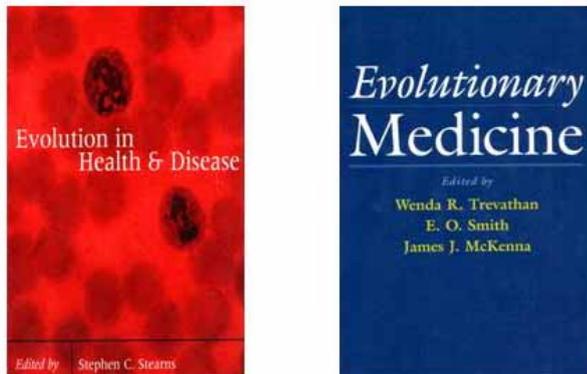


Fig. 3.- Estos textos, publicados en 1999 por la Oxford Univ. Press, contienen los fundamentos de la medicina darwiniana o evolucionista de la mayor parte de las especialidades médicas, desde la pediatría a la ginecología, pasando por la psiquiatría. Son los auténticos textos fundacionales de esta novedosa rama de la medicina.

Toda nuestra evolución está escrita en nuestros genes. A lo largo de los millones de años de evolución el material genético ha ido sufriendo variaciones aleatorias. Mediante la selección natural los genes de nuestros ancestros se han ido adaptando a las condiciones de vida y de alimentación que sufrieron en cada etapa de su evolución. Los genes que proporcionaban mayor éxito reproductivo persistían en las generaciones siguientes. Y nosotros, los *Homo sapiens sapiens*, somos hijos de los supervivientes, los mejor adaptados para sobrevivir bajo las condiciones de vida paleolíticas. Dado que el genoma de los seres humanos apenas se ha modificado en los últimos cien mil años, nuestro genoma actual es, esencialmente, un genoma paleolítico.

La medicina darwiniana no considera que las enfermedades sean un mero producto de la selección natural. Considera, por el contrario, que las mutaciones genéticas que proporcionaban ventajas de supervivencia a nuestros ancestros en un determinado entorno, pueden tornarse perjudiciales cuando cambian las condiciones ambientales que las favorecieron. Es decir, un rasgo adaptativo en las condiciones de vida paleolíticas, se vuelve dañino al soportar las condiciones de vida modernas (Trevathan 1999; Nesse 1999; Berlím 2001; Spotorno 2005)

Los seres humanos somos hijos del hambre

Según todos los datos paleoantropológicos, nuestros antecesores nunca han sido gente fuerte. No hemos tenido garras, ni colmillos, ni hemos poseído mucha potencia muscular, ni hemos corrido a mucha velocidad. Con estas condiciones físicas y la pobreza en recursos de casi todos los escenarios en donde transcurrió nuestra evolución,

el conseguir alimento debería de ser una labor incierta, que incluía largos periodos de hambrunas y que requería un gran esfuerzo físico.

En nuestra evolución existen cuatro tramos bien diferenciados por la existencia de restos fósiles, incluso de esqueletos casi completos, que se corresponden con etapas de nuestra evolución en las que cambiaron drásticamente las condiciones de vida de nuestros antecesores y sobre todo sus patrones de alimentación (Campillo 2004).

La primera etapa transcurre entre el final del Mioceno y comienzos del Plioceno (hace entre quince y seis millones de años). El lugar fue el Paraíso Terrenal que constituía, para nuestros primeros ancestros, el bosque tropical, húmedo y cálido que rodeaba al mundo, como un ancho cinturón. Esta etapa se corresponde con una fase de nuestra evolución caracterizada nutricionalmente por la abundancia permanente de alimentos, en su mayor parte de origen vegetal.

La segunda etapa coincide con la pérdida de las selvas húmedas en la que evolucionaron nuestros primeros ancestros, lo que se inició hace unos cinco millones de años. Ya no disfrutaban nuestros antecesores de un bosque bien provisto de frutas y hojas tiernas, siempre abundante en cualquier época del año, ahora tenían que contentarse con raíces y vegetales menos nutritivos y más escasos. La respuesta evolutiva ante este reto fue la bipedestación y la pérdida de los comillos. En esta segunda fase de nuestra evolución es cuando por primera vez nos enfrentamos a la escasez de alimentos, a los periodos de hambruna que serían una constante en el resto de millones de años de evolución.

La tercera etapa coincide con el carnivorismo. Hace dos millones de años nuestros antecesores, a causa de la creciente escasez de los alimentos de origen vegetal, se vieron en la obligación de alimentarse de animales terrestres y acuáticos. Esto, que fue una imposición de los cambios ambientales, ocasionó un resultado sorprendente: permitió que creciera el cerebro.

En la cuarta etapa nos encontramos con nosotros mismos, el *Homo sapiens sapiens*. Nuestros antecesores abandonaron algún lugar de África hace doscientos mil años y ocuparon el Mundo desplazando y eliminando al resto de los homínidos menos evolucionados que lo habitaban. Hace unos cien mil años colonizaron Europa y Asia y tuvieron que padecer miles de años de glaciación. Bajo condiciones de vida muy difíciles se alimentaron casi exclusivamente de la caza y de la pesca.

Hace unos quince mil años terminó la última glaciación y comenzó el desarrollo de la agricultura, la ganadería y posteriormente la civilización.

En estas condiciones, a lo largo de los millones de años de evolución, los supervivientes lograron adaptarse a estos ambientes difíciles acumulando

las mutaciones ventajosas necesarias (Fig. 4). A lo largo de millones de años fueron desarrollando un genotipo que les permitía adaptaciones musculares y metabólicas para sobrevivir en estas condiciones extremas. A esta especial condición genética adquirida a lo largo de la evolución de la especie humana se le ha denominado “*Genotipo ahorrador o thrifty genotype*”. El término fue propuesto por primera vez por Neel en 1966 (Neel 1999).



Fig. 4.- Nuestros ancestros soportaron millones de años de condiciones de vida muy poco favorables, caracterizadas por frecuentes hambrunas y un nivel elevado de actividad física para lograr los alimentos. El conjunto de mutaciones genéticas que permitieron la adaptación a estas circunstancias es lo que se denomina el Genotipo ahorrador (*Thrifty genotype*).

El sedentarismo no es natural al ser humano

Existe una ley universal en biología que establece que todo animal ha de pagar un precio de trabajo muscular para conseguir incorporar a su organismo la energía de los alimentos. Ya sea un escarabajo, un pez, una oveja o un leopardo, ha de gastar kilocalorías como actividad física para obtener las kilocalorías de los alimentos. Y la supervivencia de cualquier animal depende, fundamentalmente, de la llamada “eficiencia de subsistencia”, que expresa la cantidad de energía en forma de alimentos que puede adquirir para una cantidad dada de actividad física. Este balance está finamente ajustado en la naturaleza: la delgadez o el sobrepeso, no son situaciones recomendables para sobrevivir en la vida salvaje, salvo excepciones y especializaciones concretas.

El animal humano siempre ha seguido esta regla universal, que en la Biblia se expresa en forma de maldición: “*Ganarás el pan con el sudor de tu frente*” y que desde un punto de vista darwiniano indica que la supervivencia de nuestros ancestros, durante los millones de años de evolución, siempre dependió de un adecuado aprovisionamiento de alimentos, que a su vez requería de un esfuerzo físico proporcional (Chakravarthy 2004).

La actividad física elevada era un aspecto obligatorio e integral de la existencia de los hombres del Paleolítico (Eaton 2003). El llamado “*Ritmo paleolítico*” consistiría en la alternancia de días de intensa actividad física con otros de reposo. El grado de esfuerzo variaba según las condiciones climatológicas, las migraciones de la caza, la disponibilidad de alimentos vegetales y las mudanzas. Diversos estudios estiman que el gasto calórico por ejercicio físico de los hombres paleolíticos era de unas 1200 kcal/ día o 20 kcal/ kg de peso corporal. Mucho más elevado que el estimado para el hombre urbano actual (500 kcal/ día y 9 kcal/ kg de peso corporal). Las actividades físicas eran muy diversas e iban desde la caza hasta la molienda del grano. Lo interesante es que su rutina de vida estaba integrada por actividades tanto de condicionamiento aeróbico, como de entrenamiento de fuerza. Según estimaciones realizadas sobre las apófisis y zonas de inserción de los músculos en los huesos fósiles disponibles nuestros antepasados tenían mayor masa muscular y ósea; es decir más masa magra que nosotros y esta circunstancia tiene implicaciones metabólicas importantes. Estos individuos debían de ser unos 20% más fuertes que los seres humanos actuales.

Durante toda la evolución de la especie humana (y especies prehumanas) la obtención y el gasto de energía han estado balanceados. Pero el desarrollo económico y la industrialización han alterado esta relación natural. Hoy el ser humano que habita los países desarrollados se ha convertido en el único animal capaz de ingerir enormes cantidades de kilocalorías en forma de alimentos, sin gastar ni una sola kilocaloría muscular para conseguirlas. Desde la visión de la medicina evolucionista, el ejercicio que algunas personas hacen cada tarde en el gimnasio o trotando por las calles es la forma diferida de saldar la deuda energética muscular contraída por los alimentos ingeridos a lo largo del día.

El sedentarismo como enfermedad carencial

Desde siempre, en todos los trabajos de investigación, se ha considerado al sedentarismo como la condición basal, control y al ejercicio físico como la condición experimental, la adaptación. Sin embargo, si tenemos en cuenta las propuestas de la medicina darwiniana, la condición basal natural de la especie humana sería la actividad física continua y de una cierta intensidad; bajo estas condiciones los sistemas enzimáticos y transportadores funcionarían a pleno rendimiento. En este sentido, el sedentarismo sería un proceso carencial, de deficiencia, promotor de enfermedad (Booth 2002). Un ejemplo que nos puede ayudar a asimilar este cambio radical en nuestra forma de pensar nos lo proporciona la hipertrofia cardíaca.

La hipertrofia cardíaca fisiológica, la que se logra mediante el entrenamiento deportivo, mejora el retorno venoso, el tiempo de llenado y el volumen minuto, la contractilidad cardíaca y mejora la utilización del oxígeno por el miocardio. Esta hipertrofia fisiológica de los miocitos no se explica exclusivamente por una influencia genética, sino más bien es atribuible a la naturaleza plástica del tejido cardíaco y a las influencias de un entorno cambiante y dinámico. Como nuestros antepasados paleolíticos mantenían un elevado nivel de actividad física para poder sobrevivir, ellos deberían de presentar hipertrofia ventricular izquierda fisiológica y elevadas reservas cardíacas. Por eso se ha propuesto (Booth 2002) que el corazón normal, control, es el fenotipo físicamente activo. En lugar de considerar a la hipertrofia cardíaca fisiológica como una adaptación al ejercicio, es más exacto considerar al corazón no hipertrofiado como un descondicionamiento cardíaco debido al sedentarismo. El verdadero grupo control sería el corazón paleolítico, físicamente activo.

Ya que la condición natural del *Homo sapiens sapiens* es la actividad física constante, desde este punto de vista darwiniano el sedentarismo debe ser considerado como una enfermedad carencial, que se cura con la práctica habitual de ejercicio físico (Fig. 5).

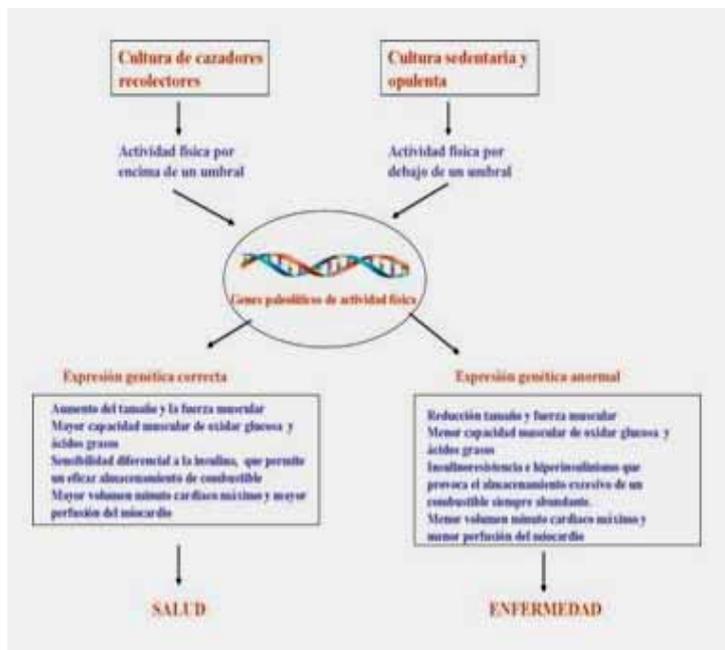


Fig. 5.- Aquellos individuos que viven en condiciones de vida equivalentes a las de nuestros ancestros paleolíticos desarrollan una elevada actividad física, lo que ocasiona una expresión correcta de su genoma y obtienen supervivencia y salud. Los habitantes de las culturas desarrolladas apenas realizan ejercicio físico, lo que ocasiona una expresión incorrecta de su genoma y ello se traduce en enfermedad.

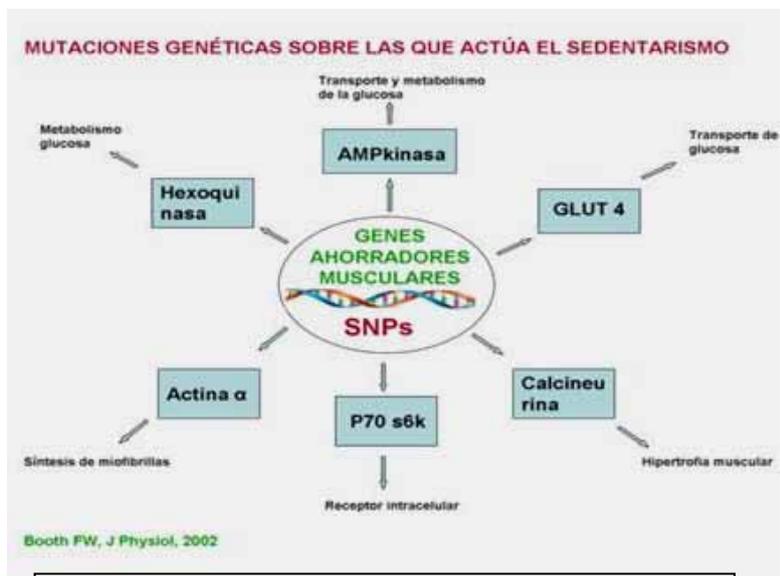


Fig. 6.- A lo largo de la evolución humana se han incorporado a nuestro genoma una serie de mutaciones (SNPs, single nucleotide polymorphisms) para permitir una máxima eficiencia de la contracción muscular, en las más variadas circunstancias. Estos genes requieren un cierto umbral de actividad física habitual para una expresión genética normal. El sedentarismo produce una expresión incorrecta de estos genes y ello contribuye al desarrollo de enfermedad.

La evolución ha favorecido la aparición de determinados alelos que generan un fenotipo que proporciona una gran flexibilidad en los flujos metabólicos para permitir una eficaz contracción muscular incluso bajo las peores condiciones nutricionales (Fig. 6). La supervivencia de nuestros ancestros exigía la posibilidad de contracciones musculares eficientes durante deficientes situaciones metabólicas. En las grandes sequías, cuando escaseaba el alimento, se incrementaba el gasto muscular necesario para encontrar la comida. Un músculo capaz de trabajar en condiciones de penuria energética era más eficaz para encontrar el alimento necesario. Por eso nuestros ancestros tuvieron que acumular una serie de mutaciones que promovían estas proezas y que permitían una forma de vida con un elevado y constante nivel de actividad física. Algunos de estos alelos favorecen el tamaño muscular controlando el número de miofibrillas (gen de la actina α) o son promotores de hipertrofia (calcineurina). Otros favorecen el aporte de sustratos energéticos para permitir una contracción eficiente, bien favoreciendo la entrada de glucosa al músculo (GLUT 4) o su metabolismo (hexoquinasa). Y finalmente genes que adaptan la contracción muscular en periodos de escasez de combustibles como los reguladores (AMP kinasa y P70s6K). Otros alelos también se han detectado.

Es posible que los seres humanos tengamos el requerimiento de superar un cierto umbral de actividad física para mantener el normal funcionamiento de nuestros sistemas homeostáticos. Neel (1999) denomina a este proceso “síndromes por fallo de homeostasis genética”,

los periodos de inactividad física crónicos, impedirían la expresión de determinados genes y apagarían algunos elementos del balance homeostático de la energía, que ocasionaría una disfunción fisiológica primero y que a la larga podría conducir a la enfermedad. Un ejemplo claro es el gen que regula la expresión del transportador GLUT 4. Esta proteína permite el transporte de glucosa al interior de la célula muscular para que pueda ser metabolizada y producir energía para la contracción. Está bien demostrado que la transcripción de GLUT 4, y los niveles de mRNA están disminuidos en los individuos sedentarios. En ellos la capacidad de metabolizar la glucosa por el músculo está disminuida, lo que tiene repercusiones metabólicas negativas para el resto del organismo (Booth 2002). Es un ejemplo claro de cómo el sedentarismo reduce la normal expresión de un gen.

Nuestra vida sedentaria actual, junto a la constante provisión de alimentos de elevada densidad calórica, ocasiona una discordancia en las interacciones de los genes ahorradores con el entorno. Cuando estos alelos que evolucionaron para permitir la adaptación a entornos que requerían de grandes esfuerzos físicos para sobrevivir, se enfrentan al sedentarismo del ser humano moderno, ocasionan una inactividad de las rutas y propiedades contráctiles que promueven y esto es lo que ocasiona a la larga, una deficiente salud y reducen la longevidad (Booth 2002).

Los genes ahorradores

La especie humana ha pasado mucha hambre a lo largo de su evolución (Oppenheimer 2004). Nuestro genoma se ha adaptado para sobrevivir a los constantes ciclos de hambre y de abundancia, siendo más frecuentes los primeros. Nuestros ancestros tuvieron que adaptarse a estas carencias acumulando una serie de mutaciones favorables hasta constituir lo que se ha denominado el "Genotipo ahorrador" (*Thrifty genotype*).

El modelo del genotipo ahorrador implica cuatro postulados fundamentales:

1.- La selección natural, a lo largo de la evolución biológica, ha programado a algunas especies para disponer de "mecanismos genéticos ahorradores". Estos mecanismos están basados en algunas especiales características de sus receptores, transportadores de membrana y enzimas, que permiten una más eficaz obtención y retención de aquellos componentes metabólicos, escasos pero necesarios. Los genes que conforman el genotipo ahorrador son genes que aumentan la eficacia en la extracción de energía y su almacenamiento a partir de fuentes dietéticas, de tal forma que favorecen el almacenamiento de grasa en épocas de abundancia de alimentos. Durante los periodos de escasez de alimentos, los individuos con genes ahorradores tendrían ventaja de supervivencia y de reproducción al poder recurrir a la energía extra almacenada previamente en sus depósitos grasos.

2.- La mayor parte de los loci y alelos genéticos ahorradores desempeñan múltiples actividades en diferentes rutas metabólicas y ejercen diversas funciones fisiológicas. A estos loci con múltiples funciones se le denomina pleiotrópicos.

3.- En los últimos 100.000 años prácticamente nuestro genoma apenas se ha modificado, pero los seres humanos hemos alterado dramáticamente las circunstancias ecológicas y ambientales en las que nos desenvolvemos.

4.- Numerosos alelos que conferían ventajas durante las circunstancias ambientales más difíciles de nuestra evolución podrían hoy conferir a sus portadores una desventaja, siendo favorecedores del desarrollo de enfermedad.

¿Cuáles son los componentes del genotipo ahorrador?

Diversos estudios han identificado algunas SNPs (*single nucleotide polymorphisms*; el resultado de una mutación en una sola base, sustituyendo un nucleótido por otro) que constituyen la base de esa condición genética que se ha determinado *Genotipo Ahorrador* (Kagawa 2002). La mayor parte de estas SNPs afectan a genes que controlan el metabolismo energético (Fig. 7).



Fig. 7.- Algunas de las mutaciones que sustentan el *Genotipo Ahorrador*. Estas mutaciones están presentes en diversos porcentajes en la población humana actual. En las condiciones de vida paleolíticas estos alelos conferían ventajas de supervivencia y salud. En las circunstancias opulentas que se dan en las sociedades desarrolladas estos genes promueven las enfermedades de la opulencia y la mortalidad cardiovascular.

Entre ellos se han identificado mutaciones del gen de la proteína que favorece la absorción intestinal de las grasas (FABP2, *protein binding fatty acids*); varios genes que controlan el gasto energético como son las proteínas desacoplantes mitocondriales (UCPs, *uncoupling proteins*) o los receptores adrenérgicos (β -3 *adrenergic receptor*). Dos genes tienen que ver con la insulina resistencia, que es elemento fundamental en el desarrollo de la mayor parte de las enfermedades de la opulencia y del llamado síndrome cardiometabólico (IRS1 y PPAR γ 2). Finalmente hay mutaciones que afectan al apetito como las mutaciones de los receptores de la leptina y que inducen leptinorresistencia (LEPR).

Un ejemplo muy claro nos lo proporciona la resistencia a la leptina. Esta hormona la produce el tejido adiposo. Cuando comemos en exceso y aumenta el tamaño de los depósitos grasos se produce leptina que al llegar al hipotálamo se une a sus receptores y, entre otras acciones, inhibe el hambre. Vamos a dramatizar el ejemplo. Imaginemos un grupo de nuestros ancestros hace tres millones de años. Supongamos que uno de ellos poseía una mutación en el gen del receptor de la leptina, que dificultaba la actuación de la hormona; es decir, ocasionaba leptino resistencia. Cuando este clan de homínidos se tropezaba con una fuente de comida (bosquecillo cargado de frutas o carroña) se atracaban de alimentos durante unos días. Una vez repletos los depósitos grasos, la

leptina inhibía el hambre y dejaban de comer. Pero aquel que tenía leptinorresistencia, sus receptores hipotalámicos no respondían a los niveles normales de la hormona, no inhibían el hambre y este individuo seguía comiendo y acumulaba más grasa que los otros. Necesitaba que su tejido adiposo produjera niveles muy elevados de leptina para que reaccionaran los receptores hipotalámicos alterados. Esta circunstancia le proporcionaba una ventaja de supervivencia en los días de hambruna subsiguientes. Esto, que hace millones de años era una ventaja de supervivencia, es hoy día causa de enfermedad. Aquella persona que haya heredado este alelo, padecerá leptino resistencia y sus consecuencias, como una dificultad para saciarse y la obesidad resultante.

Las personas que porten en su genoma alguna o varias de estas mutaciones tienen una gran facilidad para desarrollar obesidad y el resto de las enfermedades de la opulencia si no siguen una dieta natural y saludable (O'Keefe 2004). En especial hay cinco circunstancias de la alimentación de los países desarrollados que inciden de manera especial sobre una expresión incorrecta de los genes ahorradores paleolíticos (Fig. 8): el exceso de calorías, el abuso de hidratos de carbono rápidos, el exceso de grasas saturadas, la presencia de tóxicos y contaminantes químicos en los alimentos. Y, sobre todo, el embudo alimentario (Campillo 2004).



Este asunto del embudo alimentario merece un comentario a causa de su desconocimiento y su gran importancia, sobre todo en los más jóvenes. Numerosos estudios antropológicos en tribus que viven en la actualidad en condiciones de vida paleolíticas señalan que la base de su alimentación la constituyen una gran variedad de alimentos diferentes. Hasta 250 alimentos diferentes se han constatado en los *!kung* del Kalahari. De esta manera, aunque coman poca cantidad de alimentos en términos absolutos, la variedad les garantiza el equilibrio alimentario: unas ciertas raíces son ricas en cierta vitamina, algunos insectos proporcionan calcio, etc., etc. Pero en la sociedad opulenta cada vez nos alimentamos de un menor número de alimentos diferentes. Esta situación puede ser dramática en los adolescentes. Hemos llegado a constatar niños que se alimentaban sólo de seis alimentos diferentes. Este fenómeno de embudo alimentario es una situación grave, que se opone radicalmente a nuestro pasado evolutivo y tiene repercusiones serias para la salud de los menores.

Las pruebas de la hipótesis del Genotipo Ahorrador

Existen numerosos estudios, realizados en comunidades que han permanecido miles de años en régimen de aislamiento genético, que apoyan las hipótesis de los mecanismos genéticos ahorradores y su capacidad de desencadenar enfermedad. Entre tales estudios destacan los realizados en los nauruanos y en los indios Pima.

En la Polinesia, en una zona remota del océano Pacífico, existe una isleta de apenas unos pocos kilómetros de longitud que se llama Nauru. Se encuentra a miles de kilómetros de cualquier otra tierra habitada (Fig. 9). Sus habitantes, llegaron a esa isla, como el resto de los primeros colonizadores de las islas del Pacífico, hace cuarenta mil años, en el transcurso de las últimas glaciaciones, cuando descendió tanto el nivel del océano que permitió que diversos clanes, año tras año,

generación tras generación, siglo tras siglo, fueran ocupando isla a isla, saltando de atolón en atolón, que por el descenso de las aguas afloraban relativamente próximos unos a otros.

Durante esos miles de años de emigración su alimentación debió de ser muy pobre en hidratos de carbono, ya que los islotes y arrecifes de coral que emergían desarrollaban una vegetación poco nutritiva y pobre en hidratos de carbono asimilables por el hombre. Así que en esos miles de años de vagar de isla en isla, debieron de alimentarse de los pescados, los moluscos y algún ave o pequeño animal. Por lo tanto en esas poblaciones que, además, no desarrollaron la agricultura se potenció el genotipo ahorrador. Es decir, que la mayoría de los Nauruanos que al fin se asentaron en su isla debían de poseer los genes ahorradores. Cuando subieron las aguas tras el último deshielo, los nauruanos quedaron, durante miles de años, aislados de cualquier contacto humano, conservando su peculiar acervo genético. Este aislamiento secular se interrumpió en el siglo XVI cuando los primeros exploradores europeos desembarcaron en la isla. El contacto entre ambas poblaciones diezmo a los nauruanos a causa de la viruela, el sarampión, la tos ferina, la difteria o la sífilis. Son las llamadas “*Enfermedades de la Colonización*”. Durante la II Guerra Mundial Nauru recibió una segunda oleada de colonizadores. En este caso fueron las tropas de la VI Flota americana, que llegaron con el chocolate, los dulces, las bebidas azucaradas, las hamburguesas, la bollería, y las máquinas. Pronto más del sesenta por ciento de la población de Nauru era obesa, diabética y pocos años después la tasa de mortalidad por infarto de miocardio era aterradora. A estas enfermedades antes desconocidas y que inundaron a los nauruanos como la obesidad, la diabetes, la hipertensión, la hiperlipemia, y la arteriosclerosis, se las denominaron “*enfermedades de la cocacolonización*” (Zimmet 2000).

Los indios Pima actuales proceden de un tronco común, la tribu Hohocán, que hace unos mil años se escindió en dos poblaciones que optaron por asentamientos diferentes: los indios Pima residentes en Arizona (USA) y los indios Pima residentes en Sierra Madre (México). Los Pima de Arizona llevan una vida muy sedentaria, con una dieta hipercalórica muy rica en grasas saturadas y en colesterol y pobre en fibra y con un exceso de alcohol. Un 69% de esta población son obesos y el 37% de las mujeres y el 54% de los hombres son diabéticos tipo 2. Por el contrario los indios Pima que habitan un entorno más difícil, que requiere de una gran actividad física para sobrevivir y que su alimentación es menos abundante, rica en fibra vegetal y pobre en grasas, su tasa de obesidad no supera el 15% y la diabetes tipo 2 afecta al 10% de las mujeres y al 6% de los hombres (Fig. 10).

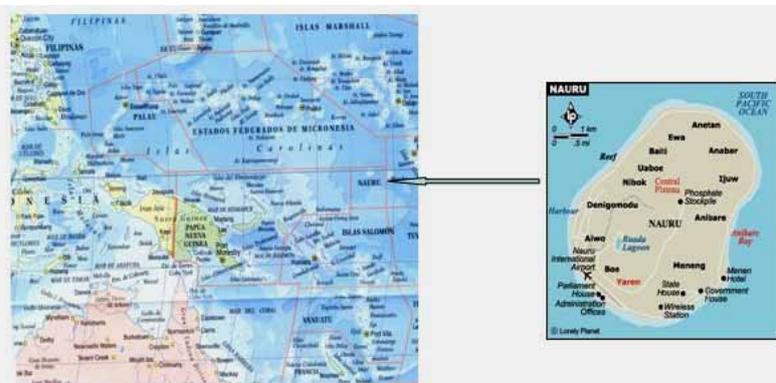


Fig. 9.- El aislamiento genético de miles de años de la población nauruana hizo que la prevalencia del genotipo ahorrador fuera muy elevada. Esta circunstancia les confirió ventajas de supervivencia en sus condiciones naturales de vida. La occidentalización rápida de su forma de vida ocasionó que más del 60% de los nauruanos desarrollaran enfermedades de la opulencia y que se incrementara drásticamente la tasa de mortalidad cardiovascular

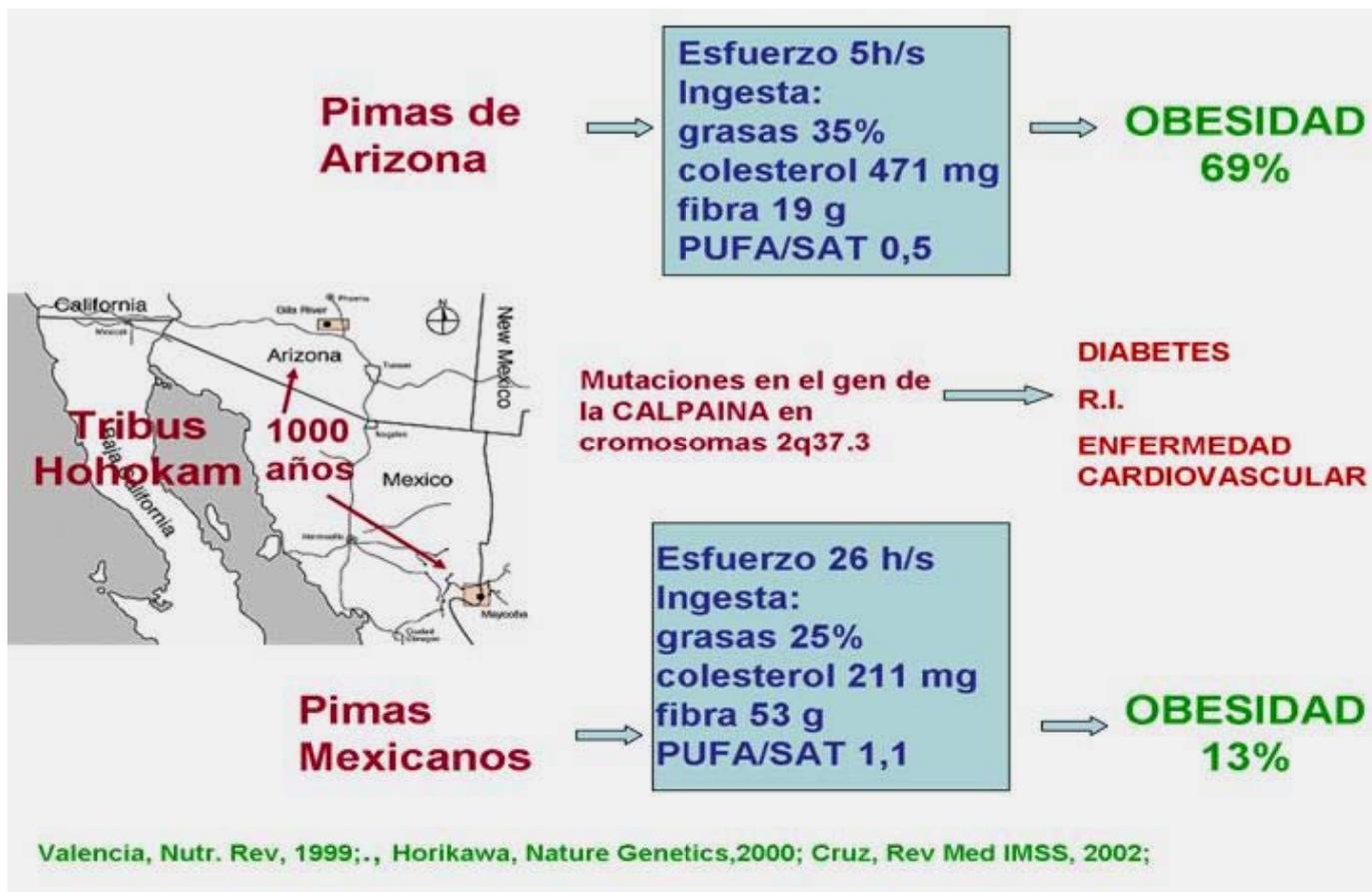


Fig. 10.- Numerosos estudios realizados en los indios Pima de, muestran la hipótesis del genotipo ahorrador y la capacidad de producir enfermedad cuando se expresan incorrectamente determinados alelos.

Ambas tribus poseen idéntica dotación genética, sin embargo las diferentes condiciones de vida han modificado la expresión de determinadas mutaciones genéticas (genes ahorradores). En los indios Pima del sur, que persisten en las formas de vida paleolíticas con frugalidad en la alimentación y elevada actividad física, la expresión genética es favorable y su tasa de enfermedad es menor. En los indios Pima del norte, que han optado por una vida occidentalizada, sedentaria y de hiperalimentación, la expresión incorrecta de sus genes ahorradores ocasiona enfermedad.

En los indios Pima se ha determinado que el principal gen ahorrador implicado en estos procesos es una mutación de un solo nucleótido (SNP) en el gen de la Calpaína 10, situado en el locus del cromosoma 2q37.3. La calpaína-10 pertenece a la familia de las cisteinproteasas no lisosomales. Estas proteasas neutras se activan por el calcio y su expresión es muy ubicua por todos los tejidos. Actúa sobre substratos celulares que intervienen en la transmisión de señales de proliferación, diferenciación y sobre señales reguladoras mediadas por la insulina. Su expresión correcta confiere ventajas de supervivencia en condiciones de vida naturales. Su expresión incorrecta a causa del sedentarismo y de la alimentación produce enfermedad.

CONCLUSIONES

Los datos existentes permiten suponer que hasta el desarrollo sistemático de la agricultura y la ganadería, la prevalencia del genotipo ahorrador afectaba a la mayor parte de los individuos, confiriéndoles ventajas de supervivencia. Con la agricultura y la ganadería el genotipo ahorrador se diluyó en la población hasta alcanzar el 30% de prevalencia en las sociedades desarrolladas. Sólo aquellas comunidades que persistieron como cazadores recolectores y además gozaron de aislamiento genético, como sucede por ejemplo con los indios Pima o los nauruanos, mantuvieron elevadas prevalencias del genotipo ahorrador.

Como se muestra en la Fig. 11, a los individuos portadores del genotipo ahorrador que viven en condiciones naturales con elevada actividad física y una alimentación natural y precisa, la expresión correcta de su genotipo les confiere ventajas de salud y de supervivencia. Los individuos portadores del genotipo ahorrador que viven en condiciones opulentas con hiperalimentación y sedentarismo sufren una errónea expresión de sus genes y ello les ocasiona las enfermedades de la opulencia, el síndrome cardiometabólico y la mortalidad cardiovascular (Zimmet 2003).

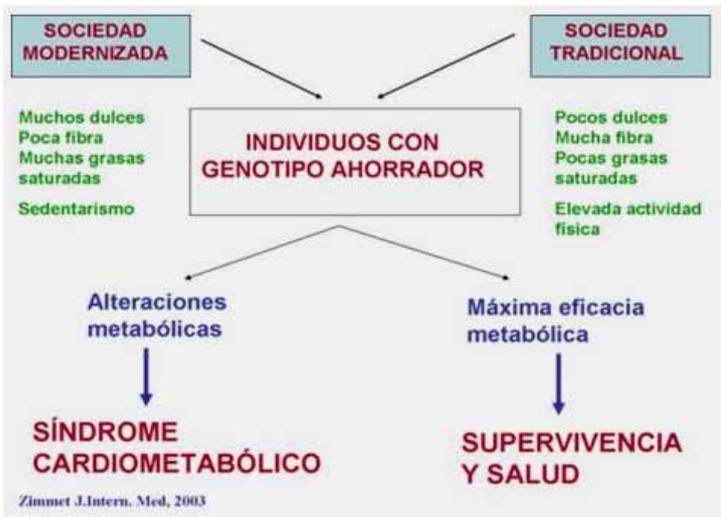


Fig. 11.- Todo individuo poseedor de alelos del genotipo ahorrador, si sigue un patrón de vida tradicional, con alimentación saludable y actividad física habitual, los genes le confieren salud. Si el portador de alelos ahorradores sigue una forma de vida sedentaria y opulenta, la expresión incorrecta de estos genes le produce enfermedad.

¿Qué es lo que debemos hacer?

En primer lugar nuestra dieta debe de ser variada. En la Fig. 12 se propone un plan de alimentación basado en nuestra evolución y en los millones de años durante los cuales nuestros ancestros consumieron un determinado tipo de alimento. Sorprendentemente esta formulación de "Paleodieta" coincide con la mayor parte de las pirámides que reflejan lo que hoy se considera como una alimentación saludable, y que se basan en el modelo de la llamada Dieta Mediterránea.

Debemos hacer ejercicio diariamente. No olvidar que cuando a las ocho de la tarde vamos a practicar aerobic, o salimos a caminar o a correr, lo que conseguimos realmente es pagar la deuda de gasto

muscular, que hemos contraído por la energía ingerida en forma de alimentos a lo largo del día.

En definitiva, para prevenir todas estas enfermedades que se acrecientan en la edad madura y que nos pueden conducir a la enfermedad cardiovascular, debemos intentar ajustar nuestros genes de la Edad de Piedra a nuestra forma de vida de la Era Espacial, para de esta forma lograr una expresión correcta de nuestros genes ahorradores.

Más información en la página web:
www.mono_obeso.typepad.com

REFERENCIAS

- Berlim, M.T. y Abeche, A.M. 2001. Evolutionary Approach to medicine. *South. Med. J.* 94: 26-32.
- Booth, F.W., Chakravarthy, M.V. y Spangenburg, E.E. 2002. Exercise and gene expression: physiological regulation of the human genome through physical activity. *J. Physiol.* 543: 399-411.
- Campillo, J.E. 2004. *El Mono Obeso*. Ed. Critica, Barcelona.
- Chakravarthy, M.V. y Booth, F.W. 2004. Eating, exercise and thrifty genotypes: connecting the dots toward an evolutionary understanding of modern chronic diseases. *J. Appl. Physiol.* 96: 3-106.
- Cruz, M., Montoya, C., Gutierrez, M., Wachter, N.H. y Kumate, J. 2002. Polimorfismo de genes relacionados con la diabetes tipo 2. *Rev. Med. IMSS* 40: 113-125.
- Eaton, S.B. y Eaton, S.B. 2003. An evolutionary perspective on human physical activity: implication for health. *Comp. Biochem. Physiol.* 136: 153-159.



Fig. 12.- Modelo de "Paleodieta". Las proporciones en que los diferentes alimentos deben de contribuir a nuestra alimentación coinciden con el periodo de tiempo que constituyeron la principal alimentación de nuestros ancestros. Es sorprendente la coincidencia con la Dieta Mediterránea, paradigma universal de alimentación saludable.

- Kagawa, Y. *et al.* 2002. Single nucleotide polymorphisms of thrifty genes for energy metabolism: evolutionary origins and prospects for intervention to prevent obesity related diseases. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 295: 207-222.
- Neel, J.V. 1999. The thrifty genotype in 1998. *Nutritional Rev.* 51: 52-59.
- Nesse, R.M. y Williams, G.C. 1999. Evolución y orígenes de la enfermedad. *Investigación y Ciencia* Enero: 4-12.
- O'Keefe J.H. y Cordain L. 2004. Cardiovascular disease resulting from a diet and lifestyle at odds with our paleolithic genome: how to become a 21st-century hunter gathered. *Mayo Clinic Proc.* 79: 101-108.
- Oppenheimer, S. 2004. *Los Senderos del Edén. Orígenes y Evolución de la Especie Humana.* Ed. Crítica, Barcelona.
- Spotorno A.E. 2005. Medicina evolucionaria: una ciencia básica emergente. *Rev. Med. Chile* 133: 231-240.
- Trevathan, W.R., Smith, E.O. y McKenna, J.J. 1999. *Evolutionary Medicine.* Oxford Univ. Press, Oxford.
- Zimmet P. 2000. Globalization, coca-colonization and the chronic disease epidemic: can the doomsday scenario be averted? *J. Intern. Med.* 247: 301-310.
- Zimmet, P. y Thomas, C.R. 2003. Genotype, obesity and cardiovascular disease- has technical and social advancement outstripped evolution? *J. Intern. Med.* 254: 114-125.

Información del Autor

José Enrique Campillo Álvarez natural de Cáceres. Doctor en Medicina Universidad de Granada. Completó su formación en las universidades de Lieja (Bélgica) y Oxford (Gran Bretaña). Desde el año 1981 es catedrático de Fisiología en la Facultad de Medicina de la Universidad de Extremadura. Su labor investigadora se ha desarrollado en la diabetes, la nutrición humana y el ejercicio físico. En 1989 se le concedió el Premio Nacional de Investigación de la Sociedad Española de Diabetes. En la actualidad está dirigiendo un proyecto de investigación sobre los aspectos cardiometabólicos y hormonales del Síndrome Metabólico en niños. Su vocación docente e investigadora se complementa con la publicación de libros de divulgación sobre temas relacionados con la nutrición, la diabetes y la evolución: “*El Mono Obeso*” (Ed. Crítica, 2004) y “*La Cadera de Eva*” (Ed. Crítica, 2005).

El reto de enseñar evolución: uso de ejemplos cercanos al alumnado

Tomás Sanz Serrano

Licenciado en Ciencias Ambientales por la UAH
Avda. Estación Nueva, 34, 3ª izq. 44200 Calamocha (Teruel)
E-mail: arnicaart@yahoo.es

RESUMEN

El presente artículo trata de abordar las dificultades que la práctica docente encuentra en la enseñanza de la Teoría de la Evolución, y concretamente al tratar los mecanismos responsables del proceso. Para ello se analiza la importancia de una enseñanza basada en atacar frontalmente una serie de ideas erróneas o preconcebidas referentes a dicha Teoría científica, a la vez que se sugiere la búsqueda activa de ejemplos cercanos al lugar en el que se ubica el Centro de Secundaria. *eVOLUCIÓN* 2(2): 69-73 (2007).

Palabras Clave: Evolución, Enseñanza, Ejemplos prácticos, Mecanismos evolutivos, Ideas previas.

INTRODUCCION

La Teoría de la Evolución, como bien sabemos, constituye uno de los pilares fundamentales de la Biología moderna, junto con la Teoría Celular y la Genética. La concepción evolutiva nos ha aportado una manera diferente de comprender la Biosfera, como un elemento dinámico y cambiante, capaz de amoldarse a los cambios que acontecen en el seno de Gaia, un superorganismo con capacidad de autorregulación.

No obstante, pese a su importancia, el docente encuentra serias dificultades a la hora de transmitir esta relevancia científica. En primer lugar, el hecho de que esta teoría se reduzca a un único curso, 4º de ESO, en el que también se abordan otras grandes teorías como la Celular que mencionábamos, o la Tectónica de Placas, en el bloque de Geología. Se trata de conceptos cruciales y a la vez complejos, que no se abordan de una manera recurrente a lo largo de toda la etapa de secundaria, como sucede con otros aspectos.

Los alumnos, pueden presentar un notable grado de motivación, dado el carácter voluntario de las Ciencias Naturales a partir de este curso. No obstante, la ausencia de ideas previas bien arraigadas, o incluso la presencia de ideas erróneas preconcebidas en el seno de la Sociedad de la información, hacen que a menudo se lleven consigo una idea confusa, o poco clarificante, sobre los cambios acontecidos en la Vida desde su origen, aspecto que a su vez choca con otros ideales y creencias de tipo religioso.

En definitiva, puede decirse que este es uno de los temas más importantes, y a la vez más conflictivos en el campo de la enseñanza de la Biología, donde el docente debe comprimir un impresionante abanico de pruebas científicas de muy diferentes ámbitos, que demuestran que la

Evolución es algo más que una Teoría, siendo un Hecho histórico.

La secuencia lógica al enseñar evolución

La forma más apropiada de abordar el estudio de la Teoría evolutiva es mediante un recorrido histórico a lo largo del pensamiento humano y científico, que nos lleve desde el Creacionismo y el Catastrofismo, hasta las ideas no fijistas. Se trata de hacer entender al alumno la importancia de ese cambio en la manera de comprender la materia viva, como algo no estático, sino cambiante. Ese ideal evolucionista fue a su vez transformándose, desde las ideas de Lamarck hasta Darwin, y finalmente la Teoría Sintética y el Neodarwinismo.

El tema debe proseguir con un análisis de las diferentes pruebas científicas que apoyan y sostienen una Teoría imposible de reproducir en un laboratorio, pero hacia donde apuntan todos los descubrimientos recientes en el campo de la Biología.

Finalmente, deberemos abordar la explicación de los Mecanismos por los cuales se producen los cambios evolutivos. Apartado especialmente interesante dado que es donde realmente tenemos que mostrar al alumno cómo sucede este fenómeno, o al menos cuáles son los aspectos hasta el momento probados, en lo referente a un proceso claramente multifactorial.

Es en este último aspecto donde el docente puede elegir entre dos caminos posibles: una simple explicación enumerativa de los ejemplos clásicos sobre evolución; o bien intentar acercar la Evolución al alumno, convertirla en algo real y observable, incluso a una escala temporal mucho menor de lo que creemos.

El papel de las ideas previas en el alumno

Como mencionábamos anteriormente, el actual Marco social en el que se desenvuelve la Educación formal, es bien distinto al de hace unos años. El profesor no constituye la única fuente de conocimiento, los medios de comunicación, la enorme cantidad de publicaciones existentes, y sobre todo Internet, nos bombardean con grandes cantidades de información. Esto, en la mayoría de los casos es claramente beneficioso, pero también implica la presencia de muchas ideas preconcebidas en la mentalidad del alumno, que pueden dificultar el proceso de aprendizaje. Este es un claro ejemplo en el caso de la Evolución, lo que hace imprescindible atacar durante las explicaciones, una serie de ideas no del todo ciertas, que pueden estar presentes.

- La figura de Darwin

En más de una ocasión he tenido la oportunidad de escuchar o leer comentarios que atribuyen a Darwin cosas que él no dijo. En efecto Charles Darwin es el Padre de la Evolución, podría decirse que es quien la abordó de un modo más directo, pasando a la historia por ello. Pero es claramente un error, considerar que todo lo que tiene que ver con la evolución es un argumento de Darwin.

Cuando se aborda el Darwinismo en el aula, tal vez no queda demasiado claro qué es lo que dijo Darwin al respecto de la evolución. En parte tal vez sea porque no se aborda la figura histórica, ni las circunstancias sociales y científicas de la época.

Creo que es fundamental remarcar ciertos aspectos importantes, como el hecho de que Darwin no fue el único en tratar este tema, ni siquiera el primero en hacerlo. Debemos ser conscientes de que existen otras figuras relevantes, como Wallace, que llegó a las mismas conclusiones por sí mismo, pero que era mucho menos reconocido socialmente. No está de más estimular al alumno a realizar una pequeña investigación por su cuenta al respecto, lo que podría arrojar resultados curiosos. Seguramente saldrían a la luz personajes como Erasmus Darwin, Félix de Azara o incluso Malthus. La idea a transmitir es que la Ciencia es un fenómeno social, no individualista, donde las Teorías surgen como reconstrucciones en las que muchas personas juegan un importante papel, sin despreciar por supuesto el trabajo del que fue un gran científico y naturalista.

Debemos considerar igualmente que Darwin no habló de las mutaciones, por desconocer su existencia, algo que a veces se le atribuye, ni tampoco del origen de la vida. El Origen de las Especies habla de eso, de la aparición de nuevas especies a partir de otras diferentes, sin abordar el peliagudo

tema de la aparición de la vida en nuestro planeta. Darwin desconocía la Genética, la clave de la variabilidad de la descendencia, incluso creía en la herencia de los caracteres adquiridos, al igual que Lamarck. El gran logro de Darwin fue el plantear el Ambiente, la Selección natural, como el principal factor determinante del cambio, actuando de un modo conjunto con la existencia de una variabilidad dentro de los organismos.

- Mecanismos evolutivos y teoría sintética

El recorrido histórico por las distintas etapas del pensamiento científico nos conducirá a explicar la Teoría Sintética, en la cual confluyen los conceptos de Selección Natural, Genética y mutación, Paleontología, Anatomía comparada... un sinnúmero de pruebas y trabajos interdisciplinarios que apuntan en una misma dirección. Es favorable que el alumno asimile este aspecto, porque el hecho de que diferentes trabajos lleguen al mismo punto refuerza de un modo irrefutable la esencia evolutiva.

No obstante, este aspecto tiene una contrapartida. La Teoría sintética no es del todo unánime, y presenta ramificaciones según distintos modos de abordar la manera en la que actúan los diferentes mecanismos evolutivos: Equilibrio puntuado, Neutralismo y el llamado "Gen egoísta".

A este respecto, es importante enfatizar nuestras explicaciones en los mecanismos y en las pruebas evolutivas, sin entrar demasiado en las diferentes vertientes. De este modo no dejaremos en el alumno una visión caótica y dividida de lo que es sintético, unitario, que es el fenómeno evolutivo.

Ni que decir tiene que existen afirmaciones muy contraproducentes, como las del Diseño inteligente, que todavía contribuyen a caotizar más esta visión. Si puede ser interesante, realizar breves lecturas de artículos no científicos relacionados con el Diseño inteligente, para fomentar el espíritu crítico del alumno, basando nuestras afirmaciones en las abundantes pruebas científicas existentes. Esto hará que el alumno sea después menos influenciado a este respecto.

- La especie y la población

Otro de los aspectos fundamentales para comprender el proceso evolutivo sería el análisis de la Población como el nivel de organización biológica de mayor relevancia, es decir, la población como unidad básica evolutiva. Además de estudiar este aspecto incluyendo la clásica Ley de Hardy-Weinberg, deberíamos incluir aquí el verdadero concepto de Especie.

El alumno debe saber que aunque la Especie es un taxón muy útil a la hora de estudiar los organismos, es también un concepto complejo, en ocasiones difícil de aplicar. La especie es una

“instantánea” de un organismo a lo largo de ese largo proceso de cambio en la Historia del Planeta. No es por tanto algo fijo, inmutable, ni siquiera todos los individuos de una especie son iguales entre sí. Es por tanto importante conocer esa variabilidad intraespecífica, debida al que puede considerarse el principal motor evolutivo, la mutación.

Ejemplos reales que ilustren la realidad evolutiva

Existen muchos clásicos ejemplos que permiten al alumno comprender mejor el proceso evolutivo, y que lo convierten en un claro hecho fundamentado en diferentes campos de investigación. Tal es el caso de la Anatomía comparada (órganos análogos y homólogos, órganos vestigiales), Paleontología (series filogenéticas, formas intermedias, fósiles vivientes), La Genética y Bioquímica, Sistemática, Biogeografía, etc. El profesorado no tendrá grandes problemas para encontrar datos referentes a cualquiera de estas disciplinas, que son imprescindibles para ilustrar mejor lo que hemos explicado con anterioridad.

Todos conocemos el clásico ejemplo de la Mariposa del Abedul (*Biston betularia*), como un caso de evolución rápida, que muchas veces se ve de un modo rápido y sin otorgarle demasiada importancia, cuando en realidad la tiene. Estamos hablando de algo observable a escala humana de evolución, por lo tanto ese análisis teórico cobra sentido en algo tangible, real.

La utilización de estos valiosos ejemplos debe acercar la Evolución al alumno, el cual ya no verá el proceso como una Teoría aislada, lejana, sino como un hecho observable. En este aspecto el docente juega un papel crucial, y su actuación determinará el grado de comprensión y permanencia de las ideas evolutivas en el tiempo dentro de la mente del alumno.

Un profesor de Biología y Geología en un Centro de Secundaria, debería ser también conocedor del medio natural de su área de residencia y trabajo, siendo capaz de utilizar los aspectos del patrimonio natural de su entorno como ejemplos prácticos de sus clases. En este sentido, los alumnos fijarán mucho mejor los conceptos, y trabajaremos un tema transversal como es el respeto y la valoración del medio.

Partiendo del hecho de que la Evolución tiene lugar por la acción conjunta de dos mecanismos fundamentales (lo cual es asumido mayoritariamente por la Comunidad Científica actual), variabilidad genética y selección natural, buscaremos ejemplos claros que ilustren cómo se está produciendo, en estos momentos, el proceso evolutivo.

Variabilidad genética

El descubrimiento de las mutaciones tuvo lugar por una observación sencilla pero brillante, por parte de Hugo De Vries. La Botánica es un campo apasionante que nos permite observar casos impresionantes de variabilidad intraespecífica. Cualquier estudio taxonómico basado en vegetación dejará ver la existencia de multitud de subespecies, algunas de las cuales generan importantes controversias a la hora de considerarlas como nuevas especies. La realidad es que la evolución está actuando en todo momento, y es posible ver cómo muchas especies vegetales se van separando poco a poco. Un ejemplo gráfico muy válido en nuestro país es la Encina. Este árbol típicamente mediterráneo presenta dos variantes, una en el norte, en zonas más húmedas y con hojas parecidas al laurel, y otra más mediterránea y de fuertes hojas pinchudas. Para algunos autores son dos especies diferentes, la Encina y la Carrasca, para otros dos subespecies de *Quercus ilex* (*ssp. ilex*, *ssp. rotundifolia*). No es más que un caso inacabado de separación de una especie en dos diferentes. A veces el criterio reproductivo no es suficiente para delimitar la separación entre especies.

Otro ejemplo botánico que muestra una increíble diversidad intraespecífica, y que no es difícil de observar, son las Orquídeas. En nuestra zona de trabajo conocemos la existencia de una población ubicada en un espacio concreto, que muestra flores de color púrpura, mientras que en el resto de individuos de la misma especie son blancas (Fig. 1). Esto muestra un proceso de separación fenotípica entre miembros de una población, y es un hecho más frecuente de lo que pensamos. Las orquídeas son además ejemplos de importantes procesos de coevolución, resulta impresionante estudiar el grado de adaptación de



FIG. 1.- Orquídea *Dactylorhiza sambucina* con flores normales y púrpuras.



FIG. 2.- Ejemplar de la Orquidea *Ophrys aranifera*.

las flores, en especial del género *Ophrys*, imitando el aspecto y el olor de hembras de ciertos insectos (Fig. 2). Su floración acontece muy temprano en primavera, antes de que las hembras de los insectos polinizadores entren en su periodo reproductor, por lo que las flores atraen así de un modo más eficiente a los machos.

Algunos alumnos se muestran incapaces de pensar en las mutaciones como factor evolutivo, pensando que son demasiado lentas, que requieren del cruzamiento de individuos portadores para conseguir que se manifiesten, etc. Esto sucede a menudo porque el alumno suele aplicar lo que aprende al ser humano, donde la tasa de mutación es muy baja. Por eso sería interesante plantear una práctica de laboratorio para trabajar con *Drosophila melanogaster*, la cual mantiene una tasa mutacional cercana al 5% en cada generación, manifestándose externamente en muchas ocasiones. Esto permitiría comprender que la mutación es un fenómeno frecuente y rápido, aportando variabilidad genética a las poblaciones. Cada alumno puede proceder a capturar varios ejemplares de esta mosca y llevarlos al laboratorio para su estudio bajo la lupa binocular. Quizás tengamos suerte y podamos observar mutantes de ojos blancos, por ejemplo.

De este modo la mutación supone una fuente de nuevas formas biológicas, siendo responsable de la aparición rápida de nuevas especies. Sin duda estos ejemplos aportarán al alumno una visión más dinámica de la Biosfera, menos inmutable.

Selección natural: los efectos del aislamiento

No obstante la realidad no suele basarse únicamente en la mutación, precisa de cambios ambientales o procesos selectivos que favorezcan la especiación. Una vez que contamos con diferencias notables entre miembros de una

población, cualquier proceso que separe a uno de estos grupos puede conllevar la aparición de nuevas especies.

En ocasiones el ambiente favorece la especiación por aislamiento geográfico. En este tipo de procesos la Península Ibérica ha jugado un papel histórico muy importante. Es el caso de muchas especies de mamíferos, únicas en nuestro país al quedar acantonadas en nuestro territorio tras la última glaciación. Ejemplos de estas especies endémicas de la Península son la Liebre, la Cabra montés, el Conejo o el Topo, siendo animales únicos en el Mundo.

Otro ejemplo es el caso de los peces continentales, los cuales mantienen muy poca diversidad en nuestro país. Según los expertos (Doadrio 2001) este hecho se corresponde con la existencia de grandes Cuencas endorreicas (cerradas) durante el Terciario, como la que daría lugar al actual Valle del Ebro. La ausencia de flujos genéticos revierte en lo que se denomina deriva genética. En estas poblaciones aisladas el efecto de las mutaciones se amplifica, originando especies únicas.

La Mariposa Apolo (*Parnassius apollo*) es un Lepidóptero presente en nuestra zona de trabajo (Fig. 3). Es un animal adaptado a ambientes frescos, que se distribuía ampliamente por toda la Península cuando el clima era más frío, cercano a las glaciaciones. En este caso el cambio climático hacia situaciones más secas y calurosas hizo que los individuos se acantonaran en los lugares más altos, donde todavía se mantienen temperaturas más bajas. De este modo, esta mariposa se encuentra actualmente en las principales cordilleras españolas, formando una gran población fragmentada, dividida en pequeños núcleos sin apenas conexión. De este modo, cada subpoblación ha experimentado pequeños cambios, que hacen que hoy distingamos 22 subespecies (Marcotegui 1976), prácticamente una por cada núcleo distinto. Es un claro ejemplo de la actuación conjunta del aislamiento geográfico y la variabilidad genética que, de seguir así, originará nuevas especies por cladogénesis.



FIG. 3.- Ejemplar de Mariposa Apolo (*Parnassius apollo*).

La especiación simpátrica abarca otros tipos de aislamiento no geográfico, como es el caso del Aislamiento etológico o debido a diferencias de comportamiento. Un ejemplo gráfico puede ser el del Milano. También en los alrededores de nuestra zona de trabajo podemos encontrar poblaciones invernantes muy interesantes de Milano Real (*Milvus milvus*), que se alimentan de desperdicios de granjas y mataderos. Esta población desaparece en la época estival, ya que marchan a sus lugares de cría, al norte de Europa. Justo en ese momento, recibimos la llegada del Milano negro (*Milvus migrans*) que ocupan el nicho de la otra especie. Morfológicamente son especies muy similares, algo más pequeño y oscuro, el Milano negro ha decidido pasar el invierno en tierras africanas. Su gran similitud sugiere que se trataba de una misma especie. Un cambio en el comportamiento de un grupo poblacional originó su segregación y la aparición de dos especies diferentes, a lo largo del tiempo. De este modo se reparte de un modo más eficiente un mismo recurso al no compartir a la vez el mismo espacio geográfico.

Las razas domésticas y variedades de cultivo son también ejemplos de evolución rápida dirigida. La selección humana en este caso, genera un efecto parecido al de la selección natural, obteniendo las variedades más útiles para su actividad. Es así como surgen perros, gatos, rosas y cualquiera de las variedades actuales de cultivo. Ya Charles Darwin estudió este fenómeno a bordo del Beagle, reflexionando sobre las razas de ganado doméstico, un punto más para la publicación del "Origen de las Especies", años más tarde.

CONCLUSIONES

En definitiva, la implicación del docente en la enseñanza de algo tan importante como es la Evolución, es clave para la adecuada comprensión por parte del alumno. Aunque hoy día existe buen material didáctico, un toque de creatividad y la búsqueda de ejemplos cercanos al alumno pueden hacer que persistan en la mente del estudiante los mecanismos que permiten este asombroso viaje en el tiempo de la diversidad biológica.

REFERENCIAS

- Marcotegui J., de Nicolás P. y Jordana, R. 1976. Estructura taxonómica de la variabilidad infraespecífica de *Parnassius apollo* L. en el norte de la Península Ibérica. *Munibe* Año XXVIII, Núm. 4: 333-348.
- Doadrio, I. 2001. *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España*, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza y Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Mateo, G. 2006. *XVII Curso de Botánica Práctica: Flora y Vegetación del Sistema Ibérico*, Univ. de Verano de Teruel.
- Withner, C.L. 1974. The Orchids: scientific studies. Pp. 129-161. En: Withner, C.L. (ed.) *Evolución de la Fisiología de las Orquídeas*. ("Developments in Orchid Physiology"), USA.

Información del Autor

Tomás Sanz Serrano (Zaragoza, 1980) es Licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Alcalá de Henares. Opositor a Enseñanza de Secundaria de Biología y Geología, actualmente realiza trabajos de investigación referentes al Patrimonio natural de la provincia de Teruel. Es coautor de dos Guías de Naturaleza, así como de varios artículos referentes a Geología, Medio Ambiente, Paleontología y Evolución. Ha realizado varios proyectos de Desarrollo Rural, destacando la "Ruta Botánica de Bea", en la Sierra de Oriche.

DOCUMENTOS

En esta sección se irán publicando una serie de documentos sobre el papel que la teoría evolutiva tiene en España en las distintas ciencias (o en alguna de sus ramas) así como de las ventajas que puede aportar su utilización, escritos por expertos en cada uno de los temas.

FISIOLOGIA Y TEORIA EVOLUTIVA

Por: Francisco Bozinovic

Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad (CASEB)

Departamento de Ecología

Facultad de Ciencias Biológicas

Pontificia Universidad Católica de Chile

CP 6513677, Santiago, Chile

E-mail: fbozinovic@bio.puc.cl

Breve reseña histórica

La fisiología ha tenido y tiene como objetivo central identificar y explicar los principios unificadores y centrales que gobiernan la función en los organismos. En esta aproximación dichos principios trascienden los ambientes particulares en que viven los organismos, la diversidad de los taxa y su historia evolutiva. A partir de finales de la década de los 50 y principios de los 60, diversos investigadores norteamericanos y europeos visualizaron la importancia de entender la diversidad fisiológica en función del ambiente en que habitan los organismos. Esta aproximación dio origen a la fisiología comparada. A partir de allí y junto al desarrollo teórico de la ecología evolutiva de los años 70 y de la biofísica ecológica se inició la formalización de lo que hoy se conoce como fisiología ecológica (= ecología fisiológica, ecofisiología, y fisiología ambiental). A finales de los 70 y comienzos de los 80, y junto al desarrollo del método comparativo filogenético y de su filosofía se incorporó formalmente el paradigma evolutivo en estos estudios fisiológicos. Ello dio origen a los estudios formales de por ejemplo, el rol de la selección natural sobre atributos fisiológicos, estudios de variación fenotípica y de predicciones de respuestas evolutivas a la selección natural y del mapeo filogenético de atributos fisiológicos. Antes de este desarrollo conceptual y metodológico, la fisiología ecológica y comparada era prácticamente irrelevante para los biólogos evolutivos.

El estado actual

Actualmente la fisiología ecológica y comparada así como la teoría evolutiva han comenzado a integrarse. Los fines de esta disciplina son numerosos, pero en general, quienes se dedican a ella, están de acuerdo en que esta área del conocimiento está orientada a entender no solo como funcionan los organismos sino también a dilucidar el origen histórico y el potencial de evolución de los rasgos fisiológicos. Algunas áreas relativamente recientes de investigación se han orientado al uso del método comparativo para explicar la evolución de rasgos fisiológicos, otros al estudio de varianza fenotípica, así como al uso de técnicas de biología molecular para entender la evolución de diversos rasgos fisiológicos. Este desarrollo ha llegado incluso a la medicina humana. En efecto, una de las consecuencias de la fusión de disciplinas como la fisiología comparada, la fisiopatología y la teoría evolutiva ha sido la generación de una forma novedosa de entender la enfermedad, su prevención e incluso su tratamiento. Hablamos de la llamada medicina Darwiniana o evolucionista, rama nueva de la ciencia médica que pretende el estudio de la enfermedad en el contexto de la evolución biológica (ver documento sobre medicina Darwiniana).

¿Hacia donde vamos?

La definición más simple y operacional de selección natural es aquella en que la variación en la eficacia biológica ("fitness") está correlacionada con la variación en uno o más rasgos fenotípicos heredables. Esta definición enfatiza que la selección natural es un fenómeno puramente fenotípico que ocurre y puede ser medido. La cuantificación de selección en la naturaleza requiere de la medición de diferencias individuales en adecuación biológica y en caso particular de algunos rasgos fisiológicos de interés. Esto permite observar la evolución en acción. Aunque recientemente los investigadores de este campo se han interesado en la variación de caracteres fisiológicos dentro de poblaciones (desde bacterias a *Homo sapiens*), se han efectuado muy pocos estudios sobre selección de rasgos fisiológicos en poblaciones naturales. Probar la importancia de rasgos fisiológicos en poblaciones naturales parece ser una parte integral de los estudios futuros de fisiología ecológica y evolutiva.

En resumen, junto a los estudios clásicos orientados a entender los mecanismos fisiológicos que permiten explicar cómo funcionan los animales - incluido el hombre - en su ambiente natural y cultural así como en condiciones extremas, actualmente se está abriendo una avenida de investigación integrada a la anterior, pero también orientada a modelar y explicar la evolución de los rasgos fisiológicos, es decir nos interesa no solo como funcionan los organismos vivos sino que también como evoluciona la función fisiológica. El punto importante de destacar aquí es que la adaptación fisiológica, muchas veces pobremente definida o utilizada erróneamente puede finalmente actualmente ser medida, modelada y predicha. En este marco La *Sociedad Española de Biología Evolutiva* (SESBE) está abriendo nuevas oportunidades para que investigadores de variadas disciplinas visualicen sus propios intereses en el marco de la teoría evolutiva. Particularmente llamamos a los fisiólogos animales y vegetales, celulares y de sistemas a incluir formalmente en sus estudios parte integral del conocimiento de la evolución de la función fisiológica.

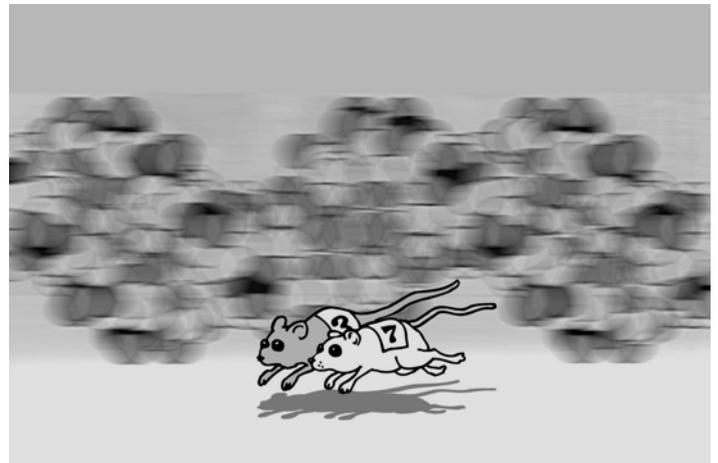
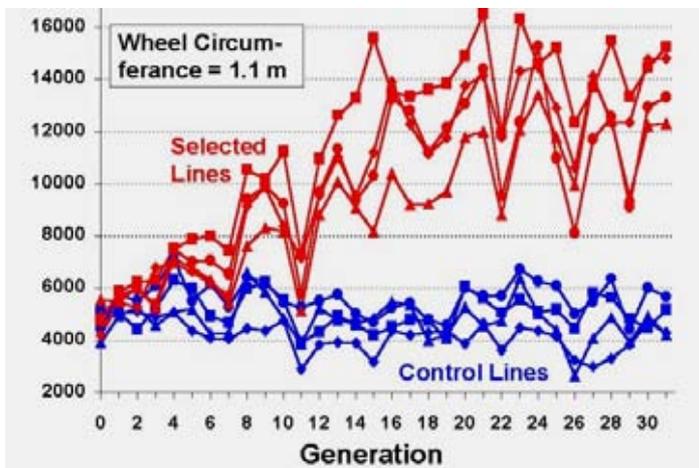


FIG. 1.- Sobre la base de una población de ratones de laboratorio, Ted Garland y su grupo han llevado a cabo experimentos de fisiología evolutiva experimental (experimentos de selección artificial) para aumentar la conducta voluntaria de locomoción. Este proyecto permite someter a prueba la hipótesis de que la conducta evolucionaria primero que la fisiología. Han observado que con la evolución de la velocidad locomotora, existen respuestas correlacionadas en una serie de caracteres poligénicos (por ej., masa corporal, tamaño de camada, capacidad metabólica basal y máxima, hematocrito, hemoglobina, niveles hormonales). Si bien estos experimentos tienen como objetivo entender cómo la fisiología del ejercicio evoluciona junto a niveles voluntarios de actividad, al mismo tiempo poseen un potencial sin límite para cubrir relaciones entre diferentes aspectos de la fisiología y conducta en un marco evolutivo.

Extraído con autorización de:

<http://www.biology.ucr.edu/people/faculty/Garland/Garland2.html>

ZOOLOGIA Y EVOLUCIÓN

Por: José Luis Tellería
Departamento de Zoología y Antropología Física
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Complutense
28040 Madrid
E-mail: telleria@bio.ucm.es

Resumen

El estudio zoológico oscila entre la tradición linneana (inventario de la diversidad taxonómica) y la aplicación de la teoría evolutiva al estudio de los animales. Esta teoría, estructurada bajo la forma de narrativas históricas, preside las hipótesis sobre los procesos que han dado lugar a la fauna actual y es la base sobre la que se articula el estudio de la diversidad zoológica. Las ideas evolucionistas se aplican también al campo de la conservación por lo que difícilmente pueden ser obviadas en el ejercicio profesional de la zoología.

Introducción

La zoología es la ciencia que estudia a los animales. Y éstos, organismos eucariotas, heterótrofos y pluricelulares, constituyen uno de los reinos que configuran la diversidad de la vida en nuestro planeta (Margulis y Scwartz 1998). Como esa definición puede parecer algo inconcreta, diremos que los zoólogos estudiamos a los animales para saber quienes son, cómo son, cómo viven y por qué son y viven de forma tan diversa. Es decir, los estudiamos a través de la tradicional secuencia de aproximaciones descriptivas, funcionales y causales que tan magistralmente describiera Ernst Mayr en varias de sus obras (por ej., Mayr1995).

Como es lógico, cualquier zoólogo definirá mejor su trabajo atendiendo a sus preferencias taxonómicas (herpetólogo, malacólogo...) y temas de estudio (taxónomo, etólogo...). Pero, pese a tal diversidad de enfoques, se considerará zoólogo en la medida en que vea a los animales como objetos de estudio y no como meros modelos con los que explorar otros aspectos de la biología (Futuyma 1988). Aunque ambos planteamientos discurren entrelazados en el quehacer cotidiano de esta ciencia, creo que es ésta la línea que separa, por ejemplo, al ornitólogo que hace eco-morfología del eco-morfólogo que trabaja con aves.

Esta definición de objetivos es también importante a la hora de valorar las relaciones entre la zoología y la teoría evolutiva. Como recordaba Stephen Jay Gould (1994: 253), la teoría de la evolución es una hipótesis sobre los mecanismos evolutivos, pero no sobre el hecho evolutivo. Para los zoólogos, los animales son "el hecho" y la teoría de la evolución - surgida de la mano de algunos ilustres predecesores (Lamarck, Wallace, Darwin, Mayr, etc.) - un potente instrumento con el que estructuramos muchas de nuestras hipótesis.

Es evidente que el interés por el estudio zoológico de los animales es una opción personal que, como ha señalado Dayton (2003), responde frecuentemente a las mismas razones éticas y emocionales por las que muchos decidimos en su día dedicarnos al ejercicio de la Biología. Pero también hay razones científicas que avalan la conveniencia de esta aproximación. La vida no es una mezcla amorfa de materia auto-replicante, sino que se ha organizado en entidades complejas y de características dispares. Los animales son (somos) parte de este proceso histórico de construcción de la vida y, en calidad de contundentes "hechos evolutivos", merecen ser estudiados como un todo. Además, constituidos en poblaciones de individuos (pasaré de puntillas por el concepto de especie, el Santo Grial de la Biología en palabras de Edward O. Wilson, 1992), constituyen piezas clave del funcionamiento de los ecosistemas (Hooper et al. 2005). Por eso, debemos conocer y comprender los procesos ecológicos y evolutivos que los moldean y con los que estructuran, a través de diferentes sinergias, los rasgos del resto de la biosfera,

Importancia de la evolución en el estudio teórico de los animales

En tiempos de Galileo, la mecánica (incluida la astronomía) era la ciencia dominante, con las matemáticas como eje. Por eso, la física, con su fundamento matemático, se convirtió en el modelo de todos los grandes de la revolución científica (Newton, Descartes...). Y esos planteamientos, alimentados por el mecanicismo cartesiano, han servido de base filosófica al quehacer científico de muchas disciplinas. Pero no de todas y, desde luego, no de "toda" la biología, en especial a partir del siglo XIX con la revolución darwiniana.

Según Mayr (2004), la biología podría dividirse en funcional e histórica (o evolutiva). La primera trata del funcionamiento de los sistemas biológicos, incluidos los procesos celulares y el genoma. Muchos de estos procesos podrían explicarse de forma casi mecánica a través de principios compartidos con la química y la física. Pero los seres vivos tienen una historia que los relaciona en el tiempo y que ha dado lugar a su actual diversidad de formas y funciones, su distribución e interacciones. Por eso, es difícil aproximarse a su estudio sin atender a su dimensión histórica. Esta es la biología evolutiva que se inició con Darwin y que ha ido madurando y progresando hasta nuestros días. Sin ella no tiene sentido el estudio científico de la vida.

Parece obvio, por lo demás, que ambas visiones de la biología están adaptadas al estudio de diferentes niveles de organización de la materia viva. La biología funcional se ajusta bien al análisis de muchos aspectos infra-organísmicos, mientras que la evolutiva sirve para abordar el estudio de las poblaciones y comunidades con sus interacciones ecológicas y evolutivas. Además, difieren en los métodos de experimentación. La biología funcional está dominada por la manipulación en condiciones de laboratorio, donde pueden repetirse a voluntad y con relativa rapidez los procesos en estudio. Pero como no se pueden replicar los procesos históricos que han configurado la biodiversidad actual, la biología evolutiva plantea sus hipótesis bajo la forma de narrativas histórica y usa el método comparado o la investigación de campo para testar sus predicciones. Esta es la lógica del estudio de las relaciones filogenéticas de los animales, ciclos vitales, formas, comportamiento, distribución espacio-temporal...

Importancia de la evolución en el estudio aplicado de los animales

Ambas aproximaciones al estudio de la vida difieren también en la aplicación de sus conocimientos: mientras en biología funcional priman los aspectos biosanitarios y biotecnológicos, con sus evidentes implicaciones en el mundo de la salud y de la industria, la evolutiva estudia el origen y mantenimiento de la biodiversidad, entendida como el conjunto de manifestaciones de la vida y de los procesos ecológicos y evolutivos que la mantienen. Sus aplicaciones más evidentes se encaminan hoy hacia la gestión de la naturaleza en un contexto de pérdida generalizada de biodiversidad (Dirzo y Raven 2003). En este campo, las ideas evolucionistas se abren paso con vigor. La pérdida de variabilidad genética (y el consiguiente potencial evolutivo) de las pequeñas poblaciones o los problemas de la introgresión de material genético con la consiguiente pérdida de identidad de los grupos afectados son temas recurrentes en conservación de la fauna desde hace muchos años (Frankel y Soulé 1981). Pero el futuro parece sembrado de nuevas aproximaciones evolucionistas que poco a poco se van incorporando a la praxis de la conservación (Moritz 2002).

Por ejemplo, las modificaciones introducidos por el hombre en los sistemas ambientales del planeta están produciendo cambios drásticos en las condiciones de vida de muchos organismos. Estos pueden sucumbir (la opción más frecuente) o adaptarse a las novedades. Por eso, comienza a reclamarse la consideración de estos aspectos en la gestión rutinaria de los animales. En este contexto, se ha acuñado el concepto de "manejo informado evolutivamente" (traducción libre de *evolutionarily enlightened management*; Ashley *et al.* 2003) para definir esta nueva aproximación a la gestión de los procesos evolutivos contemporáneos.

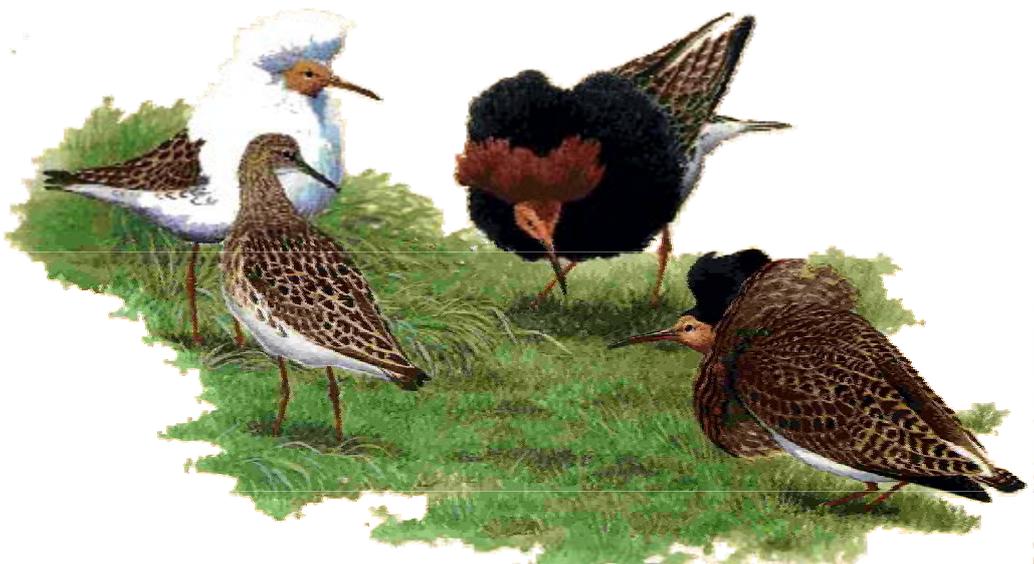
Otro ejemplo del uso de la evolución en zoología aplicada es el uso de la singularidad filogenética como un referente básico a la hora de valorar el interés conservacionista de los diferentes taxones zoológicos (Avice 1992). Según este planteamiento, un taxón singular por su peculiar historia evolutiva es más valioso que otro que cuente con numerosos grupos próximos. Desde una perspectiva evolutiva, su filogenia refleja la originalidad de la información genética que atesora y que se perderá para siempre si el grupo desaparece. Por ello, se está imponiendo la aplicación de estos criterios filogenéticos en los estudio dirigidos a descubrir y proteger las regiones más relevantes desde una perspectiva conservacionista.

Comentarios finales

Por todo lo dicho, resulta difícil pensar que alguien razonablemente informado pueda concebir una zoología sin evolución. Aunque, hay que asumir que algo falla cuando demasiados colegas nos ven a los zoólogos como practicantes de una disciplina descriptiva y algo *demodée*. Y puede que no les falte razón si nos atenemos a los dos aspectos siguientes. En primer lugar, la zoología sigue enganchada al viejo proyecto linneano de inventariar la diversidad de especies de un planeta aún mal conocido (cada año se descubren 13.000 nuevas especies animales; Dirzo y Raven 2003). Se da, además, la paradoja de que este objetivo es hoy más importante que nunca pues urge catalogar y describir la diversidad de animales antes de que desaparezcan. En segundo lugar, este abrumador trasfondo descriptivo, que constituye una parte pero no el todo del estudio zoológico, pesa a veces demasiado en los programas que impartimos en nuestras aulas. Aulas en las que se han formado muchos de esos colegas que hoy no nos comprenden. Como llegan tiempos de cambio en los planes de estudio de la universidad española, debiéramos reflexionar sin complejos sobre la mejor forma de ofrecer a nuestros alumnos una visión dinámica, integral y transversal del mundo animal.

Referencias

- Ashley, M.V., Wilson, M.F., Pergams, O.T.W., O'Dowd, D.J., Gende, S.M. y Brown, J.S. 2003. Evolutionary enlightened management. *Biol. Cons.* 111: 115-123.
- Avise, J.C. 1992. Molecular population structure and the biogeographic history of a regional fauna: A case history with lessons for conservation biologists. *Oikos* 63: 62-76.
- Dayton, P.K. 2003. The importance of the Natural Sciences to conservation. *Am. Nat.* 162: 1-13.
- Dirzo, R. y Raven, P.H. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 137-167.
- Frankel, O.H. y Soulé, M.E. 1981. *Conservation and evolution*. Cambridge Univ. Press.
- Futuyma, D.J. 1988. Wherefore and wither the naturalist? *Am. Nat.* 151: 1-6.
- Gould, S.J. 1994. *Hen's Teeth and Horse's Toes*. Norton & Company.
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J. et al. 2005. ESA Report: Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.* 75: 3-35.
- Margulis, L. y Schwartz, K.V. 1998. *Five Kingdoms. An illustrated Guide to the Phylla of Life on Earth*. Freeman.
- Mayr, E. 1995. *Así es la Biología*. Debate.
- Mayr, E. 2004. *Por qué es Única la Biología*. Katz.
- Moritz, C. 2002. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary process that sustain it. *Syst. Biol.* 238-254.
- Wilson, E.O. 1992. *La Diversidad de la Vida*. Crítica.



IMPORTANCIA DE LA EVOLUCION EN LA PARASITOLOGIA Y EL INTERES DE UTILIZAR UNA APROXIMACION EVOLUTIVA EN ESTUDIOS PARASITOLÓGICOS

Por: Santiago Mas-Coma

Departamento de Parasitología, Facultad de Farmacia, Universidad de Valencia,
Av. Vicent Andres Estelles s/n, 46100 Burjassot, Valencia, Spain

Evolución y coevolución en parásitos

La Parasitología es la ciencia que estudia los seres parásitos, entendiéndose por parásito aquel organismo que vive sobre o dentro de otro denominado hospedador y del que depende para su subsistencia. La Parasitología estudia no únicamente a los seres parásitos, sino esencialmente las interacciones que se establecen entre el parásito y el hospedador, tanto a nivel individual, como poblacional o de comunidad, como de especie. Se trata pues del análisis de un fenómeno fundamentalmente evolutivo, donde el desarrollo del ser parásito y el desarrollo del organismo hospedador evolucionan conjuntamente. La extensión de este concepto a niveles de especie o de taxones superiores, así como la consideración de dicho fenómeno de interacción a lo largo del tiempo se encuentran en la base del bien conocido y trascendental fenómeno de la coevolución.

Al analizar el fenómeno del parasitismo surge un aspecto crucial para su comprensión: la especificidad parasitaria. Se entiende por especificidad parasitaria aquella capacidad de un organismo parásito de seleccionar uno o determinados hospedadores a los que infestar y en los que desarrollarse. O dicho a la inversa, la incapacidad de este mismo parásito de penetrar y desarrollarse en hospedadores que no se encuentren dentro de su círculo de especificidad. El fenómeno de la especificidad parasitaria no es más que el resultado de muy diferentes y numerosas interdependencias parásito-hospedador que van desde el mismo nivel molecular y genético, hasta niveles muy superiores que comprende de hecho un conjunto de aspectos ecológicos y etológicos, pasando por niveles de interacción de tipo muy variado como metabolismo, fisiología, patología, inmunología, distribución geográfica, climatología, etc.

En realidad, pues, la especificidad parasitaria no es más que el resultado de la coevolución de los parásitos y los diferentes especies de vida libre que constituyeron tiempo atrás y constituyen hoy en día los potenciales hospedadores. Cabe concluir, por tanto, que en el origen y diversificación de los seres parásitos, considerar la coevolución resulta pues fundamental. Tanto la adaptación a determinados hospedadores como la adaptación a microhábitats de parasitación concretos han jugado y juegan papeles esenciales en la diversificación, especialización, y por tanto en su evolución.

La complejidad evolutiva de los seres parásitos

Los parásitos se caracterizan, además, por seguir ciclos biológicos complejos a lo largo de sus vidas. A lo largo de estos ciclos pasan por distintas fases evolutivas, fases larvarias diversas y estadios reproductivos y de maduración diferentes. En determinados parásitos, el ciclo biológico se cierra con el concurso de un único hospedador (ciclos de evolución directa), pero en muchos otros grupos de organismos parásitos, las especies precisan pasar por más de un hospedador a lo largo del ciclo (ciclos de evolución indirecta).

Se conocen varios grados de especificidad que van de mayor exigencia (parásitos con un círculo de especificidad más reducido, como los restringidos a una única especie hospedadora o, incluso más allá, a una única subespecie o grupo de poblaciones de una especie con distribución geográfica determinada - cepas geográficas) a menor exigencia (parásitos capaces de desarrollarse en especies hospedadoras muy alejadas filogenéticamente). En general se acepta que el parásito que ha alcanzado una alta especificidad de hospedador ha tenido que coevolucionar durante mucho tiempo con ese hospedador hasta llegar a originar una interdependencia tan estricta, consecuencia de la pérdida de capacidades fisiológicas que a sus

antepasados les permitían desarrollarse también en otras especies hospedadoras. Así pues, dentro de un mismo grupo parasitario, aquellas especies parásitas mostrando especificidades más estrechas serían en general parásitos más antiguos (de origen anterior) que aquellos mostrando especificidades más laxas. Aunque excepciones de parásitos muy específicos resultantes de fenómenos especiales acaecidos de manera evolutivamente rápida también son conocidos.

El interés de las diferentes especificidades destaca en el caso de los parásitos de transmisión vectorial causantes de importantísimas enfermedades tanto humanas como de animales domésticos, esto es, aquellos parásitos que utilizan invertebrados para ser transmitidos al hospedador definitivo. Aquí se incluyen las enfermedades más importantes de la humanidad, como el Paludismo o Malaria, la Enfermedad del Sueño o Trypanosomiasis Africana, la Enfermedad de Chagas o Trypanosomiasis Americana, las Leishmaniasis, las Schistosomiasis o Bilharziasis, la Fascioliasis, las Filariasis o la Onchocercosis que afectan a muchísimos millones de personas en varios continentes. Todas estas enfermedades comparten el distintivo de ser transmitidas por insectos o moluscos (caracoles) respecto de los cuales los agentes parásitos causantes de las enfermedades ostentan una especificidad muy marcada. La especie parásita en cuestión, y la correspondiente enfermedad que origina, se encuentran pues en la intersección de dos coevoluciones distintas: las marcadas por las diferentes especificidades respecto del invertebrado vector y del hospedador vertebrado o definitivo.

La problemática de los estudios sobre evolución de parásitos

La Parasitología siempre ha tenido el gran problema de que no existen restos fosilizados de los organismos parásitos en cuyo estudio basarse para componer la evolución parasitaria. La Paleoparasitología no puede ir más allá que del estudio de momias o de coprolitos relativamente muy recientes en el tiempo. Consecuentemente, desde los inicios de la Parasitología, la evolución de las especies parásitas y sus respectivas coevoluciones con sus correspondientes hospedadores se ha basado en el estudio de fenotipos (esencialmente morfológicos), de ontogenias (esencialmente del ciclo biológico) y de distribuciones geográficas actuales. Los estudios de coevolución descansaban esencialmente en la comparación de las filogenias sobre los grupos parásitos así obtenidas y las filogenias más completas de los organismos hospedadores fundamentadas sobre documentación fósil.

Las modernas tecnologías en el auge actual de la Parasitología

La Biología Molecular, incluyendo técnicas de genotipaje diversas y sobre todo de secuenciación de ADN, ha conllevado una total revolución y la necesidad de revisar muchísimos de los conceptos e ideas sobre evolución de los diferentes grupos parásitos de los que disponíamos hasta hace bien poco. Merecen especial mención la gran utilidad de los diferentes y numerosos marcadores tanto del ADN ribosomal como del ADN mitocondrial, dadas las valiosísimas y muy útiles características de la multiplicidad repetitiva de los genes y espaciadores como la evolución concertada de estos dos tipos de marcadores genéticos, que los convierten en idóneos para este tipo de estudios.

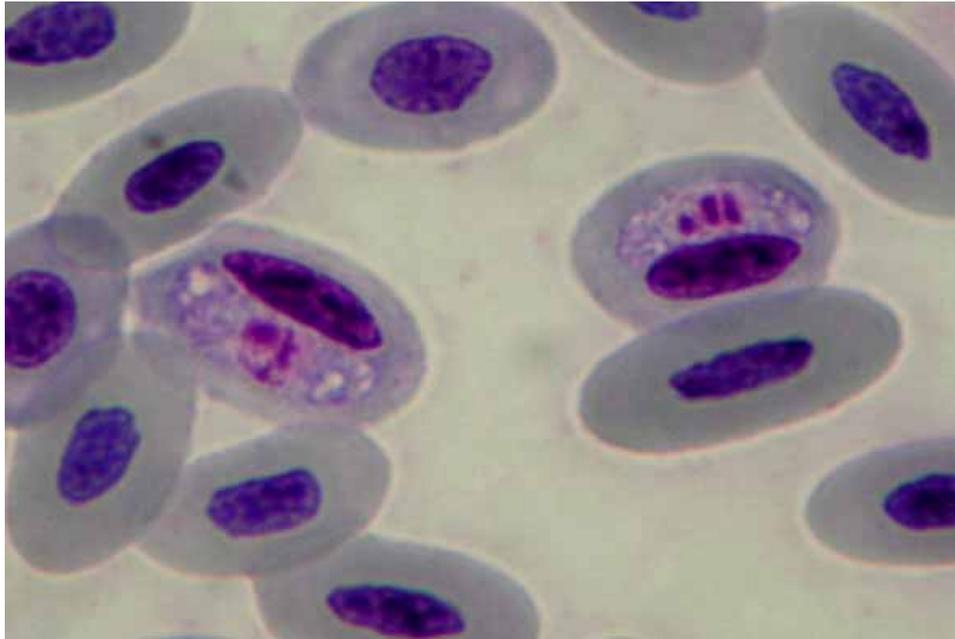
La aplicabilidad de estas técnicas se muestra útil a diferentes niveles. Ya no únicamente para analizar la evolución de grupos de seres parásitos completos o de conjuntos de especies bien próximas y emparentadas, bien más o menos lejanas, sino también para el estudio de fenómenos microevolutivos locales, como sucede en fenómenos de hibridación entre especies de parásitos muy próximos detectables mediante haplotipaje combinado jugando con genes y espaciadores diversos y análisis de microsatélites y de introgresión.

La utilización de los modernos métodos filogenéticos sobre las secuencias de genes y espaciadores de ADN permiten la obtención de filogenias comparables de parásitos y hospedadores, proporcionando un camino para el análisis de la coevolución parásito-hospedador. La aplicación de técnicas de datación mediante reloj molecular, apoyado por la coevolución paralela con hospedadores que cuentan con documentación fósil ofrecen hoy en día posibilidades de profundizar en aspectos evolutivos de los seres parásitos que eran impensables hace sólo dos décadas.

Las modernas metodologías que permiten escudriñar las acciones de los parásitos sobre los hospedadores (patología) y las reacciones de estos últimos (tanto vertebrados como invertebrados) para contrarrestar la acción nociva de los parásitos (respuesta inmune) a nivel molecular están asimismo aportando nuevas facetas sobre la coevolución parásito-hospedador,

sin olvidar los aspectos prácticos de estos estudios moleculares en diagnósticos, tratamientos y desarrollo de vacunas.

Las técnicas de teledetección satelital y los sistemas de información geográfica están actualmente también siendo muy útiles en el análisis de la evolución y dispersión geográfica de las especies parásitas, mediante el estudio concreto georreferenciado solapado con las distribuciones geográficas de los vectores y hospedadores específicos de los parásitos. Este tipo de métodos posibilitan estudios de evolución a más corto plazo, sobre fenómenos recientes y están siendo el foco de atención primordial en estudios punteros hoy en día sobre las influencias del cambio global y del cambio climático sobre los agentes infectocontagiosos en general y la evolución de las enfermedades parasitarias muy en particular.



LA OPINIÓN DEL EVOLUCIONISTA

COMENTARIOS DE ARTICULOS

¿Es la "VER" una teoría científica?

Comentario sobre el artículo:

García Casas, M. 2007. Teoría de la vida embarazada y la reevololución (VER). *eVOLUCIÓN* 2(1): 51-62.

Comentado por Manuel Soler

Dept. Biología Animal, Universidad de Granada
E-mail: msoler@ugr.es

Cuando leí el volumen 2(1) de la revista *eVOLUCIÓN* y eché un vistazo al resumen de este artículo mi primera impresión fue la de "pasar" del tema que es lo que normalmente hacen (o hacemos) los científicos ante textos como éste. Sin embargo, conforme iba ojeando algunos apartados, me fui concienciando de la necesidad de escribir una réplica. Como profesor me preocupa mucho el daño que la lectura de artículos como éste puede hacer en la formación de algunos de sus potenciales lectores. La revista *eVOLUCIÓN* está abierta a todo el mundo, y, seguramente, serán muchos los jóvenes entusiastas, aún con escasos conocimientos, los que se han podido decidir a leer este artículo. Existe el riesgo de que algunos de ellos hayan quedado convencidos por esta idea presentada como científica (aunque heterodoxa, lo cual engancha) ingeniosa, de enorme importancia y con apoyo institucional de la Universidad Politécnica de Valencia en cuya web se encuentra una extensa y detallada página dedicada al autor y a su teoría VER. Una visita a esta página web (¡casi 115000 visitantes en sólo tres años!, desde marzo de 2004) a la que el autor remite al final de su artículo, me ha terminado de decidir a escribir este comentario. Por un lado, porque puede inducir a muchos a pensar que, puesto que está en la web de una universidad, es que se trata de una teoría científica. Y, por otro, porque en dicha web se manifiestan (¡incluso más claramente que en el artículo!), algunos aspectos que pueden inducir a engaño al lector entusiasta pero que no dispone de la preparación necesaria. Por ejemplo, (1) la idea se presenta de una forma tajante dándole una enorme importancia ("La visión de la VER



engloba y relaciona las teorías del origen de la vida y de la evolución biológica y fortalece el evolucionismo"); (2) critica la ciencia ortodoxa, concretamente el darwinismo; (3) la información aportada para apoyar la teoría está completamente sesgada, o incluso, a veces manipulada; (4) se presentan con el pomposo nombre de "Análisis matemáticos" a unas simples correlaciones que no demuestran absolutamente nada relevante relacionado con la pretendida "teoría".

Centrándome en la pregunta que da título a este artículo de opinión: ¿Es la VER una teoría científica como pretende hacernos creer su autor? (el título de la página web es "La vida embarazada: una teoría global sobre la vida terrestre y la evolución"). Para responder a esta pregunta vamos a ver el significado de cada una de las dos palabras, teoría y ciencia. La palabra teoría tiene dos acepciones, popularmente se aplica a una idea que se propone pero que tiene pocas probabilidades de ser cierta. Por el contrario, en el

lenguaje científico, una teoría es una idea ampliamente demostrada, que ha recibido apoyo en numerosos estudios y en una amplia gama de situaciones distintas. Es decir, en el método científico, una teoría es una idea que no puede estar equivocada (puede ser mejorada, pero no rechazada). La VER no ha sido demostrada, ni total, ni parcialmente, por tanto está claro que de teoría científica no tiene nada. Por otro lado, la ciencia, intenta explicar el mundo que nos rodea utilizando el método científico. El método científico consiste, básicamente, en intentar explicar unos hechos mediante la emisión de hipótesis de las cuales se tienen que derivar unas predicciones que deben ser comprobables. Si las predicciones se cumplen, la hipótesis se puede aceptar, al menos de momento, hasta que no se realicen otras comprobaciones. Es decir, el método científico se basa en proponer hipótesis comprobables cuyas demostraciones puedan ser revisadas y replicadas por otros científicos que trabajen en el tema. La VER no permite lanzar predicciones comprobables y está basada, exclusivamente, en especulación de la más barata.

La idea de la "teoría VER", aunque no se especifica en ningún momento en el artículo (aunque sí en la web del autor), está claramente basada en otra hipótesis anterior bastante famosa, la conocida con el nombre de Gaia lanzada por James E. Lovelock a finales de los años sesenta, en la que también se ve a la Tierra como un superorganismo responsable de una regulación del clima que favorece la supervivencia de todos los organismos que lo habitan. Miguel García Casas, autor del artículo, en su web, critica a Lovelock por haberse quedado en los aspectos fisiológicos y metabólicos del superorganismo que sugiere que es Gaia, por no haber profundizado más discutiendo sobre su reproducción. En la página de presentación de la web escribe: "Creo que concebir un organismo como Gaia sin pensar en su reproducción es un error. ¿Puede pensarse en un ser vivo que no se reproduzca?". Y esto es lo que él hace, la "teoría VER" es sólo una ampliación de Gaia, en la que sugiere que el principal objetivo del superorganismo es conseguir una especie inteligente capaz de crear la tecnología necesaria que le permita abandonar la Tierra llevando la vida a otros planetas. El autor de la hipótesis de Gaia, simplemente no añadió nada sobre reprodu-

cción porque era consciente de que no podía hacerlo. James Lovelock era, y es, un científico de elevado prestigio que ha publicado numerosos trabajos en las mejores revistas de ciencia del mundo. Él era consciente de que el valor científico de la hipótesis de Gaia es muy limitado ya que, simplemente, consiste en obtener una generalización de un conjunto de casualidades. No permite la emisión de predicciones comprobables, por lo que no puede ser ciencia, se queda en el campo de la especulación y, añadir más especulación especulando sobre la reproducción del presunto organismo, sólo habría servido para quitar aún más credibilidad a la hipótesis y no habría conseguido la difusión y la aceptación que ha tenido en su versión simplificada.

Por otro lado, Miguel García Casas destaca el aspecto evolutivo de su teoría llegando a afirmar que mejora la teoría evolutiva. La evolución se basa en el cambio producido en los individuos a lo largo de las generaciones. Hacen falta muchas generaciones para que se produzcan cambios importantes detectables. Sólo una pregunta: ¿Cuántas generaciones se han podido producir en las que haya tenido lugar la reproducción del pretendido superorganismo?... Y una simple respuesta: Teniendo en cuenta la edad del Universo y el periodo de tiempo transcurrido para que se desarrolle la vida sobre la Tierra y aparezca nuestra especie con su tecnología, muy pocas.

Yo le pediría al autor del artículo sobre la VER, apelando a su condición de docente, no que abandone su idea (está en su derecho de seguir intentando mejorarla), pero sí que sea más modesto en su presentación, que no la presente como una teoría científica (¡y menos global!) y que no la disfrace con tantos atractivos (heterodoxa, totalmente equiparable a la reproducción de la mujer, presentación de análisis matemáticos etc. etc.) para intentar convencer al público general. Puesto que es biólogo y presenta su idea como una teoría científica, a quien tiene que convencer de la validez de sus argumentos es a la comunidad científica internacional. Y esto, no se consigue escribiendo textos sensacionalistas ni preparando una página web atractiva; se consigue publicando sus datos y argumentos en revistas científicas donde puedan ser valorados y criticados por otros científicos expertos en los mismos temas.

COMENTARIOS DE LIBROS

DARWINISMO Y RELIGION: UNA SELECCION DE LECTURAS

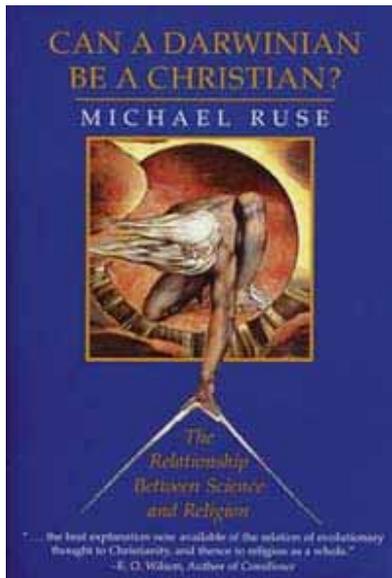
Comentados por Leandro Sequeiros

Facultad de Teología

Universidad de Granada, Campus de la Cartuja

Apdo. 2056, 18012 Granada.

E-mail: lsequeiros@probesi.org



Ruse, M. 2007. *¿Puede un Darwinista ser Cristiano? Las Relaciones entre Ciencia y Religión. Siglo XXI edit., Madrid. 242 pág.* [traducción española de "Can a Darwinian be a Christian? The relationship between Science and Religion". Cambridge University Press, Cambridge]

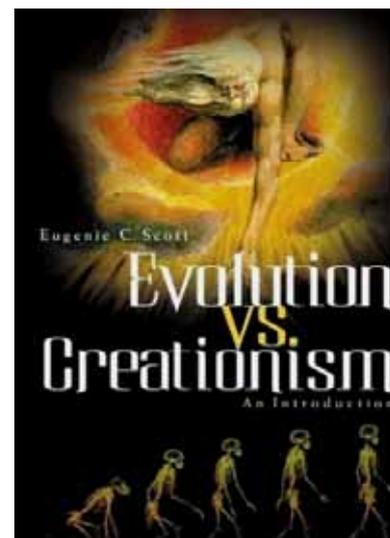
El autor, el profesor Michael Ruse (Birmingham, 1940), es sobradamente conocido por los historiadores de las ciencias de la vida y de la evolución desde hace muchos años. En la literatura traducida al castellano, fue muy bien acogida una sus ensayos más conocidos: *La revolución darwinista. La ciencia al rojo vivo* (edición original de 1979 y en castellano, Alianza Universidad, Madrid, 1983). Profesor de Filosofía en la Universidad del Estado de Florida ha publicado numerosos trabajos sobre las ideas evolucionistas y últimamente, pese a considerarse a sí mismo como ateo, se interesa especialmente por las relaciones entre evolucionismo y religión. Con el provocador título *Can a Darwinian be a Christian?*, el autor, no exento de cierto sentido del humor, interviene en el debate tan extendido en EEUU sobre la alternativa entre Creacionistas y Evolucionistas. La tendencia de los primeros es querer excluir a

los segundos de la posibilidad de seguir siendo creyentes si afirman la evolución biológica entendida desde los supuestos básicos del darwinismo. Si un darwinismo ortodoxo defiende en materialismo, la autonomía de las leyes naturales en el desarrollo evolutivo, la selección natural como proceso al azar y no determinista, la aparición humana desde la emergencia del grupo de los primates, ¿no estamos negando el contenido de los primeros capítulos del libro del Génesis y por ello muchos de los dogmas básicos de la religión cristiana, como la creación, la providencia, la acción de Dios en el mundo y la aparición del alma humana? ¿Es que un darwinista puede seguir siendo cristiano?

Desde esta pregunta provocadora, Michael Ruse ofrece en este documentado ensayo, a lo largo de 12 capítulos, su punto de vista sobre el posible diálogo entre ambas posturas. Apela para ello al esfuerzo de San Agustín y Santo Tomás por hacer compatibles la fe y la razón, el avance del conocimiento del mundo y la teología. Desde esta hipótesis probabilista construye su ensayo. Los dos primeros capítulos presentan su postura ante lo que entiende como "Darwinismo" y como "Cristianismo", pasando a continuación a explorar las posibilidades de un entendimiento teológico y científico de los conceptos elementales: el origen del mundo, los orígenes humanos, el naturalismo, el diseño, el origen de la ética, el darwinismo social, la Sociobiología y por último, la libertad y el determinismo. A lo largo de los capítulos entra en diálogo con otros autores controvertidos que han intervenido en este debate: Richard Dawkins, Stephen Jay Gould, Edward O. Wilson, Arthur Peacocke, Robert J. Russell, Keith Ward. Concluye Ruse que, aunque fue desde el principio muy trabajoso el encaje entre darwinismo y cristianismo, la flexibilización, por una parte, del dogmatismo inicial de los darwinistas, y la capacidad de reelaboración de los conceptos teológicos por parte de muchos cristianos, el diálogo es posible y hoy la Teología no tiene dificultad para aceptar los postulados esenciales de una cosmovisión evolucionista del mundo. Una amplia bibliografía y un completo índice de conceptos hace más valioso este ensayo que es una valiosa aportación al entendimiento del darwinismo y el cristianismo.

Scott, E.C. 2004. *Evolution vs Creationism. An Introduction*. University of California Press, Berkeley, 272 pág.

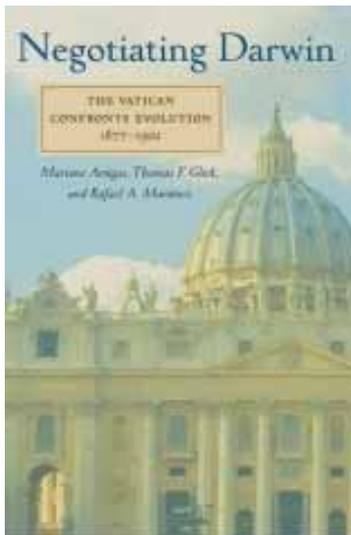
Desde los tiempos de Charles R. Darwin, la polémica entre creacionismo y evolucionismo ha ocupado miles de páginas de la literatura científica, filosófica y teológica. En los Estados Unidos, y sobre todo a partir de los años 30 del siglo XX, los movimientos intelectuales y religiosos intensificaron considerablemente su actividad. Con el tiempo, las estrategias de defensa del creacionismo considerado como paradigma científico frente al evolucionismo científico han ido adaptándose a las nuevas necesidades. En la actualidad, el nuevo creacionismo científico se camufla bajo la etiqueta de "Diseño inteligente" (Intelligent Design). Este sugerente estudio del profesor Eugene C. Scott, director del Centro Nacional para la Educación Científica en EEUU, presenta una panorámica muy documentada y actualizada (aunque en exceso centrada en su país) sobre el origen y desarrollo de las propuestas del creacionismo y su intento de desbanicar al evolucionismo mediante argumentos negativos: mostrar la debilidad de los argumentos evolucionistas para así reforzar que la alternativa más sensata es el creacionismo. Scott, abiertamente partidario del evolucionismo científico, ha acudido a una de las figuras más representativas del evolucionismo científico actual, el profesor Niels Eldredge, investigador en Paleontología en el Museo Nacional de Historia Natural de Nueva York, para avalar con un prólogo su estudio.



El trabajo de Scott se divide en tres grandes apartados: en el primero de ellos ("Science, Evolution, Religión and Creationism") presenta su postura sobre estos cuatro conceptos básicos. Se trata de saber de qué hablamos y en qué sentido se entienden estos cuatro conceptos que han sido usado muy ambiguamente por los autores creacionistas. Tras esta necesaria y adecuada clarificación conceptual, pasa al segundo apartado de su estudio ("A History of the Creationism/Evolution Controversy"). En él, Scott describe la compleja historia de las controversias entre Creacionismo y Evolución desde la misma época de Darwin hasta el llamado Neocreacionismo (representado sobre todo por el Diseño Inteligente). Tras la presentación de este gran escenario, conceptual e histórico, el tercer apartado ("Selection from the Literature") el autor transcribe una serie de textos de gran interés publicados por los defensores de los diversos creacionismos científicos. Estos trabajos, de difícil acceso para la mayor parte de los lectores, representan una recopilación de gran interés para el debate y la lectura crítica que permita conocer las posibles "falacias" de las argumentaciones y, sobre todo, sobre los errores metodológicos del intento de fundamentar unas ciencias de la creación. Una extensa, actualizada y bien documentada bibliografía completan este trabajo que creemos sería de interés ver pronto publicado para el gran público en lengua castellana.

Abate Danielo 1854. *Elementos de Geología Sagrada para uso de los Seminarios y Colegios*. Imprenta y Librería Tudelana, Tudela, Navarra. 180 pág.

La Geología fue, durante la segunda mitad del siglo XIX la piedra de escándalo para la teología tradicional. Los continuos avances en las ciencias de la Tierra a partir de la construcción de un paradigma moderno, iniciado por James Hutton y perfeccionado por Charles Lyell con sus *Principles of Geology* (1830-1834), supusieron una revolución científica que salpicó a la Teología. Desde Hutton y Lyell la dinámica de la corteza terrestre ya no necesita de la intervención milagrosa de Dios sino que se ajusta, al modo newtoniano, a las leyes naturales. El dios-relojero ya no es necesario. Y esto conmovió profundamente los cimientos de la teología, en una época de fuerte integrismo y fundamentalismo antimodernista. Dentro de este contexto hay que leer este tratado que tiene ya 150 años y tiene el valor de lo arqueológico y ayuda a relativizar las interpretaciones dogmáticas. El presente volumen pretende ser un libro de texto para los seminarios y colegios religiosos y pertenece a la línea más abierta del pensamiento de entonces que, aun dando siempre preferencia a la palabra revelada, intentaba un concordismo nada fácil entre Ciencia y Religión, entre la Geología y la Biblia. Las fuentes científicas que recoge son esencialmente francesas y se percibe el influjo de la escuela catastrofista de Cuvier. Al historiador de la geología, le será de interés conocer la primera parte, en la que se sistematiza el estado de los conocimientos geológicos en Francia en el primer tercio del siglo XIX. Y al teólogo, le interesarán las restricciones mentales que ha necesitado hacer el autor para poder armonizar las ciencias y la Biblia, tomada ésta como fuente que es necesario leer al pie de la letra.



Artigas, M., Glick, T.F. y Martínez, R.A. 2006. *Negotiating Darwin. The Vatican Confronts Evolution, 1877-1902*. John Hopkins University Press, Baltimore. 326 pág.

En los últimos años del siglo XIX, tuvieron lugar conflictos de graves consecuencias entre defensores de las ideas evolucionistas de Darwin y las instituciones religiosas, principalmente la Iglesia Católica. La condena de eminentes científicos católicos y teólogos debido a sus planteamientos, ha sido durante muchos años un argumento para intentar mostrar la hostilidad de la Iglesia hacia las nuevas ideas. Muchos de los casos de condena han estado envueltos en el misterio debido a la impenetrabilidad de los Archivos Vaticanos. Pero en 1998 los cerrojos que blindaban los Archivos de la Congregación para la Doctrina de la Fe, que contenía los documentos del Santo Oficio y la Congregación del Índice se abrieron y han permitido reconstruir la verdadera historia de estos conflictos entre las ciencias y la religión. En este documentado estudio de investigación se reconstruyen seis casos notables de conflicto debido a la defensa de las ideas sobre la

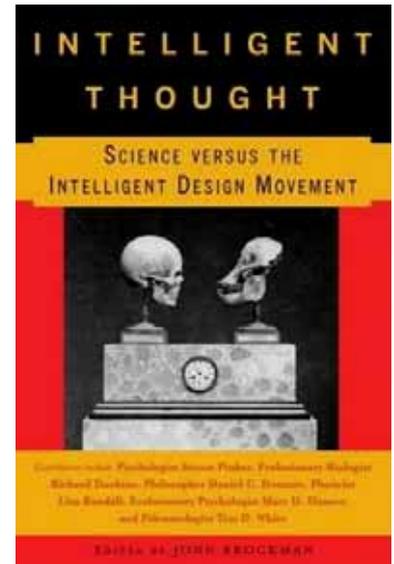
evolución. Cuando en 1996 el Papa Juan Pablo II declaró que la teoría de la evolución debía ser considerada hoy algo más que una hipótesis, se dio un paso sustancial en la perspectiva de la Iglesia respecto al darwinismo. En este trabajo se estudian los procesos eclesiásticos a seis católicos (cinco sacerdotes y un laico) que pretendieron en los últimos años del siglo XIX armonizar las ideas evolutivas de Darwin y el dogma católico.

Los seis casos tuvieron un tratamiento diferente y hasta ahora no han podido ser estudiados en detalle al carecer de acceso a los documentos originales. Las reacciones del Vaticano ante cada uno de ellos fue diferente, aunque hubiera un denominador común. De estos casos, dos provenían de Italia, dos de Inglaterra, uno de Francia y uno de Estados Unidos. El primer caso fue el de Raffaello Caverni (1837-1900), un sacerdote italiano interesado en las ciencias y en la historia que fue condenado en 1878 y sus obras puestas en el Índice de libros prohibidos. El segundo caso tuvo como protagonista a Dalmace Leroy (1828-1905), un Dominicano francés que publicó un libro donde intentaba reconciliar el cristianismo con el evolucionismo. El protagonista del tercer caso fue John Zahm (1851-1921), un sacerdote americano de la Congregación de la Santa Cruz, profesor de Física en la Universidad de Notre Dame. Fue condenado y puesto en el Índice en 1898. El cuarto caso fue el del obispo italiano Geremia Bonomelli (1831-1914) que defendió en uno de sus libros las ideas evolucionistas de Zahm. Sus ideas fueron mal acogidas por el Vaticano por lo que decidió hacer pública una carta de retractación. El otro obispo con problemas fue el Benedictino John Hedley (1837-1915), obispo de Newport, en Gales. Publicó un artículo en el que se mostraba favorable al evolucionismo, aunque era reticente cuando éste se aplicaba al origen del cuerpo humano. La Santa Sede no actuó, pero entabló una polémica con *La Civiltà Cattolica*, publicando una carta que algunos interpretaron como una retractación. El sexto de los casos estudiados aquí minuciosamente es el de St. George Mivart (1827-1900), un importante biólogo inglés que aceptó el evolucionismo. En 1871 publicó un libro en el que sostenía que la evolución era compatible con la doctrina católica.

Este libro no fue condenado por el Vaticano, pero más tarde fueron puestos en el Índice tres de sus artículos que le condujo a una dura confrontación con la Iglesia católica. El volumen concluye con un capítulo que analiza la política vaticana respecto a la ciencia en esa época y el modo de proceder contra los que defendían ideas evolucionistas. Un avance de estas investigaciones fue presentado en 2002 bajo el título "Nueva luz sobre las respuestas católicas a la Evolución: la recepción de las teorías evolutivas en los medios católicos a final del siglo XIX" en un seminario sobre Ciencia y Valores Humanos reunido en Castelgandolfo por el P. George V. Coyne, director entonces del Observatorio Vaticano. Los autores son muy conocidos en el mundo del encuentro entre la Ciencia y la Religión: el profesor Mariano Artigas (fallecido en diciembre de 2006) ha sido profesor de filosofía en la Universidad de Navarra, el Dr. Thomas F. Glick, es un hispanista norteamericano experto en la introducción del darwinismo en España y en Latinoamérica, profesor de historia en la Universidad de Boston, y el Dr. Rafael A. Martínez es profesor de filosofía en la Universidad Pontificia de la Santa Cruz en Roma. Una cuidada bibliografía y unos detallados índices completan este trabajo que arroja mucha luz, no solo sobre los seis casos citados, sino también sobre la política vaticana sobre las relaciones Ciencia-Religión en un periodo muy conflictivo como fue el final del siglo XIX.

Brockman, J. (Ed.) 2006. *Intelligent Thought. Science versus the Intelligent Design Movement*. Vintage Books, Random House New York, 256 pág.,.

En estos primeros años del siglo XXI, el llamado "Diseño Inteligente", considerado como una teoría científica alternativa al evolucionismo científico, está siendo objeto de gran interés para periodistas, educadores y legisladores. La comunidad científica se siente invadida por consideraciones muchas veces extracientíficas que pretenden suplantar paradigmas científicos bien asentados. Después de 150 años, los postulados básicos de Darwin han dado lugar a una interpretación del mundo evolucionista que parece estar siendo socavada con pretensiones de científicidad desde diferentes campos. Esto no es solamente una anécdota surgida de la América profunda sino que está ocupando cada vez más espacio en la cultura de masas. El "Diseño Inteligente", como una propuesta alternativa al evolucionismo, ¿es simplemente una estrategia más de los neoconservadores americanos para mantener las posturas creacionistas?



Este ensayo nace tras el reciente acontecimiento del dictamen del juez Jones en Dover (Pennsylvania, USA) sobre el Diseño Inteligente en 2005. La Junta escolar del Distrito de Dover quería imponer un libro creacionista en la Escuela pública. Un grupo de madres denunció a la Junta escolar. Se conocen como el juicio Kitzmiller y otros contra la Junta Escolar del Distrito de Dover. En esta obra editada por el polémico autor de La Tercera Cultura (Tusquets, 2005), John Brockman, se recogen las opiniones de 16 pensadores sobre ciencia, filosofía y teología sobre este movimiento del "Diseño Inteligente". Entre los que contribuyen en este ensayo destacan nombres tan conocidos del público español como son el biólogo evolucionista Richard Dawkins, el filósofo Daniel C. Dennett, el paleoantropólogo Tim. D. White o el filósofo autor de La Tabla Rasa, Steven Pinker. Todos ellos muestran, desde puntos muy diferentes, el carácter ideológico y no científico del Diseño Inteligente. El ensayo se completa con un documento de excepción: la sentencia del juez John E. Jones III del juzgado del Distrito de Pennsylvania (20 de diciembre de 2005) sobre el Diseño Inteligente, en donde se muestra que, tras oír la opinión de los expertos, se sentencia que ésta no es una teoría científica y da la razón a los padres y profesores del distrito de Dover. En resumen: un ensayo de gran actualidad para poder tener una idea de los nuevos planteamientos del creacionismo científico.

Almera, J. 1878. *Cosmogonía y Geología, o sea Exposición del Origen del Sistema del Universo Considerado a la Luz de la Religión Revelada y de los Últimos Adelantos Científicos*. Librería Religiosa, Barcelona. 508 pág.

El autor, el doctor Jaime Almera y Comas (1845-1919) puede ser considerado como el creador de la escuela de Geología de Cataluña. Ordenado de sacerdote en 1871, dedicó su vida al Museo de Geología del Seminario Conciliar de Barcelona, en un intento de dialogar con las crecientes corrientes antirreligiosas de su tiempo. El trabajo que comentamos tuvo un gran impacto en su época por su interés concordista, dadas las limitaciones de las libertades para la exégesis bíblica. El volumen se inspira en un documento de gran interés: la traducción y adaptación al castellano de "la Historia Antigua de la Tierra" del Reverendo Dr. G. Molloy, catedrático de Teología en el Colegio Real de Maynooth. El intento concordista de Almera tenía por objeto orientar a los católicos, y especialmente a los futuros sacerdotes, en la posibilidad de concordancia de la fe bíblica y los datos de las ciencias dentro del contexto de su época. El volumen se estructura en 30 capítulos, algunos de los cuales cuentan con la colaboración del también geólogo José Joaquín Landerer.

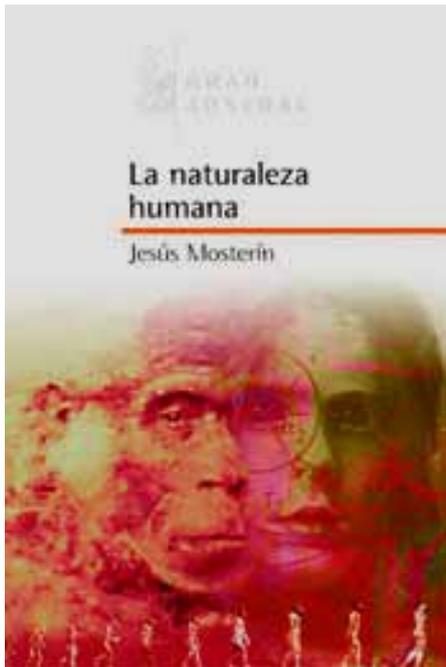
En el extenso prólogo, el autor insiste en los dos puntos que para él son más importantes en este debate: la antigüedad de la Tierra y la antigüedad de la especie humana. En este volumen, sin embargo, se insiste sobre todo en el primero de ellos, dejando para otra ocasión el problema del origen humano. A lo largo de sus páginas, el autor muestra su conocimiento de las teorías geológicas de Lyell (gracias a la traducción española de los Elementos de Geología, realizada por Ezquerro en 1848) lo que confiera más modernidad a su discurso en lo que concierne al uniformitarismo, actualismo y al carácter gradual, lento y progresivo de los

procesos que afectan a la Tierra no viva. Al tratar de los fósiles y la paleontología, alude a su interés para la datación de los terrenos e incluso deja a Landerer que desarrolle lo que en aquellos tiempos se denominaban "leyes de la paleontología". Por ello, desecha la posibilidad de transformismo y evolución (sic), no por razones de fe sino por falta de "fundamento empírico" (no hay formas de enlace entre grupos). La ausencia de pruebas concluyentes para "demostrar" el hecho evolutivo, era en ese tiempo (tal como defendía el catedrático Juan Vilanova y Piera) el argumento esencial contra las emergentes ideas de Darwin (que habían llegado unos años antes, en el sexenio revolucionario). Por ello defiende un "plan de organización" único producido por un creador y acudiendo a los cambios climáticos la aparición y desaparición aparente de los grupos de seres vivos tal como proponer Lyell. En conclusión, una manual de referencia que supone un intento de apertura al concordismo en una época en que esta postura suponía el límite de la apertura mental posible.

Pelayo, F. 1999. *Ciencia y Creencia en España Durante el Siglo XIX. La Paleontología en el Debate sobre el Darwinismo*. Cuadernos Galileo de Historia de la Ciencia, CSIC, Madrid, nº 20. 380 pág.

El profesor Francisco Pelayo (investigador del CSIC de Valencia en el Instituto López Piñero) es un experto en las relaciones entre la ciencia y la religión en España referidas sobre todo a la Geología y a la Paleontología. Ya desde su tesis doctoral ha ahondado en los aspectos espinosos de las controversias entre las Ciencias de la Tierra y el catolicismo español y latinoamericano. Aunque el trabajo ya clásico de Diego Núñez (1967, *El Darwinismo en España*. Castalia, Madrid) presenta un amplio espectro de textos pertenecientes a la controversia en torno a las ideas de Darwin en España, el Dr. Pelayo recupera nuevos materiales y reelabora muchos aspectos olvidados por Núñez y se centra sobre todo en las ideas en torno al registro fósil y su interpretación. A pesar de que ya a finales del período isabelino se había comentado en España la teoría de Darwin, la difusión y debate sobre el evolucionismo en la comunidad científica española se inició en el Sexenio Revolucionario (1868-1874). A partir del discurso de Juan Pablo II a la Academia Pontificia de Ciencias de 1996, en el que manifiesta que la evolución ha dejado de ser una mera hipótesis, el autor elabora su trabajo a partir de una documentación poco conocida e incluso inédita.

Desde una perspectiva no confesional pero sí imparcial y con actitud dialogante, el trabajo se estructura en 9 capítulos. Los tres primeros capítulos abordan la polémica del darwinismo en tres aspectos diferentes: el primero es el del ritmo y el tiempo en la historia de la Tierra, la polémica entre catastrofismo y actualismo; el segundo aspecto es el de la historicidad del Diluvio, y el tercero el de las pruebas paleontológicas de la evolución. Los capítulos 4 a 6 se centran en las posturas científicas, filosóficas y teológicas de algunos de los protagonistas del debate, como el paleontólogo Juan Vilanova y Piera, los naturalistas Antonio Machado y Núñez (el abuelo de los Machado) y Rafael García Álvarez y los intentos de un cierto concordismo (fracasado) entre ciencia y religión. Los tres últimos capítulos (del 7 al 9) se centran en los debates sobre los orígenes de la humanidad, y los conflictos entre las posturas materialistas a través de Haeckel en España, y las posturas confesionales de la Iglesia, tanto intransigentes como dialogantes (Zeferino González, Juan González Arintero) y la difusión de la armonía entre Ciencia y Religión en las revistas católicas (1877-1900). Un interesante apéndice con un texto muy poco conocido (publicado en 1861) de Juan Vilanova y Piera sobre la concordancia entre el libro del Génesis y la Geología y una extensa bibliografía completan este estudio que tiene la virtud de la honestidad intelectual que siempre ha caracterizado al autor.



"LA NATURALEZA HUMANA" de Jesús Mosterín. 2006.

Espasa Calpe, Pozuelo de Alarcón, Madrid

Comentado por Manuel Soler

Dept. Biología Animal, Universidad de Granada

E-mail: msoler@ugr.es

La naturaleza humana ha sido, desde siempre, uno de los temas estrella de la filosofía y del pensamiento humano. ¿Qué características son las que nos definen a los seres humanos como especie? Esta pregunta ha sido una constante sobre la que se ha especulado durante milenios, y la respuesta aportada por cada una de las escuelas de pensamiento a dicha pregunta ha sido una de las claves que han dirigido la historia de la humanidad. Durante ese largo periodo dominado por la especulación sobre el tema, se impuso (principalmente en nuestra civilización occidental), la idea de la ausencia de naturaleza humana, seguramente

por dos motivos principales; uno, la escasez de conocimientos científicos que permitieran abordar el tema de una forma más objetiva y, segundo, por el afán del ser humano de ser algo especial muy superior al resto de los animales.

En la actualidad, las ciencias biológicas relacionadas con la naturaleza humana han avanzado espectacularmente y ya no es admisible continuar especulando impermeables a los nuevos descubrimientos científicos. En su libro sobre la naturaleza humana, Jesús Mosterín demuestra, una vez más, que es un filósofo con una extraordinaria base científica, lo que le permite abordar los temas sobre los que escribe desde la rigurosa perspectiva aportada por el conocimiento de los últimos descubrimientos científicos de los que está muy bien informado. Desde mi punto de vista, ésta es la clave del libro, aunque se mencionan las opiniones de distintos filósofos y de las diversas escuelas de pensamiento, y se presentan las ideas propias del autor sobre los diferentes temas que se van tocando (algunos bastante polémicos y de gran actualidad), la característica general aplicable a todos los capítulos del libro es un enfoque realmente científico. Destaco la palabra "realmente", porque el mantener un enfoque científico es el objetivo de muchos escritores que se dedican a la divulgación, pero no todos lo consiguen porque no conocen realmente los descubrimientos científicos. Por desgracia, con frecuencia muchos se quedan en lo anecdótico, en el tópico, en la opinión crítica que, aunque esté equivocada, se difunde rápidamente y vende más.

Antes de comenzar a describir el contenido del libro quiero subrayar que, en relación con el enfoque científico al que me he referido en el párrafo anterior, Jesús Mosterín destaca ya en el prólogo: "En nuestro tiempo, la única manera intelectualmente honesta de abordar el tema pasa por el enfoque evolucionista". Y en la página 25 dice: "La idea de la evolución ilumina y abraza todo nuestro panorama intelectual". Esta clara apuesta por el marco teórico que aporta la Teoría Evolutiva es una muestra más de su preparación científica y de su independencia intelectual, ya que en España, la tendencia que predomina entre los divulgadores es el mantenimiento de una postura crítica frente a la teoría evolutiva.

En cuanto al contenido, el libro está estructurado en 14 temas. El primero plantea la pregunta de la existencia de una naturaleza humana y, curiosamente, una cuestión como ésta sobre la que se han escrito cientos de libros, tras sólo 7 páginas dedicadas a comentar las distintas opiniones criticando las que niegan su existencia, concluye tajantemente: "Aunque en el pasado las concepciones tradicionales, de raíz religiosa, han inspirado gran parte de las ideas filosóficas acerca de la naturaleza humana, su incompatibilidad con la ciencia actual las hace irrelevantes". El capítulo segundo se dedica a explicar el enfoque evolucionista que predomina a lo largo del libro y, a partir de aquí, comienzan una serie de capítulos dedicados a analizar las características de los seres vivos, de los animales y de los primates (capítulos 3-5). El capítulo 6 se dedica al estudio de los genes y la genética (una de las ciencias que más tiene que aportar sobre el tema de la naturaleza humana, principalmente tras los impresionantes avances conseguidos con el Proyecto Genoma Humano); y el capítulo 7, al cerebro y a la neurobiología, seguramente la otra ciencia clave en la comprensión de la naturaleza humana.

Hasta aquí, en esta primera parte del libro, predomina la descripción, la divulgación científica; pero, a partir del 8, comienza otro bloque que podríamos decir que se caracteriza porque predomina la discusión y análisis de aspectos, con frecuencia polémicos (aunque siempre aportando la información científica más relevante). En los dos siguientes capítulos se tratan dos aspectos tradicionalmente considerados como parte integrante de la propia naturaleza humana: el lenguaje (capítulo 8) y la cultura (capítulo 9). Y en los siguientes se aborda el análisis de los temas más polémicos como la relación entre cultura y natura, las diferencias entre hombres y mujeres, el aborto, la castidad, la eugenesia, conciencia y miedo a la muerte, el suicidio y la eutanasia, la moral, la libertad, la religión y los dioses (capítulos 10-14).

Un contenido como el descrito en el párrafo anterior da la impresión de ser enormemente ambicioso. ¡Y lo es!. Sin embargo, Jesús Mosterín consigue un resultado final realmente digno de elogio. En los primeros capítulos, aquellos en los que predomina la divulgación, consigue presentar una versión veraz y actualizada de muchos aspectos científicos utilizando un estilo directo, con un lenguaje claro y prácticamente sin tecnicismos, que creo, logra poner al alcance del gran público los descubrimientos científicos que describe. En cuanto a la segunda parte, los temas polémicos ya mencionados, son abordados desde una visión científica rigurosa y son tratados sin miedo y sin tapujos dejando las cosas muy claras.

En conclusión, un libro magnífico cuya lectura recomiendo a todo el mundo con la seguridad de que el lector aprenderá muchas cosas, y seguramente, comprenderá otras muchas relacionadas con temas de gran actualidad que con frecuencia son tratados con gran superficialidad, no sólo en la calle, en conversaciones con amigos, sino también en los medios de comunicación.

NOTICIAS EVOLUTIVAS

EVOLUCION EN LAS ONDAS RADIOFONICAS



El pasado quince de marzo comenzó la emisión de "Do the evolution", un programa de radio ideado por un grupo de estudiantes de segundo y tercer ciclo de Biología de la Universidade da Coruña. Este programa se ha convertido en el único espacio radiofónico de Galicia dedicado en exclusiva a la Biología, y muy especialmente a la investigación y a la teoría evolutiva (de ahí el nombre, tomado prestado de una canción del grupo Pearl Jam).

A pesar de que los catorce componentes del equipo son nuevos en el mundo de la radio, la calidad de los programas ha ido en aumento. Cada edición de *Do the evolution* se divide en secciones: *El personaje científico de la semana* (Lamarck, Linneo, Cousteau, Darwin, Dawkins, Dobzhansky...), *Historias científicas*, *Noticias*, *La entrevista de Do the evolution* y *El concurso* (en el que se somete a los entrevistados a una serie de preguntas biológicas de cultura general).

En las diez primeras ediciones han intervenido en el programa los profesores José Miguel Ruiz de la Rosa, Pedro Galán, Andrés Martínez Lage, Enrique Martínez Ansemil y Marcelino Fuentes; la Dra. Marta Vila; varias investigadoras del Grupo de Recursos Marinos y Pesquerías de la UDC, así como de la Unidad

de Investigación Juan Canalejo de La Coruña, y la física Margarita Besteiro (que habló sobre James Lovelock y la Teoría Gaia).

Do the evolution se emite todos los jueves a las 16 h. desde los estudios de CUAC FM (103.4 MHz) situados en el coruñés campus de A Zapateira. A pesar de que a través de las ondas su escucha se limita a la ciudad de La Coruña y alrededores, CUAC FM puede sintonizarse en directo desde www.cuacfm.org. Además, todos los programas de *Do the evolution* pueden descargarse desde la web www.dotheevolution.tk. El programa hará un parón los meses de julio y agosto, y volverá a estar en antena en septiembre de 2007.

Joaquín Vierna (estudiante de doctorado)
Grupo de Investigación en Biología Evolutiva
Facultad de Ciencias - Universidade da Coruña
A Zapateira s/n. E-15071. La Coruña.
E-mail: jvierna@udc.es

EVOLUCIÓN

Sociedad Española de Biología Evolutiva



sociedad española de biología evolutiva

Para hacerse miembro de la Sociedad Española de Biología Evolutiva hay que solicitar la inscripción, realizar el pago de **10 euros** en la siguiente cuenta corriente:

Banco Santander Central Hispano: 0049-6714-26-2190117501

y enviarnos:

- (1) nombre completo y apellidos
- (2) DNI incluida la letra
- (3) domicilio
- (4) número de teléfono
- (5) dirección de correo electrónico
- (6) resguardo de haber realizado el pago.
- (7) cuenta bancaria en la que domiciliar el pago de las cuotas

Estos datos y el resguardo se pueden enviar,

por correo electrónico: secretario@sesbe.org

o a la siguiente dirección:

Prof. Dr. Julio Sanjuan
Unidad de Psiquiatría
Facultad de Medicina
C/ Blasco Ibáñez, 15
46010 Valencia