

# EVOLUCIÓN

VOLUMEN 4 (1) 2009



**DESDE LA PRESIDENCIA**, por M. SOLER — 3

**ENTREVISTA A JOHN ALCOCK**, por J. MORENO — 5

## ARTÍCULOS:

**GARCÍA-BELLIDO, A.**  
Natural selection revisited — 11

**GONZÁLEZ OREJA, J. A.**  
El conocimiento sistemático de la biodiversidad y el impedimento taxonómico — 19

**MORENO, J.**  
La mala fama de Malthus y el rechazo de la “competencia” y la “lucha por la vida” por los críticos del darwinismo — 33

**PÉREZ-URRIA CARRIL, E.**  
Evolución del metabolismo: desde las porfirinas hacia la fotosíntesis — 37

**SEQUEIROS, L.**  
Cuando hablamos de “evolución biológica”, ¿de qué evolución estamos hablando? Implicaciones teológicas — 43

## COMENTARIOS DE LIBROS :

“*Biology Under the Influence*”, de R. Lewontin y R. Levins.  
por A. GARCÍA-VALDECASAS — 55

## NOTICIAS EVOLUTIVAS :

EL SEGUNDO CONGRESO DE LA SESBE — 61

**CIENCIA, EVOLUCIÓN Y CREACIONISMO** - Traducción del folleto divulgativo de la NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF USA & INSTITUTE OF MEDICINE — 63

**NORMAS DE PUBLICACIÓN** — 71

**¡¡ HAZTE SOCIO DE LA SESBE!!** — 72



## Editores de eVOLUCIÓN

José Martín y Pilar López

### Junta Directiva de la SESBE

Presidente: Manuel Soler  
Vicepresidente: Andrés Moya  
Secretario: Hernán Dopazo  
Tesorero: José Serrano  
Vocales: Jordi Agustí  
Josabel Belliure  
Laureano Castro  
Santiago Merino  
Liesbeth de Neve  
Julio Sanjuan

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.

© 2008 SESBE

ISSN 1989-046X

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](mailto: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](mailto:jose.martin@mncn.csic.es)  
[pilar.lopez@mncn.csic.es](mailto:pilar.lopez@mncn.csic.es)

## ¡¡ FELIZ eVOLUCIÓN Y PROSPERO AÑO DARWIN!!

A pesar de la crisis... aquí en eVOLUCIÓN seguimos de celebraciones. Este año se cumple el 200 aniversario del nacimiento de Darwin, sin el cual la SESBE y esta revista no habrían tenido sentido (¿o se llamarían y tratarían temas "más de diseño"?). Afortunadamente, la obra y las ideas de Darwin están más vigentes que nunca y han permitido que la comprensión de la vida haya avanzado de una forma espectacular. Así que empezamos con una pequeña biografía de Darwin en la carta a los socios del presidente de la SESBE (*Manuel Soler*).

Seguimos con una entrevista al Profesor John Alcock, autor de quizás el libro de texto más popular sobre comportamiento animal, y un defensor del triunfo de la sociobiología. Alcock confía en que "la evolución y el Darwinismo están a salvo en las Universidades Americanas". A ver si los aires de cambio de su nuevo presidente, permiten que la evolución se "salve" de la crisis también en el resto del país y en el mundo, y en ámbitos no sólo académicos

Además, presentamos varios artículos que tratan sobre: 1) unas reflexiones sobre la selección natural; 2) los esfuerzos por conocer toda la biodiversidad resultante de la evolución; 3) unas aclaraciones sobre el significado correcto del término "lucha por la vida" en la teoría evolutiva; 4) la evolución de la fotosíntesis en los vegetales; y 5) una revisión de las distintas interpretaciones históricas de la evolución, y sus implicaciones teológicas.

En la sección "*La Opinión del Evolucionista*", presentamos una reseña de un libro con una recopilación de artículos de los polémicos Lewontin y Levins, que pretenden que reflexionemos sobre lo que sabemos y podemos saber con la ciencia.

Por si fuera poco, nos alegra anunciar otra celebración, la del Segundo Congreso de la SESBE en Valencia (noviembre de 2007), organizado por *Andrés Moya*, cuya primera circular podéis encontrar en la sección de "*Noticias Evolutivas*" de esta revista. Animamos desde aquí a los organizadores y confiamos en que este congreso sea un éxito y reúna cada vez a un mayor número de personas estudiosas o difusoras de la evolución.

Por último, incluimos una traducción del folleto informativo "*Ciencia, Evolución y Creacionismo*" producido por un comité de la National Academy of Sciences y el Institute of Medicine. Una magnífica síntesis divulgativa de lo que significan la ciencia y la evolución, en clara contraposición a las "ideas" creacionistas.

Celebremos el cumpleaños de Darwin y pidamos como deseo una mayor difusión y aplicación de la teoría evolutiva, y que la lectura (gratis) de eVOLUCIÓN nos ayude a superar la crisis.

*José Martín y Pilar López*  
Editores de eVOLUCIÓN

## Desde la Presidencia

### El año Darwin

Estimados socios de la SESBE:

En el 2009, año que acaba de comenzar, como seguramente saben todos los lectores de esta revista, se conmemora el doscientos aniversario del nacimiento de Charles Darwin y el ciento cincuenta aniversario de la publicación de su famoso libro "*El Origen de las Especies*". Ambas efemérides han motivado que el 2009 sea conocido con el nombre de "Año Darwin".

Son multitud los actos que se están organizando en todo el mundo para homenajear a Darwin con motivo de estos aniversarios y España no es una excepción. Está prevista la organización de numerosos ciclos de conferencias y cursos, así como la publicación de diversos libros conmemorativos (ver información en la página web de SESBE (<http://www.sesbe.org>)).

Me siento en la placentera obligación de unirme a los merecidos homenajes que se están tributando al insigne científico británico, ensalzando en estas páginas tanto su figura como la relevancia de su obra más importante. Me voy a centrar en dos puntos concretos. Por un lado, presentar una breve biografía de Darwin, destacando los aspectos que más influyeron en su formación y actividad como científico; y, por otro, destacar la relevancia de su Teoría de la Selección Natural que fue presentada en el libro cuyo aniversario se conmemora el presente año.

Charles Darwin fue el segundo hijo varón de una familia de clase media-alta. Su abuelo, Erasmus, fue un médico de gran prestigio que, además, tenía un gran interés por la ciencia, siendo bien conocida su postura evolucionista, ya que defendía que todos los organismos provenían de una forma ancestral. Su padre, Robert Darwin, también médico, fue un avisado hombre de negocios que amasó una fortuna que fue la que permitió a Darwin dedicarse a sus trabajos científicos sin agobios económicos. Cumpliendo con los deseos de su padre, Charles Darwin comenzó a estudiar medicina, pero a los dos años abandonó la carrera (tampoco fue un buen estudiante durante la época escolar) y comenzó a dedicarse a lo que realmente le apasionaba: la historia natural. Sin embargo, la familia lo



convenció de que se hiciera clérigo anglicano, para lo cual era necesario obtener un título universitario en la Universidad de Cambridge. En esta ciudad, el joven Charles tuvo la oportunidad de entablar amistad con científicos expertos en distintas áreas de las ciencias naturales que ejercieron en él una influencia muy positiva. Cuando terminó su carrera, gracias a estos amigos, se le ofreció la oportunidad de embarcar en el Beagle, un buque de la armada británica que tenía la misión de revisar la cartografía existente de las costas sudamericanas.

Cuando se embarcó para ese viaje, en 1831, Charles Darwin era un joven con profundas creencias religiosas que ya tenía una cierta preparación científica (especialmente en el campo de la Geología). Durante los cinco años que duró dicho viaje recogió una gran cantidad de muestras de especies animales para que posteriormente fueran estudiadas, bien por él mismo, o bien por los especialistas en cada grupo. Tras su vuelta a Inglaterra, en el otoño de 1836, se le diagnosticó una rara enfermedad contraída durante su viaje que le producía, entre otras cosas, fuertes jaquecas que, de cuando en cuando, le obligaban a interrumpir su concienzudo y obsesivo trabajo. En 1939, se

casó con su prima hermana Emma Wedgwood, compraron una casa en Down, cerca de Londres, donde vivió hasta su muerte que tuvo lugar el 19 de abril de 1882, a los 73 años de edad. Fue enterrado con todos los honores en la abadía de Westminster, el lugar reservado a los grandes hombres de Inglaterra, muy cerca de Isaac Newton, el otro gran científico británico.

En cuanto al desarrollo de sus ideas científicas, según la mayoría de los biógrafos de Darwin, aunque le había impactado la observación de que las especies de animales que poblaban las Islas Galápagos eran distintas entre sí y de las que habitaban el continente, no fue hasta 1837, un año después de su regreso, cuando observando sus colecciones y revisando sus notas, llegó a la conclusión de que la única explicación posible era que esas especies se habían desarrollado a partir de individuos llegados del continente. Era consciente de que sus amigos de Cambridge, de profundas convicciones religiosas, no aceptarían esta conclusión que contradecía la extendida creencia de que las especies eran inmutables y guardó silencio. Mientras tanto, le daba vueltas al tema de manera obsesiva intentando encontrar una explicación a ese hecho: ¿de qué manera se podían haber producido los cambios que dieron origen a esas especies diferentes? Un año más tarde, en 1838, se le ocurrió la solución gracias a los conocimientos que había adquirido de los criadores de animales, los cuáles conseguían obtener descendientes con unas características concretas (ovejas con más lana, terneras con más carne, o palomas de distintas morfologías) seleccionando a los adultos reproductores que las presentaban.

Darwin pensó que el equivalente en la naturaleza de esta "selección artificial" que llevaban a cabo los criadores sería la competencia entre individuos, ya que la capacidad reproductiva de las especies es muy elevada y producen bastantes más descendientes de los que después llegan a reproducirse. Esto implicaría que los individuos que consiguieran dejar descendencia serían aquellos que fueran portadores de las características más favorables. Las pasarían a sus hijos, con lo que, de forma paulatina, se irían produciendo modificaciones en los descendientes que provocarían un cambio en las poblaciones de manera que cada vez estarían más adaptadas a su medio ambiente.

Darwin llegó pronto a esas conclusiones que son la base de su Teoría de la Evolución por

Selección Natural, como se demuestra en sendos ensayos que escribió, uno en 1842 y otro más largo en 1844. Sin embargo, no los publicó, consciente del rechazo social que sus ideas podrían provocar en una época dominada por tendencias muy religiosas y conservadoras. Se dedicó a continuar reuniendo pruebas que apoyaran su teoría hasta que, en 1858, recibió un ensayo escrito por un joven, Alfred Russell Wallace, en el que pudo comprobar con desesperación que este brillante naturalista había llegado a la misma idea de la selección natural. Gracias a la intercesión de algunos de sus amigos más influyentes se consiguió que la Linnean Society de Londres publicara un artículo conjunto firmado por ambos, Wallace y Darwin, en el que se daba a conocer la idea. A partir de ese momento Darwin dedicó toda su extraordinaria capacidad de trabajo a la tarea de preparar el libro en el que explicaba en detalle su teoría. Finalmente, veinte años más tarde de que concibiera la idea, en noviembre de 1859, se publicó el libro que llevaba por título "*On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*".

Darwin no fue el primer evolucionista. La idea es mucho más antigua y ha tenido muchos seguidores (ya hemos destacado al principio de estas páginas la creencia de su abuelo). El gran mérito de su aportación científica estriba en que descubrió el mecanismo por el que se produce la descendencia con modificación responsable del cambio evolutivo: la selección natural. En aquella época, las maravillosas adaptaciones de los seres vivos se interpretaban como una manifestación de la magnificencia divina. Darwin, gracias a su genial idea, aportó a la Biología lo que Newton había logrado para la Física: una explicación científica que no necesitaba de poderes sobrenaturales para explicar hechos naturales. Su idea está considerada por los historiadores de la ciencia como la más importante e influyente del saber humano, y esta aportación convierte a Darwin en uno de los científicos más importantes de todos los tiempos.

**Manuel Soler**  
Presidente de la SESBE

## Entrevista al Profesor John Alcock

por Juan Moreno

Depto. Ecología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC.

<<Me siento confiado que en las universidades normales en Norteamérica, la ciencia y el darwinismo están seguros>>



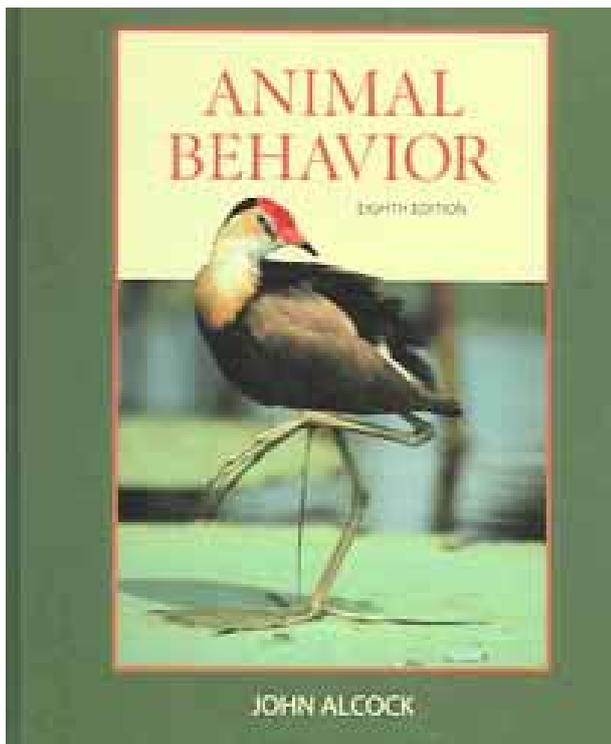
John Alcock es Regent's profesor emérito de biología en la Universidad Estatal de Arizona dónde ha ejercido la docencia y la investigación durante más de 30 años. Se doctoró en Harvard bajo la dirección de Ernst Mayr. Después de pasar por la Universidad de Washington se radicó en Arizona dónde inició estudios pioneros sobre estrategias y sistemas de apareamiento en insectos, especialmente en himenópteros. Sus investigaciones le han llevado desde Arizona a Costa Rica y Australia. Escribió *The Triumph of Sociobiology* (2001) y fué coautor del clásico *The Evolution of Insect Mating Systems* (1983) con Randy Thornhill. El profesor

Alcock ha escrito otros seis libros sobre comportamiento animal e historia natural, entre ellos el quizás más popular libro de texto sobre comportamiento, *Animal Behavior*, del que se han publicado ocho ediciones hasta ahora. Uno de sus libros de divulgación, *In a Desert Garden*, recibió el prestigioso Premio Burroughs' para obras sobre historia natural en 1998. John Alcock también ha recibido el premio *Dean's Quality Teaching Award* para docencia en su primer año de concesión en la Arizona State University.

El profesor John Alcock ha asistido al XII Congreso Nacional y IX Iberoamericano de Etología celebrado en la Universidad de Valencia del 16 al 19 de septiembre de 2008, dónde ha pronunciado la conferencia inaugural con el título "*How the adaptationist programme helped ethology evolve into behavioral ecology*". Amablemente se ha ofrecido a contestar para eVOLUCIÓN a unas preguntas de Juan Moreno, vicepresidente de la Sociedad Española de Etología y socio fundador de la SESBE.

JM: Tras tu visita a España para asistir al XII Congreso Nacional y IX Iberoamericano de Etología en Valencia, ¿cuál es tu opinión sobre el estudio evolucionista del comportamiento en España?

JA: Como mencioné durante el congreso, incluso antes de asistir al mismo, sabía que la ecología del comportamiento en España estaba floreciendo, con España, Suecia, Gran Bretaña, Estados Unidos y Canadá en posiciones de cabeza en esta disciplina. Curiosamente, Alemania, Francia e Italia van retrasadas. Después de asistir al congreso, puedo afirmar que mi opinión sólo se ha visto reforzada. Los numerosos jóvenes investigadores españoles asistentes dieron en general excelentes charlas, bien ilustradas con lo último en tecnología



de presentación powerpoint, sobre temas de importancia para el área. Estoy convencido que los ecólogos del comportamiento españoles van a continuar con importantes contribuciones en los años venideros.

**JM: Tu libro de texto sobre Comportamiento Animal se ha convertido en un clásico, y ¡ya va por su 8ª edición! ¿Vas a seguir revisando el texto en futuras ediciones, y cuáles son sus diferencias con respecto a otros libros de texto universitarios disponibles en el mercado?**

JA: Mi libro de texto está siendo revisado mientras participo en esta entrevista. La próxima será la 9ª a lo largo de un período de 33 años. Mi libro difiere de la mayoría de otros textos por su marcado énfasis en el papel de la teoría evolutiva en guiar la investigación sobre comportamiento y en intentar ayudar a los estudiantes a ver como los científicos emplean el método hipotético-deductivo para resolver científicamente los problemas.

También incluyo muchas preguntas a los estudiantes y a sus profesores en el propio texto para estimular la discusión en las aulas y la solución de problemas. Lee Dugatkin ha escrito un libro similar, pero continúo esperando que una buena proporción de profesores estén dispuestos a adaptar mi libro en los próximos años.

**JM: ¿Cuáles son las líneas de investigación sobre comportamiento más prometedoras actualmente? ¿En qué dirección se moverá la disciplina? ¿Continuará la teoría de la selección sexual dominando la ecología del comportamiento?**

JA: Nunca he sido muy bueno en predecir hacia dónde se moverá el estudio del comportamiento animal. En retrospectiva, está claro que W.D. Hamilton y Robert Trivers tuvieron un enorme impacto en la disciplina y en el trabajo realizado desde la década de 1980, especialmente con respecto a la evolución del comportamiento social y la evolución de interacciones entre los sexos. Creo que la teoría sobre selección sexual continuará siendo extremadamente productiva como guía para la investigación en ecología del comportamiento, pero puede aparecer algo nuevo y apasionante en cualquier momento.

**JM: ¿En qué líneas de investigación sobre comportamiento trabajas actualmente? ¿Es el enfoque evolutivo absolutamente necesario para estudiar comportamiento?**

JA: Mi propio trabajo ha disminuido durante la última década. Sin embargo sigo muy interesado en el comportamiento de apareamiento de abejas, con un proyecto en marcha en Australia en colaboración con Leigh Simmons de la Universidad de Australia Occidental. Estamos estudiando una especie de abeja en que algunos machos compiten por territorios dónde pueden encontrar hembras vírgenes emergentes mientras otros patrullan flores en busca de hembras. También continúo mis estudios de historia natural de insectos cuyos machos esperan a las hembras en las cimas de colinas cerca de mi casa en Arizona central. Este trabajo es fundamentalmente descriptivo, pero siempre intento aplicar la teoría evolutiva cuando planteo preguntas sobre los insectos que observo, como por ejemplo por qué algunos insectos que presentan "hilltopping" practican territorialidad entre machos mientras en otras especies los machos patrullan las colinas de forma no agresiva.

**JM: ¿Ha sufrido el estudio del comportamiento una revolución recientemente? ¿Ha habido un salto cualitativo desde que se ha tomado en serio a Darwin?**

JA: Como he mencionado antes y durante el congreso también, creo que George C. Williams, junto con Hamilton y Trivers, hicieron posible la moderna ecología del comportamiento. La eliminación del pensamiento ingenuo sobre selección de grupo fue crucial para el desarrollo de una aproximación realmente darwinista al comportamiento animal.

JM: ¿Por qué perdió la batalla la aproximación etológica clásica frente a la ecología del comportamiento? Los etólogos como Tinbergen y Lorenz eran de hecho evolucionistas que intentaban entender los orígenes del comportamiento en su medio natural. ¿En qué fallaron? ¿Estaban demasiado centrados en los mecanismos?

JA: La aproximación etológica clásica al estudio del comportamiento falló por que Tinbergen y especialmente Lorenz, en primer lugar no tenían acceso a las modernas herramientas de la neurofisiología y la biología molecular, que eran necesarias para explorar las causas próximas de los instintos, el interés principal de los etólogos clásicos. Además, los etólogos originales no conocían la diferencia entre el pensamiento seleccionista de grupo y el pensamiento darwinista que sustenta tanto la moderna ecología del comportamiento como el estudio de las causas últimas o evolutivas del comportamiento. El tipo de teoría utilizada es fundamental al determinar las hipótesis producidas. Así Lorenz pensaba que la agresión era buena para la especie, mientras los ecólogos del comportamiento ponen a prueba ideas sobre cómo la agresión es empleada en formas que favorecen el éxito genético de los individuos.

JM: Lorenz siempre favoreció una aproximación inductivista, acumulando datos que permitieran posteriores generalizaciones. ¿Cree que se dejó llevar por esta aproximación a la ciencia por lo que no tuvo en cuenta el gran número de hipótesis que se pueden derivar de la teoría de Darwin y de hecho de los propios escritos de Darwin?

JA: En la medida que Lorenz pensaba que era un inductivista se estaba engañando a sí mismo. Pienso que esta filosofía de la ciencia ha sido definitivamente enterrada. No conozco a ningún científico que no sea un hipotético-deducccionista. Uno de los argumentos que

planteo en mi libro de texto es que la razón por la que los científicos del comportamiento, de hecho todos los científicos, pueden avanzar es por que saben como comprobar sus explicaciones deduciendo predicciones de sus hipótesis y luego buscando evidencia que les permita aceptar o rechazar las hipótesis en cuestión. Darwin nos mostró como se podía hacer esto con respecto a hipótesis evolutivas y ello nos ha venido muy bien.

JM: Cuando los etólogos contemplaban las exhibiciones de las aves veían como se originaban en el conflicto entre tendencias o en actividades de desplazamiento, mientras que ahora contemplamos esas mismas conductas como señales más o menos honestas de calidad fenotípica. ¿Podemos olvidar totalmente la visión del etólogo?

JA: Recuerdo que cuando empecé a dar clases de comportamiento, las conductas conflictivas y las actividades de desplazamiento y movimiento de intención eran términos que aparecían en los textos etológicos de la época. Estos términos eran empleados en parte para explicar las causas próximas de algunas exhibiciones y también para ofrecer una explicación de los orígenes históricos de algunas exhibiciones que pudieron empezar como una actividad de desplazamiento para posteriormente ser ritualizadas en el curso de la evolución. Este tipo de explicaciones son potencialmente válidas, aunque el trabajo en este campo se ha evaporado por lo que puedo observar, pero no sustituyen a las hipótesis de los ecólogos del comportamiento sobre el valor adaptativo de las exhibiciones, independientemente de su base próxima o de sus orígenes en el pasado.

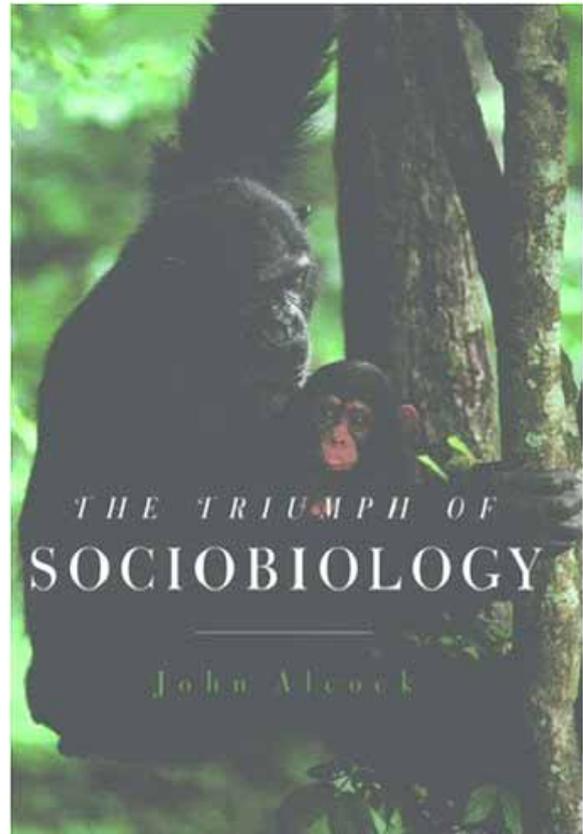
JM: La ecología del comportamiento y la psicología evolucionista actualmente cubren el campo contemplado por Wilson como "sociobiología". Parece haber muchas discusiones entre practicantes de las dos aproximaciones a las sociedades humanas y a la conducta humana. ¿Están los humanos maladaptados a su ambiente actual como argumentan los psicólogos evolucionistas o continúa en el presente la maximización de la aptitud reproductora como pretenden los ecólogos del comportamiento?

JA: Es verdad como dices que parece haber dos campos en la biología evolutiva cuando se trata de comprobar hipótesis

adaptacionistas aplicadas a los seres humanos. Un grupo defiende la evidencia de diseño adaptativo que se ajusta a un ambiente del pasado remoto mientras el otro busca evidencias sobre valor reproductivo en el ambiente actual. Mi sensación es que si se tienen buenas razones para pensar que el ambiente actual es similar a aquel en el que tuvo lugar la evolución humana en algún aspecto, las comprobaciones basadas en efectos sobre aptitud actual funcionarán. Pero si el aspecto del ambiente en que el rasgo es actualmente empleado parece claramente haber cambiado recientemente, entonces es válido realizar una comprobación que determina si el rasgo muestra propiedades que pudieran haber contribuido a la aptitud en el pasado. Así por ejemplo, una preferencia en los hombres por mujeres más jóvenes y fértiles podría seguir generando ganancias en aptitud para hombres que tienen la capacidad de actuar en función de dicha preferencia, aunque el ambiente cultural humano ha cambiado muchísimo durante el último siglo. Creo que el debate entre ambos campos no ha sido productivo.

**JM:** En uno de tus libros has defendido valientemente el estudio evolucionista del comportamiento animal, incluido el humano, resucitando el término tabú "sociobiología". ¿Cuál ha sido la recepción de "*The Triumph of Sociobiology*" entre practicantes de la disciplina y críticos? ¿Por qué es tan difícil conseguir que el término vuelva a circular? ¿Tienen los biólogos evolucionistas miedo de algún tipo de censura por los políticamente correctos críticos?

**JA:** Mi libro sobre la sociobiología empleó repetidamente el término pero creo que ya no es ni muchísimo menos tan tabú como lo era en los setenta u ochenta. Sin embargo es cierto que la mayoría de los ecólogos del comportamiento que trabajan en el área del comportamiento social se describen como ecólogos del comportamiento, no como sociobiólogos, quizás sólo para evitar los problemas de tener que explicar a amigos y familia que no están estudiando el comportamiento humano como podría pensarse. Mi libro intentó argumentar que los sociobiólogos son solo un tipo de biólogos evolutivos y que contrariamente a lo que el público pueda pensar, la disciplina esta teniendo éxitos espectaculares como empresa científica. Desgraciadamente para mí, mi libro ha sido en gran medida ignorado por académicos en



cualquier lugar. Recibió en general buenas críticas con la excepción de un par de antiguos enemigos de Wilson, pero no tuvo demasiadas reseñas y desde luego no vendió más de un par de miles de ejemplares.

**JM:** ¿Cuáles son las principales confusiones sobre la sociobiología? ¿Fue Wilson demasiado drástico al presentarla? ¿Por que se le describe ahora frecuentemente como un brillante entomólogo y ardiente defensor de la biodiversidad y no como un gran evolucionista?

**JA:** En mi libro repasé todo tipo de errores sobre la sociobiología, demasiados para mencionarlos aquí. El error clásico es pensar en la disciplina como dedicada a mostrar que el comportamiento humano está genéticamente determinado, y por tanto no puede y no debe cambiarse. Este error, claro está, fue promovido por los anti-sociobiólogos, especialmente por Steve Gould, por razones ideológicas. Wilson no pudo haber previsto que su enfoque pudiera ser tan consciente y malévolamente malinterpretado por lo que no se le puede culpar por aplicar principios evolutivos al comportamiento humano en un breve y especulativo último capítulo. Creo

que mucha gente quiere ahora disculparse con Wilson por el tratamiento que recibió durante el debate sobre la sociobiología, lo cual es más seguro ignorando su contribución a la biología evolucionista y enfocando en su lugar su experiencia en los estudios de hormigas y su actual pasión por proteger la biodiversidad.

**JM:** Mi impresión y la de algunos de mis colegas es que cierta izquierda académica ha preferido matar al mensajero, es decir a la psicología evolucionista o sociobiología, por si trajera malas noticias sobre nuestro legado evolutivo, antes que aceptar la incorporación de su mensaje a las ciencias humanas y sociales. Pienso que el resultado de este intento de censura ideológica ha sido el retorno del creacionismo pseudocientífico reforzado. ¿Cuál es tu opinión sobre la curiosa coincidencia entre fuerzas religiosas y este influyente sector de la izquierda académica en combatir el estudio evolucionista del ser humano, de hecho en combatir el estudio de los efectos de la selección natural en su totalidad?

**JA:** Tiendo a coincidir en que uno de los efectos arrastrados desde la "controversia" sobre la sociobiología ha sido el intento por los ideólogos creacionistas de retratar a la biología evolutiva como una disciplina académica que está dividida y confusa. Pero los "gouldianos" han sido realmente reducidos a una fuerza trivial en biología, aunque puedan todavía tener cierta influencia en las "ciencias" sociales. Y es posible que algunos tipos religiosos fundamentalistas intenten explotar las críticas de las ciencias sociales hacia la biología evolutiva. Pero mi impresión es que los creacionistas repiten simplemente lo que decían mucho antes de que Gould y compañía aparecieran en escena. Este reciclaje de antiguos argumentos hace mucho refutados parece ser la principal fuerza de la comunidad creacionista.

**JM:** Gould ha tenido una gran influencia sobre los académicos españoles, y el público en España apenas conoce a otro evolucionista reciente que a Gould. Ha intentado de forma confusa apoyar cualquier posible resultado o teoría que negara importancia a la selección natural, mientras al mismo tiempo ha reclamado ser un seguidor del supuesto pluralismo de Darwin. Tú has convincentemente argumentado en varios

artículos en contra de la postura anti-adaptacionista de Gould. ¿Cuál crees que ha sido el efecto final de su campaña y de su obra? ¿Ha contribuido su "pluralismo" en algo al estudio del comportamiento?

**JA:** De nuevo, con respecto a Gould, es cierto que sus críticas de la sociobiología y el adaptacionismo tuvieron eco en las ciencias sociales y entre feministas en los Estados Unidos en las décadas de los 80 y 90. Pero al menos en Estados Unidos su influencia académica ha declinado muy claramente en los últimos años. Hasta donde sé, ningún biólogo del comportamiento está actualmente utilizando las ideas de Gould en su investigación. Y como señalas en tu libro, en cualquier arena en que Gould se batió, sus ideas han sido examinadas y rechazadas por los biólogos evolutivos. La idea de que estaba intentando resucitar el enfoque pluralista de Darwin en biología evolutiva es irrisoria en varios aspectos. En primer lugar, Darwin no era un pluralista sino un seleccionista. En segundo lugar, Gould no era un pluralista sino un negativista interesado únicamente en dificultar la investigación sobre adaptación en biología.

**JM:** Si contemplamos España, Gould parece haber conseguido crear dudas sobre la fuerza de la selección natural entre académicos y el público en general. ¿Por qué crees que su mensaje es tan popular?

**JA:** Pienso que el efecto de Gould sobre los no biólogos, académicos o no, fue principalmente permitirles pensar que su creencia en la "determinación ambiental" del comportamiento humano era correcta. Gould ofreció apoyo académico aparentemente legítimo de un biólogo evolutivo a la creencia de que no necesitamos tomarnos en serio la evolución cuando se trata de nosotros mismos, los humanos. Para muchos, el comportamiento humano es "cultural", no "biológico". Y de nuevo, como señalas muy acertadamente en tu libro, la gente quiere creer que somos tipos fundamentalmente majos y cooperativos que podemos hacer la vida mejor para nosotros y otros si sólo intentamos con más denuedo algún tipo de ingeniería cultural. Muchos de nosotros no queremos oír, por ejemplo, que la razón evolutiva por la que somos capaces de tanta cooperación es para aniquilar a otros grupos cooperativos, otro argumento en tu libro. Sin embargo no pienso que la

mayoría de los científicos evolucionistas, especialmente los adaptacionistas, acepten alguna vez la creencia ilógica y errónea de que la evolución no nos concierne.

**JM:** ¿Cuáles serán los efectos del retorno del creacionismo para la práctica científica y para los temarios universitarios en los Estados Unidos? ¿Podrán los creacionistas revertir la marea darwinista? En un mundo de crecientes conflictos y de serios desastres ambientales, ¿obtendrá la religión la primacía al ofrecer tranquilidad a la gente? ¿Retrocederemos a los tiempos de Galileo cuando los resultados científicos debían estar de acuerdo con las enseñanzas bíblicas?

**JA:** Existe una fuerte resistencia al creacionismo en las universidades de los Estados Unidos. Se han escrito muchos buenos libros por colegas en contra del creacionismo. Existen organizaciones que ofrecen apoyo y consejo a profesores universitarios en este tema. Así en mis propias clases y en las de mis colegas, nos enfrentamos directamente al reto creacionista, no siempre con éxito pero lo intentamos, al mismo tiempo que decimos a los estudiantes que no tienen por que creer lo que decimos pero tienen que entender la naturaleza del debate. Y muchos estudiantes lo entienden. Cuando Richard Dawkins vino a mi universidad recientemente atrajo a una audiencia súper entusiasta de 3000 personas que aplaudieron su mensaje sobre ateísmo. Así que me siento confiado que en universidades y facultades normales en Norteamérica, la ciencia y el darwinismo están seguros. La cuestión es si se puede decir lo mismo de la enseñanza media en los Estados Unidos.

**JM:** Has escrito varios libros sobre historia natural, expresando tu amor por la naturaleza y los procesos naturales. ¿Eres optimista sobre la actual crisis de la biodiversidad?

**JA:** No conozco a nadie en la comunidad de ecólogos, a mí incluido, que piense que el futuro va a traer mejoras en la protección del planeta y su biodiversidad. En los Estados Unidos ningún político de cualquier tipo está intentando sugerir el tema de la estabilización de la población como no sea mantener a mejicanos empobrecidos fuera. Es casi seguro que sería un suicidio político sugerir que el crecimiento de la población puede ser dañino para nuestra nación,



nuestro patrimonio natural y para nosotros mismos. Incluso Al Gore en su admirable carrera post-política como luchador contra el calentamiento global, rehuye afirmar que la causa básica del calentamiento global es un exceso de población. Cuando se le pregunta por el tema, contesta que cuando todas las mujeres tengan acceso a la educación, el problema se resolverá por sí mismo. Pasarán muchos años antes de que se pueda comprobar la validez de esta predicción, y para entonces será demasiado tarde, con al menos otros 3 o 4 miles de millones de personas más, una perspectiva desoladora.

Quiero dar las gracias al Comité organizador del Congreso por haberme dado la oportunidad de venir a España y asistir al Congreso, y a eVOLUCION por permitirme contestar a estas interesantes preguntas.

## Natural selection revisited

**Antonio García-Bellido**

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa. CSIC-UAM. C/ Nicolás Cabrera, 1. Campus de Cantoblanco. 28049 Madrid. E-mail: [agbellido@cbm.uam.es](mailto:agbellido@cbm.uam.es)

*eVOLUCIÓN* 4(1): 11-18 (2009).

The notion of Biological Evolution, as opposite to Creationism, crystalizes in the beginning of the nineteenth century as the result of studies in paleontology, comparative anatomy and embryology. Organisms can be ordered in morphological clusters, separable in taxonomic classes, within which similarity must be based in common descent. At about the same time the notion of Geological Evolution was clearly established. The notion of evolution was accompanied by propositions of causal mechanisms.. For Lamarck organisms readily changed to adapt to environmental conditions, incorporating to their development characters acquired as adults. For Darwin evolution progressed to more adapted forms by a slow process of indirect selection for more fertile progeny in a changing (geological and biological) environment. In both cases a dualistic perspective distinguished an external world providing the driving force for change and the organisms responding with the adaptive capability of change to a maximal fitness. This perspective corresponded to the social awareness of a conflict between individuals, endowed with free will, to respond to foreseeable options of a structured context, albeit changing, in which success was reserved to the fittest. It also reflected Panglossian world of synchronic adequation between interacting elements with a hidden teleonomic necessity. Adaptation (the justification of the extant forms) becomes an a priori explanation of diversity. Variation had to be implemented in the hereditary material and evolution result from changes in it. With the advent of Genetics the imprecise notion of Darwin's monads was substituted by that of genes visualized by their allelic states, The evolution of populations resulted from new allelic assortment of alleles to maintain an equilibrium corresponding to adaptation. Mutations were purposeless changes, favourable or deleterious depending on their combinatorial effects. But Neodarwinism retained the fundamental tenets of the theory of natural selection based on small steps of variation, differentially checked by their effects on survival and fertility at a slow but continuous pace. Unfortunately speciation, i.e. the generation of population discontinuities defied experiment. Moreover populations. Were always in genetic homeostasis. Major changes in forms along evolution had to be explained

recurring to the time parameter. Thus explanations for the steady improvement of an organ, like the eye, or the discontinuous appearance of legs of vertebrates defy reason. The diachronic aspects of evolution causes a major problem trying to understand evolution backwards from the end result to reconstruct the apparent teleonomic causality of adaptation. The Cambrian explosion of morphologies was already a nightmare for Darwin. He had to cast doubts on the age of the rocks or the preservation of fossils in Precambrian (extinction) times.

The advancing knowledge of the generative aspects of morphogenesis in development and in evolution is now illuminating a different perspective to evolution. How can forms be generated with the genetic information that we know early metazoans possessed. Is it there a forward approach to understand evolution from variation had to be implemented in the hereditary material and evolution result from changes in it. These finding beg to reconsider the notion of evolution by natural selection. They rather emphasize the relevance of the propositional aspects of molecular (genetic) interactions, with discontinuous morphological consequences. Possibly the only objective predicate of their adaptive value is being just there. Necessity starts becoming an unnecessary postulate.

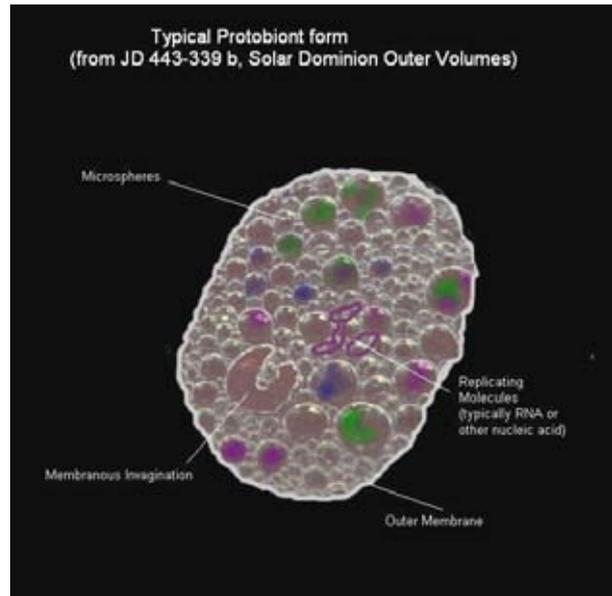
Before entering possible into explanations we have to make some epistemic considerations: causalistic explanations to evolution do (and will ever) resist experimental test. We depend on inductive proposition as natural selection was first proposed. The contextual features of the last half of the XIX century demanded deterministic laws of Nature. In this century strict causality has given way to probabilistic determinism and even to basic indeterminism in physics. We now rationalize complexity bordering chaos. Reductionistic analyses are dissolving old holistic dualisms, because in any interaction is difficult to ascertain who is the subject and who the predicate. We have ceased to look for teleonomic arguments about the sense of the Universe. In this epistemic mood we are justified to consider how far is morphological evolution the result of internal propositions with low relation to external structures. In what does organismic evolution differs from the evolution of atom nuclei to atoms and to molecules?.

## Selection in the prebiotic world

The progression from the phenomenological level of quarks to protons/neutrons, of these to that of atom nuclei and to atoms and to simple molecules can be described as an evolution through levels of complexity. From each level to the upper next a sample of some elements --- with characteristic binding energies into an element of higher complexity, with new emergent properties. The diversity within each level results from different combinations of elements, giving rise to a finite number of nuclear particles, or of atoms. Diversity of galaxies and evolution of stars can be accounted for by changes in the parameter of temperature and gravity. Diversity of molecules, almost in infinite, falls into classes, with different chemical properties depending on their component atoms. In each complexity level the properties of the elements are defined by their interactions, mass, charge and spin in atomic particles, and configuration and electric charges for molecules in solution. Complexity levels are reversible, depending on the scalar values of temperature overcoming binding energies between elements. Neither elements nor their diversity result from response to external structures but result from self-assembly, at given temperatures. At these low phenomenological levels entropy is maximal and degrees of freedom minimal. The appearance of new levels occurs discontinuously. Diversity and abundance of their elements are the direct consequence of collision frequency and binding energies of their components. Salt crystals may grow by additive or complementary accretion. This template amplification will be encountered at its maximal expressed in the protobiotic world.

## Selection in the protobiotic world

Organic molecules, also arise from spontaneous coalescence of free atoms or groups of them, compatible with their shape and binding energies. These mechanisms have given rise to polymers of sugars amino acids and nucleotides. The driving force in these molecular configurations is again temperature and the preconditions of sterical and electrical matching. Truly, the polymerization reaction can be accelerated in the presence of polyionic substrata (colloids, clays) and in biotic systems by enzymes (proteins) with the same function. These molecules are structural propositions without a function until they became interconnected, i.e. "reacted" with each other. These reactions constitute the first node of the complexity level of the protobiotic world. We do not know how they became coupled, but we can speculate why are they still there. Already in this elementary level we have the paradigm to biological evolution.



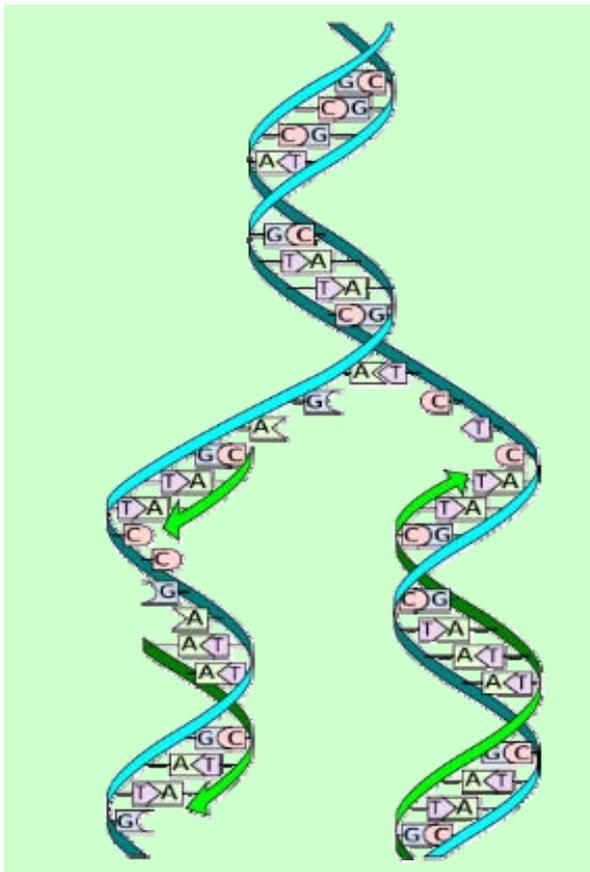
The first polymeres with a capacity of self-replicating were linear RNA molecules. They had in addition the capability of folding upon themselves in secondary palindrome structures and of self-splicing in particular nucleotides sequences. The particularity that certain configurations are more stable and replicate more readily leads to their preponderance in a replicating pool with free nucleotides, polymerases and sources of energy (photons, free radicals in primigenious conditions, and camp in actual experimental ones). Generation of RNA diversity then results from the sterical/electrical properties of their components, not from an external structured environment. Amino acid polymerization into proteins also occurs spontaneously, given certain physical-chemical conditions. The specific amino acid sequences of actual protein result from translation of specific sequences of RNA nucleotides. We do not know how in the prebiotic world RNA-protein coupling (translation) took place. But it leads to an accumulation of peptides with certain configurations (active domains, in actual proteins). We can speculate that their increase in abundance at the cost of other possible ones, could have resulted from their more efficient role in helping, in turn, RNA polymerization. Feed back reactions of peptides more efficient in generating RNA sequences that code for them, could have generated a diversity of sequence singularities that self-maintain in a "meaningless" pool. The only apparent justification of this heterogeneity is its own maintenance and its increasing abundance relative to RNA motifs and peptide domains.

The stability of the double stranded DNA as repository of template sequences used for RNA transcription may have appeared coupled to translation later. Efficiency, based on steric

configuration and molecular recognition, was discovered as a mechanism to be faithfully maintained ever since. Its continuous existence is the only objective attribute to define its selective value for it would be preposterous to look for selective advantage of one type of molecule over others, unless we look to the end result of its implication in living processes in the context of other molecules DNA replication is an emergent property that makes sense a posteriori by its biological implication. It is significant, though that whereas molecules combinations are close to infinite in number, steric limitations due to interaction (the 3rd dimension) constraints variation. We know that the number of RNA motifs and P domains is actually very small in number, of the order of one thousand out of many thousand possible ones.

Gene mutation, as a tautomeric change in DNA (or RNA) sequences allows, above and beyond temperature and electric charge, evolution. Energetically speaking tautomeric changes are equivalent.

Mutation is a random event; its consequences are context dependent. Moreover after template amplification its reversion becomes statistically impossible: it is a contingent event. This property - especially in the highly mutable prebiotic world - has made evolution linear and branching, undetermined but necessarily ever expanding. Its fixation in the population results from consequences many steps separated from its origin. We cannot evaluate how many prebiotic processes are fixed in evolution by historical contingency, rather than by causal (energetic) determinism. Since consequences feed back on



causes it is impossible to decide one way or the other. Protein domains and RNA/DNA motifs (as in enhancer regions) may be fixed by their efficiency in specifically recognizing or being recognized -by molecular matching each other or by specific substrata.

Other biological structures seem to be contingent in origin. Thus, optic handedness of sugars and amino acids is asymmetric in abundance, helical handedness in proteins are probably the result from random events amplified by their efficiency in the subsequent reaction. If enzymes involved in sugar (or amino acid) recognition derived from each other, random amplification ends up with only one type of the two tautomeric forms. The particular RNA codon-aminoacid tRNA- anticodon relationships and its universality are possibly consequences of the same random amplification, relative preponderance and later displacement of configurational alternatives.

Contrary to the determinism in the physical-chemical level contingent events have shaped molecular and organismic evolution. How far will remain an unresolved question. The appearance of mutations in replicative molecules is the inflexion point for further evolution. Thus, mutation is the base of biological diversity. Amplification of mutant forms calls for negative selection or for compensatory mutations in other interacting molecules, from here to further diversity. If replicative efficiency of molecular complexes is the driving force for prebiotic amplification, increasing interactive complexity is the driving force for organismic evolution. With increasing organismic complexity mutational causes become further and further removed, in time and implementation steps; and energetic gradients further separated from the binding energies supporting molecular interactions from the resulting phenotypes. With increasing interactive complexity external physical conditions became less operative in directing biological processes. Molecular specification increasingly overrules physical constraints. Increasing complexity, meaning more efficient amplification becomes, in turn, the driving force of evolution. Complexity makes organisms independent of their environment, capable of tapping infinite reserves of energy and wasting it in their drive for amplification.

### Selection in the eubiotic world

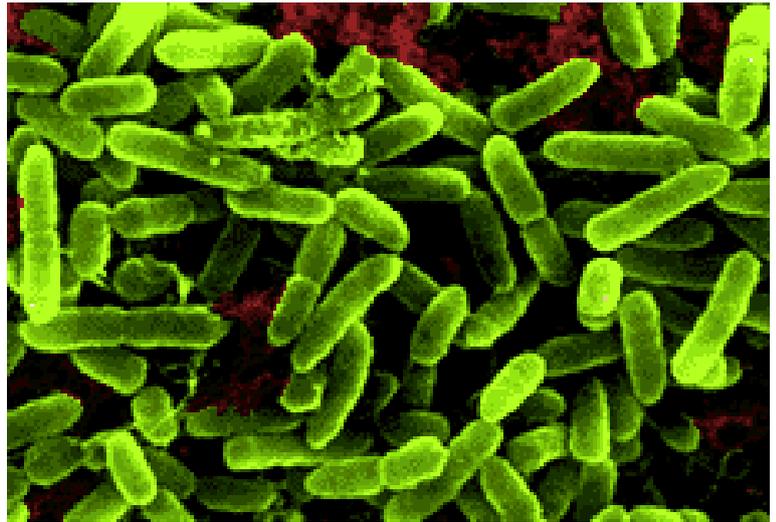
That increasing organismic self-sufficiency causes a shift towards a major role of genetic propositions generating morphologies/physiologies away from adequation with the ecological world. Evolving organisms increase in tolerance as measured by the ratio of the genetic informational content to the actual phenotype. Tolerance is minimal in interacting molecules,

low in viruses, but very high in eukaryotes. The genetic propositions that generate forms remain more dependent on the efficiency of their implementation and hence survival, than on the final form. Adaptation and differential selection as defined from external conditions decreases in morphogenetic relevance with evolution. In fact evolution has not lead to adapted replicative-machines, or even bacteria, but to a plentiful of organic forms. Actual forms are diverse and discontinuous because so are their generative propositions rather than because the clustered structure of selective external conditions. It is my intention in that what follows to explore this extreme view.

DNA mutational variation includes: in addition to nucleotide substitution in coding sequences, reshuffling of DNA sequences (fragments of genes promoter regions or complete genes) to form new genetic combinations. It is then possible that in primitive non-oxidative conditions fragments of DNA could remain in the medium and be exchanged by transformation or transfection between primigenious cells. New genetic propositions resulting from this high DNA turnover were immediately tested, at least fro their speed of reproduction giving rise to selective amplification. The earliest (3000 Mya) cells still represented are the arche-bacteria. A large variety of sources of energy (photons and chemical bonds in organic and inorganic compounds) a rapid cell cycle and high DNA turnover has permitted their extraordinary diversification. Archebacteria represented the testing ground for genes and genetic interactions to be deployed later in eukaryotic multicellular organisms and their physiological invention have remained since unimproved in evolution. Under these conditions the molecular bases for these energetic transactions (photosynthesis, respiration, biosynthesis and secondary metabolism). In archebacteria reached the maximal (minimal free energy) efficiency i.e. enzymatic reactions.

At took 800 My for Arch bacteria to evolve into the earliest eukaryotic cells. Contingency, albeit with a cumulative possibility of ever occurring, may account for major events in the evolution of coupled structures by endo symbiosis of bacterial plastids, mitochondria and nuclei centrosomes and aster, in eukaryotic cells. The first multicellular organisms appeared 700 Mya. The earlier diploblastic metazoa appeared 580 Mya, the earliest triploblasts 560 Mya. And 520 Mya in the upper Cambrian we encounter representatives of the major extant phyla of metazoa.

Comparative analysis of specific protein sequences and their crystallographic conformation between far separated organisms, from yeast to vertebrates, reveals an astonishing conservation. The only reasonable account for



this conservation is that their tertiary configuration is maintained by the specificity of recognition between interacting elements. Molecular recognition, thus, represents the inertial component in evolution. The steric limitations of the 3rd (and 4th) dimension of proteins in molecular recognition leave few ways out for increasing diversity. One is to generate compound genes (made of different exons) for novel allosteric interactions. Other is to increase their number by duplication and subsequent divergence for more subtle modulations of the same primary function (giving rise to gene families). Another alternative is to change (and/or increase the number) the enhancer sequences governing the transcription of coding regions. Thus allowing for new combinations of genes expressed in different cell lineages and at different times or branching points. Comparative molecular analysis is steadily reinforcing our awareness that those are the main genetic mechanisms generating diversity in evolution. Molecular recognition probably explains why not only genes but teams of genes (syntagmata) engaged in a given genetic operation retain their membership in distant organisms. Thus syntagmata for replication, DNA repair, transcription and translational complexes, cell division cell adhesion, apoptosis, stress cell responses, are common to yeast and vertebrates. Moreover syntagmata for cell differentiation and territorial specification retain the same key regulatory (selector) genes from the ancestors of diploblastic and triploblastic taxa. More specific transcriptional regulators are common to latter derivations in the phylogeny of protostomia and deuterostomia, implementing their territorial coordination via cell recognition using again conserved specific ligands and cell receptors.

Thus, developmental diversity in terms of overt differences in anatomical forms or processes has a deep genetic structure based on combinations of preexisting operations - these in turn defined by

molecular recognition that brings us to the question of by which selective processes did high-order organizations - body plans, developmental operations, organs and histotypes may have come to be?

Whereas molecular data speak for substantial genetic conservation preceding the separation of major triploblastic taxa, fossil record shows that these morphologically diverse groups appear within a short lapse time of less than fifty million years. This short lapse of time is that separating species of the genus *Drosophila*, or the caws and whales, insectivores and bats marsupial and eutheria. Interestingly coding differences in the same genes between taxa in the Cambrian correspond in magnitude to the differences separating actual species of mammals of the same genus. Moreover, Cambrian taxa, very discontinuous in morphology, were represented by only few species. As Darwin noticed the Cambrian explosion, and subsequent radiations, put severe challenges to a notion of natural selection by the cumulative fixation of small genetic variants for differentials in fitness. The proposition of highly permissive environments and little competition for resources following major extinction only makes the explanation more difficult: what is the driving force for changing and why the morphological solutions are so diverse?

The Cambrian triploblastic organisms feed, move and reproduce with highly specialized organs. They appear with iterated segment

modularity that allows increase in size and subsequent heterotopyc modulation head and tails respiratory and locomotory appendages skeletal sclerites with all the synapomorphic traits of extant taxa. They cluster in body plan classes (phyla) that we recognized as belonging to e.g. platyhelmyths, crustaceous and chelicerates, annelids, echinoderms and even chordates. Other not readily assignable to extant organisms, share traits (as chimeras) corresponding to different actual taxa. We start understanding the genetic operations that generate these structures, and realizing that the implementing genes are shared by all most or many of these groups. The reasonable conclusion is that the Cambrian morphological solutions result from spatial combinatorials of constant (i.e. later conserved) operations. If there operations are defined by genetic syntagmata, independently tested and proven functional, the next question is to ask why certain combinatorials are preferred over others, generating other morphologies. These combinations have only limited degrees of freedom, some must precede others in cell lineages, and some cannot appear in the wrong lineage or topological position, because the morphological end result is incompatible with locomotion, feeding or reproduction. Selection then becomes an editing process, a permissive rather than an instructive mechanism. Any morphological solution compatible with reproduction will be there - for us to call it adapted. In this view internal consistency is more important than external adaptation. For one thing ecological niches do not precede organisms, are defined by the organisms that occupy them.

### Evolutionary mechanisms

This generative proposition for the discontinuity of morphologies in the Cambrian is paradigmatic for other evolutionary processes and developmental novelties occurring later in Evolution. If selection is stabilizing for maximal homeostasis why did not stop in some arch bacteria? why not in some Cambrian species with all the energetic resources available? why morphological/behavioral changes? Marine animals eventually invaded the solid earth, some terrestrial animals moved back to the aquatic medium or explored the aerial one, phase changes that have occurred many times in evolution. Even fishes explored flying and birds diving in water for long periods of time. By extension how does symbiosis and parasitism comes about? How carnivores become herbivores and vice versa? How species change form the R to the K modes of reproductive strategy, and back when the sacrosanct parameter of fitness is at stake? How neotenic, larval forms open new evolutionary pathways? Again what is the *raison d'etre* of incipient organs? And in general, what are the



motivations for such changes and the selective pressures, operating during these phase transitions?

In answering these classical questions it is immediately obvious that if organisms change is because they are not adapted but continuously adapting. It comes next that in this adaptation the selective steps cannot be for small improvements in a still unknown direction of evolution. With respect to what provides the differential variant a fittest condition, which were the options to select from?

Evolutionary processes appear to follow two regimes that I will call propositional and definitional, acting simultaneously or after one another in any order. They both make use of mutational variation (classical point mutation in coding region and DNA rearrangement), which become established by populational amplification. They differ in the extent in that they force the parameter of "tolerance". Tolerance can be defined by the ratio of genetic complexity (versatility) to phenotypic outcome. It is related to generative degrees of freedom, rather than to homeostasis, and is irreversibly related to amount of genetic load a population can maintain. Thus, tolerance is close to one in phages and increasingly larger in evolved organisms. In a first aspect of the propositional mode naturally expanding populations along ecological clines (temperature, oxygen, light, etc.) or behavioral patterns force their tolerance by restricting their genetic and phenotypic versatility. Accidental breeding isolation, or genetic drift, will fix these genetic combinations, after which tolerance increases again through mutation leading to new genetic propositions. In a second aspect, the genetic propositions may give rise to forms, which are discontinuous respect, the original population and become accidentally isolated as above. If these forms are compatible with enough fertile progeny they stay and fail to survive otherwise, tolerance remaining intact. This first mode has conceptual relationships with notions of preadaptation or cooptation. Molecular drive, new syntagmatic combinations and Neutral selection are at work in the generation of new genetic propositions. It operates readily in diploid, highly complex genomes, since the Precambrian. Contrariwise in the definitional mode population come through ecological bottle necks where tolerance for the particular constraint become too low and only new mutations will rescue the population from extinction. The definitional mode was possibly at work in primitive, haploid organisms with highly polymorphic populations. This mode is the more akin to natural selection for allelic combinations giving albino moths in industrial regions.

It is my contention that its evolutionary role is minimal in higher organisms. Certainly the end result of both operative modes is to give fertile

progeny and stable populations for us to call adapted. But it is doubtful that convergent forms (to fly, to swim or reptate on solid ground) are due to definitional selection in the first stages of the process, or operates in parasitic o symbiotic forms, or in flower/polenizing insect coadaptation. Perhaps that mode is more prevalent in the subsequent, or for the moment being, last steps of these processes.

It is my complementary contention that the propositional mode is the prevalent one in morphological evolution. The generative mechanisms leading to shapes, sizes and pattern operate in a level very far removed from any external structure to which they can be mapped. As combinatorial phenomena are resilient to change, more constrained to work properly than dependent on the end result, (as illustrated by the pervading metavariation discussed below). New morphologies result from genetic propositions that increase tolerance and persist in evolution because are compatible with fertile progeny and with further evolutionary variation.

The genetic bases for increase in tolerance in the propositional mode are the high DNA turnover we encounter in all organisms. It consists fundamentally in the flux of stretches of DNA between any part of a genome, between neighboring regions by unequal crossing over (in diploids) giving rise to gene and regulatory sequences iterations or by gene conversion between chromosomes in both halo- and diploids. As opposite to nucleotide substitution transmission is strictly mendelian, gene reshuffling is pervading and non-mendelian in its transmission. The latter can bring the invariant genes to new interacting nets, and thus create new syntagmatic combinatorials in the same cell, in different cell lineages and at different lineage positions (times). The outcome are new combinatorial propositions of genetic operations, individually tested, long time ago to new developmental programs. This combinatorial versatility of modular processes can give rise to new morphologies, heterotopies like segmental diversification heteromorphisms, (casts, larval stages and metamorphosis) and heterochronies (neotenic and paidogenetic forms, telescoped develop stages). Genomes have a repertoire of potential combinations that cannot be distinguished by or exposed to definitional selection.

But how mutations are fixed and integrated in the genome in the propositional mode? How are they perceived and selected. If physical or ecological adaptation is not the driving force, if fitness measured by fertility is always at its optimum and can shift from the R to the K mode readily what drives change? It is my further contention that this occurs by internal coadaptation, i.e. nucleotide ---- in coding regions select for secondary mutations to accommodate

and retain the function the base of molecular coevolution between interacting genes and their products. This mechanism possibly applies to higher orders of integration. How much variation depends on "retroactive" selection of later appearing structures? Walking on earth fixing the tetrapod limb, the appearance of families of rhodopsins (by unequal crossing over) defining 3 different cone types, (why three? brain areas for vision perception, or brain development driving behavior and hence new morphological explorations? All of them are events that result from internal propositions, which cause through internal coadjustment - irrespective of whether or not have an immediate adaptive value-unforeseeable consequences. How far are these propositions not the best adapted but those, which remain and amplify through subsequent evolution. Possibly the appearance of incipient appendages calls for the conformation of associated muscles, flight as a behavioral trait calls for light bone weight. In general, a morphogenetic proposition based on few genetic changes is a perturbation that drives the selection of further genetic changes to maintain the stability of the form (Cuvier's rule) not for the form itself but for its stability. And this coadaptation operates as long as fertile progeny does not put to risk the whole exploration in the context of high tolerance and low effective genetic load. As long as the functional stability is maintained internal selection can proceed at any rate. Obviously it can be speeded up by chronic mutability as in radiations. But also genetic internal co adaptation can be speeded up by other two (little explored) possibilities: allelic dominance and germ line selection. At the molecular interaction level (not necessarily the external phenotype) heteroallelic combinations are perceived (as dominant or codominant, dose dependent, etc) by interacting molecules. Moreover, If these genes or the operations they intervene are operative in germ line progression dominant mutation or propositions will lead to more gametes carrying the co adapted combination. These are probably the bases for rDNA amplification for defective cistrons. For organisms with long cell lineage preceding meiosis like in Vertebrates and plants many new mutations can be selected in diploids through the complex developmental operation these cells are exposed to before becoming gametes. Internal selection does not necessarily leads to more fit single parental genomes that subsequently amplify in the population, because it can occur simultaneously and independently, with different solutions in several members of that population. Their genomic propositions become later pooled, through sexual exchanges, leading to prevalent proposition by simple genetic drift, or remain as polymorphisms, increasing the tolerance of the species.

That the generative mechanisms themselves are operative in internal selection is especially manifest in the phenomenon of "metavariation" or generative inertia. Examples are evolutionary variations in amino acid sequence of enzymes that retain their three dimensional structure and hence its function and syntagmata can maintain the developmental operation despite substitution of part of their members. At higher complexity levels the individual genes involved in the specification of segments in insects, or of the floral whorls in plants, or chitridial configuration in Vertebrate limbs can change maintaining "archetypical" forms, this metavariation possibly occurs not because selection maintains this morphological solution as the fittest one possibly but because the substitution of elements the original proposition has occurred piece-meal, leaving the global interaction intact; genetic coevolution takes care of it. Generative inertia underlies the evolution of incipient organs and the permanence of atavistic structures or their appearance by mutation.

Neither can biological patterns be in the selected definitional mode operating on their constitutive elements. Chaetotaxis in the genus *Drosophila* reveals constant patterns that appear and disappear as such in different phylogenetic lineages, possibly because they are discontinuous outcomes of few genetic operations. The same contention applies to symmetries (radial, spiral, bilateral in embryos and flowers) to colour patterns in butterflies, fishes and mammals driven by periodic operations with kaleidoscopic outcomes; or of sexual dimorphic character and by extension to the number of appendages, or segments, or floral parts of songs of insects and birds. Why planctonic larvae of different invertebrate phyla do have so diverse morphologies while being exposed to the same external constraints for millions of years? The nature of pattern variation is discontinuous and combinatorial of few operations, impervious to differential selection. All are generative propositions with solutions of such a short wave length that cannot be mapped to the long wave of the scalar structure of the external world. If they operate as identification between individual signals (premonitory for species recognition) must be enough distinct to be told apart by the perceptive member in the transaction. Could it not be that continuous changes in evolutionary trends are not just the result of functional rearrangements of the genome causing them? How far are not giraffe's acromegalic forms that while easily eating high leaves in trees, have to straddle when eating the more abundant grass? How far can we maintain that forms and their evolutionary changes are adaptive features of organisms?

In fact, we run out of genetic arguments of explain why certain morphologies are preeminent or conserved, neither, in terms of their selective value nor in those of invariant mechanism of generation. They just remain and/or continue changing in organisms with enough progeny for us to call them adapted. Evolution looks as an obsessive fleeing ahead, generating novelty for the sake of being different. As to why forms change along evolution, the only objective statement we can put forward is to relate it to the continuous source of propositions made by an intrinsically variable genome. Genetic propositions are implementable, with very efficient energy transaction mechanisms long ago invented, along with decrease in local entropy and increasing degrees of freedom. Perhaps evolution proceeds according to an as yet unspecified thermodynamic law. Counteracting the second one.

### **Información del Autor**

El Prof. *Antonio García Bellido* es miembro fundador del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa. Profesor de Investigación del CSIC desde 1974 dirige el laboratorio de Genética del Desarrollo en el Centro de Biología Molecular. Ocupa más adelante los cargos de director del Instituto de Genética y del Centro de Biología Molecular. Su trabajo ha abierto el camino para llegar a comprender el mecanismo genético de la diferenciación y morfogénesis de los seres vivos. Gran divulgador de sus conocimientos, ha sido profesor invitado en numerosas Universidades y ha dado centenares de conferencias en todo el mundo. Su formación académica con los profesores V.B. Wigglesworth (Cambridge, G.B.), Ernst Hadorn (Zürich, Suiza), A.H. Sturtevant y Edward B. Lewis (CalTech, USA) le proporcionó las bases conceptuales para llevar a cabo análisis fisiológicos, genéticos y de desarrollo de la Morfogénesis, su campo de interés. En la actualidad es Profesor Vinculado Ad Honorem del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y desarrolla su trabajo en el Centro de Biología Molecular Severo Ochoa de Madrid.

## El conocimiento sistemático de la biodiversidad y el impedimento taxonómico

José Antonio González Oreja

Depto. Agroecosistemas y Recursos Naturales; Neiker, Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario; Parque Tecnológico Bizkaia, 812 L; 48160 Derio.  
E-mail: jgonzalez@neiker.net, jgonzorj@hotmail.com

### RESUMEN

El conocimiento sistemático de la biodiversidad es un componente esencial en la gestión racional de los recursos bióticos; sin embargo, el apoyo a la realización de inventarios biológicos y la cantidad de expertos en taxonomía han caído en los últimos tiempos, lo que ha provocado una falta generalizada de conocimiento sobre la magnitud, la identidad y la distribución de la biodiversidad: el “impedimento taxonómico”. ¿Cómo disfrutar y proteger la biodiversidad si no sabemos qué disfrutar y proteger? En un mundo que pierde especies a una velocidad entre 100 y 1.000 veces mayor que la tasa de extinción de fondo, y que atraviesa la Sexta Extinción, es necesario y urgente impulsar la formación de calidad y el empleo continuado de taxónomos, así como la inversión en la investigación sistemática de la biodiversidad. En el texto se critican algunas de las soluciones propuestas, como los megaproyectos en internet (*All-Species*, *Species 2000* o *Tree of Life*), así como las razones que justifican tal necesidad (valores instrumentales, valores intrínsecos, etc.). Nuestra propia supervivencia como especie se basa en la comprensión que tenemos de una mínima fracción de la diversidad biológica, pues sólo se han descrito entre 1,5 y  $2 \times 10^6$  especies, del total estimado entre 3,6 y  $100 \times 10^6$ . ¿Qué oportunidades no estaremos desaprovechando debido a nuestra ignorancia manifiesta? *eVOLUCIÓN 4(1): 19-32 (2009)*.

**Palabras Clave:** sistemática, taxonomía, diversidad biológica, conservación, descubrimiento de nuevas especies, ignorancia, internet.

### ABSTRACT

Notwithstanding that systematic knowledge of biodiversity is an essential element in the rational management of biotic resources, financial support for biological inventories and the number of practicing taxonomists have both declined in the recent past, which have provoked a generalized lack of knowledge on the magnitude, identity and distribution of biodiversity: the “taxonomic impediment”. How to enjoy and protect biodiversity if we do not know what is out there to enjoy and protect? In a world that is losing species at a rate 100-1,000 times faster than background extinction rates, and that is in the middle of the Sixth Extinction, it is imperative to promote the sustained formation and employment of qualified taxonomists, and to fund the systematic research of biodiversity. Some of the proposed solutions are discussed through the text, like internet-based megaprojects (*All-Species*, *Species 2000* or *Tree of Life*), as are the reasons that justify such necessity (instrumental values, inherent values, and so on). Our own survival as a species is based on our understanding of a tiny fraction of the total biological diversity, since only from 1.5 to  $2 \times 10^6$  species have been described, out from a total estimated between 3.6 and  $100 \times 10^6$ . Which opportunities aren't we missing due to our manifest ignorance? *eVOLUCIÓN 4(1): 19-32 (2009)*.

**Key words:** systematics, taxonomy, biological diversity, conservation, discovery of new species, lack of knowledge, internet.

### La sistemática y su importancia en biología de la conservación

La sistemática es el estudio comparado de la biodiversidad —la increíble variedad de formas que adopta el fenómeno de la vida—, y sus objetivos principales son descubrir, describir, clasificar y nombrar a las especies que habitan en la Tierra; situarlas correctamente en el árbol evolutivo de la vida; e interpretar los procesos y los patrones evolutivos que han ocurrido a lo largo del tiempo. El conocimiento sistemático de

los seres vivos enlaza todas las demás áreas de la biología en un marco de trabajo que permite interpretar de modo coherente las características, actividades, distribuciones e historias evolutivas de los seres vivos. La sistemática biológica en general, y la clasificación y nomenclatura en particular, han cambiado notablemente desde sus remotos y venerables orígenes, o desde la publicación de la obra que está en su nacimiento formal para la ciencia, la décima edición del *Sistema Naturae* de Linneo, en 1758. Ya no consiste solamente en la descripción y

catalogación ordenada de los seres vivos dentro de un sistema estático y rígido, entendido como reflejo de la Obra de Dios, sino que se ha convertido en una ciencia dinámica que interpreta las relaciones evolutivas de los organismos y propone clasificaciones acorde con el mejor conocimiento disponible sobre su filogenia. Actualmente, las grandes áreas en las que se desenvuelve la sistemática son (Cracraft 2002): (1) el estudio de la biodiversidad, (2) la documentación de la filogenia de los seres vivos, (3) el análisis de los procesos evolutivos que dan lugar a los patrones biogeográficos pasados y actuales, y (4) la teoría y la práctica de la clasificación y la nomenclatura (i.e., la taxonomía).

Del mismo modo, la sistemática es un componente esencial en los esfuerzos que la sociedad hace para conservar y gestionar de modo racional los recursos bióticos (Cracraft 2002; Wheeler *et al.* 2004; Kim y Byrne 2006). La crisis a la que se enfrenta la biodiversidad en la actualidad (Wilson 1994; Chevalier *et al.* 1997) supone una oportunidad excepcional para incentivar los conocimientos derivados de la taxonomía, empezando por conocer la propia identidad de los grupos de organismos a conservar (Simpson y Cracraft 1995). Ahora bien, aún son muy pocos los taxónomos y sistemáticos que dedican sus esfuerzos a la conservación (Lowry 2001). Documentar la identidad, el estatus y las necesidades de conservación de las especies y sus hábitats tendrían que ser consideradas como labores básicas de investigación y gestión de los recursos bióticos, que se deberían realizar incluyendo no sólo a las especies más visibles o emblemáticas, sino a los espacios naturales de gran tamaño en los que se desenvuelven, así como a los ecosistemas que ahí se encuentran. En el pasado reciente, la designación de espacios naturales como áreas protegidas ha estado dirigida bien por la presencia de unas pocas especies carismáticas, bien por las convicciones personales de quienes han considerado que “su” área de trabajo debía ser protegida. Esta forma de hacer funcionó “bien” mientras que las fuentes de financiación fueron generosas; pero, a medida que los fondos económicos se han ido reduciendo y la pérdida de hábitat ha seguido avanzando, se han desarrollado otros criterios más objetivos para establecer prioridades en la selección de áreas naturales a proteger. En este sentido, lo que más se necesita es una amplia evaluación de diversos grupos de organismos que permita identificar áreas con concentraciones particularmente elevadas de riqueza, endemismos locales, especies amenazadas o taxones con alta importancia para la conservación (Méndez Iglesias 2003; Sarkar *et al.* 2006). Los taxónomos pueden contribuir de modo exitoso a la práctica de la biología de la conservación, pues son ellos quienes atesoran los conocimientos necesarios sobre las especies y sus distribuciones, almacenados muchas veces en vetustas e infrautilizadas

colecciones de pliegos o ejemplares mantenidos en Universidades, herbarios o museos. Al ofrecer los datos esenciales para implementar métodos de trabajo más objetivos en la selección de áreas naturales a proteger, los taxónomos pueden jugar un papel crítico que hará más fuerte y efectiva la conservación de la naturaleza (Lowry 2001).

### El impedimento taxonómico

Sin embargo, el apoyo económico a las labores de recolección de muestras y realización de inventarios ha disminuido de modo notable en los últimos tiempos (Wheeler *et al.* 2004), y la cantidad de expertos bien formados en taxonomía de diversos grupos de organismos ha caído en picado, en parte como resultado de la escasa reputación y los limitados recursos económicos y humanos con que contaron las formas de hacer sistemática durante gran parte del siglo XX. Todo ello provocó el olvido y casi abandono que ha rodeado a las actividades tradicionales de descripción, clasificación y nomenclatura de los seres vivos (Godfray 2002; Schweitzer 2008), y generó lo que ha sido identificado como el principal problema para el avance de esta ciencia hoy en día: la escasez de taxónomos, que forma parte del así llamado “impedimento taxonómico” [Anexo 1].

En esencia, el impedimento taxonómico se refiere a la falta de conocimientos disponibles sobre la magnitud, la identidad, y la distribución de la biodiversidad, y a las limitaciones que ello impone en las labores de conservación y gestión racional de los recursos bióticos. El impedimento taxonómico se refleja, por ejemplo, en la documentada escasez en el número total de especialistas en taxonomía, con cifras globales estimadas actualmente en torno a los 6.000-7.000 expertos (Schnack y López 2003; Wilson 2003a), o en el lamento de algunos jóvenes investigadores en taxonomía, que se han percatado del reducido número de colegas profesionales con que cuentan, casi todos ellos como una decena de años más viejos (Schweitzer 2008). Esta sensación de aislamiento afecta en realidad a muchos taxónomos que trabajan en Universidades rodeados por bioquímicos, biólogos celulares o biólogos moleculares, cuyos proyectos reciben generalmente un mayor presupuesto (de Carvalho *et al.* 2008). Podríamos decir que así como la biodiversidad está en peligro de extinción (véase más abajo), también lo están quienes se dedican a su estudio sistemático. La situación podría empeorar en el corto plazo, ya que la edad media del plantel de taxónomos crece con el tiempo (pues casi no hay regeneración), debido a que los estudiantes universitarios se decantan mayoritariamente por otras ramas de la biología, más “atractivas” (Raven 2004).

Además, la distribución del esfuerzo investigador en taxonomía no sigue el patrón que sería de

esperar de acuerdo con la biodiversidad. Si las cosas no han cambiado de modo significativo desde el estudio de Gaston y May (1992), un poco menos de un tercio de todos los taxónomos trabajan sobre vertebrados (un grupo poco importante numéricamente, con unas 45.000 especies), aproximadamente otro tercio investiga sobre plantas (con una riqueza en especies casi 10 veces superior a los vertebrados), y la mayor parte del resto (un poco más de un tercio del total) se centra en los animales invertebrados (que superan en especies a los vertebrados por un factor de 100 o más). La pasión que despiertan los vertebrados de pluma y pelo (i.e., las aves y los mamíferos) se refleja también, por ejemplo, en el hecho de que la *Royal Society for the Protection of Birds*, del Reino Unido, agrupa a más de un millón de socios, mientras que la *Botanical Society of the British Isles* está formada por sólo unos 10.000 (May 2002). En fin, casi el 82% de la población del planeta se localiza en los países pobres y poco desarrollados, que capitalizan tan sólo como el 15% de los recursos económicos y humanos, aunque atesoran quizás hasta el 80% de la biodiversidad global (Raven 2004).

Lo cierto es que no es posible conocer y menos aún evaluar, conservar o utilizar la biodiversidad sin contar con los taxónomos necesarios, expertos en las múltiples formas que adopta el fenómeno de la vida. Incluso hoy en día, más de una década después del reconocimiento inicial del problema, falta la experiencia taxonómica necesaria y suficiente como para describir de modo efectivo la biodiversidad de la Tierra (Evenhuis 2007). ¿Cómo vamos a disfrutar y proteger la biodiversidad si antes no tenemos el conocimiento sobre lo que podemos disfrutar y debemos proteger? Es necesario impulsar las labores de investigación sistemática de la biodiversidad y, aún más importante, es urgente hacerlo ya (Simpson y Cracraft 1995; Wheeler *et al.* 2004; Schweitzer 2008).

Por si fuera poco, además de la escasez de expertos en taxonomía, se han descrito otros problemas que podrían ralentizar aún más el conocimiento de la biodiversidad de la Tierra, como lo que podría denominarse un impedimento nomenclatural (Acosta 2007), o la baja tasa de producción científica de los taxónomos (i.e., de publicación y divulgación de resultados obtenidos en proyectos de investigación), que es menor que la esperada (Evenhuis 2007). Medio en broma, medio en serio, Evenhuis (2007) ha publicado incluso una guía para cubrir los “*Ocho Pasos a la Iluminación Total y el Nirvana Taxonómico*” (*sic*) que permiten darse cuenta y apreciar en su justa medida el gozo derivado de (1) el trabajo en íntimo contacto con la naturaleza, (2) la recolección de muestras y ejemplares, (3) su clasificación y ordenación posterior, (4) el descubrimiento de especies raras o incluso nuevas, (5) la investigación bibliográfica, (6) la descripción e

ilustración de nuevas especies, (7) la escritura de manuscritos y su publicación, así como (8) la educación y formación final de quienes leen y consultan las publicaciones realizadas (véase también Flowers 2007, y con más detalle de Carvalho *et al.* 2008). Pero esto es harina de otro costal. La buena noticia es que la taxonomía puede volver a florecer como ciencia (Godfray 2002; Wheeler *et al.* 2004).

## Posibles soluciones

Hay quien ha propuesto una evolución de la taxonomía hacia una nueva ciencia de la información, basada en una estructura cibernética propia del siglo XXI, administrada de forma centralizada desde internet (Godfray 2002; véase Godfray *et al.* 2007 para detalles sobre la así llamada Iniciativa CATE: *Creating a taxonomic e-science*). Una nueva forma de hacer sistemática que genere productos “entregables” útiles a la vez que atractivos para sus usuarios finales, la sociedad en general; y que sea capaz de competir por la asignación de recursos económicos limitados con proyectos de gran calado y reconocido prestigio internacional, como por ejemplo el Proyecto Genoma Humano ([http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human\\_Genome/home.shtml](http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/home.shtml)) o la Cartografía Digital del Cielo (<http://www.sdss.org/>). Si cada especie de ser vivo presente en la Tierra ocupara una página web en internet, con un resumen de lo que se conoce sobre sus características diagnósticas, distribución geográfica, requerimientos de hábitat, relaciones ecológicas, posición filogenética, genoma, importancia para la humanidad, etc., entonces el conjunto de todas esas páginas darían forma la Enciclopedia de la Vida (Wilson 2003a), el esperado y justo colofón a la magna empresa iniciada por Linneo en el siglo XVIII: una representación completa de la biodiversidad de la Tierra, de polo a polo, de los virus a las ballenas, del genoma a los ecosistemas (Wilson 2004). Para muchos autores, el objetivo de descubrir, describir y clasificar todas las especies de este planeta es una empresa de magnitud global, que necesita de herramientas globales, y tiene todos los requisitos como para ser considerada “Gran Ciencia” (Wilson 2003a; Wheeler *et al.* 2004). Empero, también hay quien opina que la globalización de la taxonomía puede repercutir de modo negativo precisamente allí donde más se necesita, en los países en vías de desarrollo, y que la solución no está en la informatización del conocimiento en sistemática (de Carvalho *et al.* 2005, 2008; véase más abajo).

Quizás algo más “esotéricamente”, otros han pensado que la secuenciación masiva del DNA y la generación de herramientas que faciliten la identificación directa de los seres vivos, similares a los “códigos de barras” que se usan en los supermercados para identificar los productos de

la cesta de la compra (Hebert *et al.* 2002; DeSalle *et al.* 2005; véase, por ejemplo, Lanteri 2007 para una aproximación en español a algunas de sus aplicaciones), pueden ayudar también al renacimiento de la taxonomía en general, y de la investigación para describir e inventariar la diversidad de la vida en particular.

En realidad, todas estas ideas podrían ser tan sólo mucho ruido y pocas nueces: una tormenta de verano que se olvide poco después de que pase, con lo que se desperdiciaría la oportunidad actual y se perdería el ímpetu necesario para mejorar el conocimiento sistemático de la biodiversidad (Mallet y Willmott 2003). Como ejemplo están los revuelos y esperanzas que levantaron la facilidad operativa y aparente objetividad de los métodos de la Taxonomía Numérica (Hull 1970), y que sedimentaron en prácticamente nada tras unos 25 años (de Carvalho *et al.* 2008). Quienes critican el nuevo paradigma reduccionista de la “ciberautomatización” de la taxonomía, que equipara la sofisticación tecnológica con el progreso conceptual, y que llevado al extremo apostaría por la sustitución de los taxónomos por máquinas capaces de avanzar en la identificación de muestras biológicas, argumentan su punto de vista en los logros de programas de formación de taxónomos que han recibido suficiente apoyo económico (de Carvalho *et al.* 2007). Allí donde este apoyo económico ha sido sostenido en el tiempo, se ha formado suficiente personal investigador en taxonomía, que ha sido contratado posteriormente por la Universidad, y que ha avanzando en el conocimiento de la biodiversidad (de Carvalho *et al.* 2008).

En todo caso, la importancia del conocimiento derivado de la sistemática en diversas ramas de la biología aplicada queda de manifiesto al recordar que la supervivencia de nuestra propia especie en este planeta depende de nuestra comprensión sobre la diversidad biológica que nos rodea, así como de la interacción prudente que tengamos con sus componentes. La economía del mundo gira en torno a los bienes y servicios derivados de una fracción mínima de la biodiversidad (pues, quizás, conocemos aún menos del 5-10% de todas las especies existentes, y explotamos una fracción ínfima de este valor; véase más abajo). ¿Qué oportunidades no estaremos desaprovechando debido a nuestra ignorancia? Afortunadamente, ya se están llevando a cabo iniciativas que buscan mantener y promover el desarrollo de la sistemática y la taxonomía en general, así como mejorar nuestro conocimiento sistemático de la realidad natural en particular. Estos proyectos están descubriendo, describiendo e inventariando la diversidad de especies de la Tierra; analizando los datos obtenidos en forma de clasificaciones que reflejen la historia evolutiva; y organizando toda esta información del modo más útil posible a la sociedad. Además de la *Global Taxonomy*

*Initiative* [Anexo 1], entre los proyectos más ambiciosos están *All-Species, Diversitas, Species 2000* y *Tree of Life* [Anexo 2].

### Necesidad del conocimiento en sistemática

¿Cuántas especies habitan la Tierra; cuáles son sus características y propiedades; qué relaciones evolutivas se dan entre ellas? Nadie duda de que sea deseable responder a estas y otras cuestiones similares (Cracraft 2002). Es decir, descubrir, describir y conocer las relaciones evolutivas de todas las especies que habitan la Tierra. Asumiendo que la biodiversidad total de la Tierra es de  $\sim 10\text{-}20 \times 10^6$  especies (véase más abajo), y que sólo se han descrito cerca del 10% desde los tiempos de Linneo, entonces quedaría por describir el 90% restante. Desde una posición quizás muy optimista, algunos autores (por ejemplo, Wilson 2003a [Anexo 2]) han realizado una defensa entusiasta de la idea, y para completarla han marcado un horizonte temporal de tan sólo una generación, ¡25 años! Desafortunadamente, ni siquiera se sabe con exactitud cuántas especies han sido descritas ya por la taxonomía, y las estimas están en el rango  $1,5\text{-}2 \times 10^6$ ; ello implica la existencia de una cantidad similar de epítetos binomiales (sin contar con los de rango taxonómico superior), entre los que hay una gran cantidad de sinónimos (Alroy 2002): nombres distintos que designan la misma realidad biológica. En todo caso, nadie duda de que la biodiversidad conocida sea sólo una pequeña parte de la realmente existente. ¿Cuántas especies hay en la Tierra? La mejor respuesta a esta pregunta es que... ¡nadie sabe la respuesta! Ni siquiera dentro de un orden de magnitud. En efecto: ésta es una de las siete grandes preguntas de la sistemática biológica, y una de las cuestiones que aún forman parte de la “Gran Ciencia” de hoy en día (Cracraft 2002). Admitiendo nuestra enorme ignorancia, y con resultados diversos en función de los métodos utilizados, se estima que la magnitud total de la biodiversidad puede estar entre  $3,6$  y  $100 \times 10^6$  especies eucariotas (Cracraft 2002; Wilson 2003a; Mace *et al.* 2005).

En todo caso, el grado de conocimiento taxonómico de la diversidad biológica ya descrita es muy heterogéneo, y varía con el tamaño corporal del organismo (cuanto más pequeño el organismo, peor se conoce el grupo al que pertenece) y con la localización geográfica del área de estudio (pues se conoce mejor la biodiversidad de las regiones templadas del hemisferio norte, y peor la de latitudes tropicales o regiones muy distantes de los centros de investigación). Nuestra ignorancia es máxima respecto a las bacterias y otros microorganismos de los que depende toda la biosfera, la “materia oscura” de la biodiversidad (Wilson 2004), y queda patente al recordar que las cianobacterias (antiguas algas verde-azuladas) pertenecientes al género *Prochlorococcus*, que

capitalizan entre el 30 y el 80% de la producción primaria global, y que probablemente son los seres vivos más abundantes en la Tierra (pues se estima que su abundancia total es de unos  $10^{29}$  individuos, aproximadamente  $100 \times 10^3$  en cada mililitro de agua de los grandes mares y océanos), no se describieron para la ciencia hasta 1988 (Wilson 2003a).

¿Dónde están todas las especies, todos esos seres vivos que comparten con nosotros este planeta, la Tierra? Tampoco lo sabemos, y ésta es otra de las siete grandes cuestiones de la sistemática, la más básica para el conocimiento biogeográfico de la biodiversidad; cualquier respuesta a esta pregunta será sólo tan buena como lo sean los inventarios biológicos disponibles (Cracraft 2002). De ello dependen, por lo menos en parte, el descubrimiento de nuevas medicinas, el ecoturismo, el comercio de recursos naturales y bióticos, el control de plagas y enfermedades, así como de especies invasoras, la mejora de los cultivos gracias a la diversidad presente en parientes silvestres, el análisis de los efectos del cambio global, etc. Lo cierto es que la biodiversidad está en todas partes: en los desiertos, los océanos, los cuerpos de agua dulce, las selvas tropicales siempre verdes, los bosques de latitudes templadas, las praderas de la alta montaña, los parques urbanos, los jardines... Una gran parte de la riqueza en especies de este planeta se registra en las selvas y junglas de América Central y del Sur, África ecuatorial, y el Sureste de Asia, así como en los arrecifes de coral de las mismas latitudes.

Ahora bien, ¿qué sabemos en realidad de las características, la ecología o el estado de conservación de las especies que ya han sido descubiertas y nombradas por la ciencia? En la inmensa mayoría de los casos, ¡prácticamente nada... o casi! Hay enormes lagunas en nuestro conocimiento sobre la biodiversidad ya descrita. Baste señalar que quizás más de la mitad de las especies se conocen tan sólo de la localidad en la que fueron descubiertas; o, aún peor, que en un buen número de casos el conocimiento se limita a un único espécimen, nada más (Stork 1997). Pero es que, más importante aún, la biodiversidad es en realidad mucho más que la extraordinaria cantidad y variedad de especies y sus nombres (Wilson 1994; Sarkar 2002; Mace *et al.* 2005). Incluye la variabilidad genética que hay entre los organismos que componen las poblaciones y finalmente las especies, variabilidad que se pone de manifiesto en las numerosas y muchas veces sutiles diferencias interindividuales, como las velocidades de reacción metabólica de las enzimas de peces de aguas polares vs. tropicales; los sabores de las variedades de chile que encontramos en los mercados; los cantos de los pájaros de los bosques; o los rasgos de todo tipo (moleculares, anatómicos, de comportamiento y personalidad, etc.) que hacen que todos y cada uno de

nosotros seamos únicos e irrepetibles. El concepto de biodiversidad también incluye la variedad de organizaciones jerárquicas de orden superior que crean las especies y su medio ambiente: comunidades y ecosistemas, también diversos en su estructura y funcionamiento, como las formadas por los detritívoros y descomponedores de materia orgánica de todo tipo que habitan en el suelo de las junglas y selvas siempre verdes, y los mutualistas de limpieza de los arrecifes de coral de las latitudes tropicales; o las plantas del sotobosque de los encinares mediterráneos y las comunidades infaunales de las rasas intermareales sobre sedimentos fangosos de las costas de nuestras latitudes.

Lo cierto es que aún estamos lejos de poder cubrir el ambicioso objetivo de completar la Enciclopedia de la Vida, y también hay quien cree que podría ser inalcanzable, al menos a una escala global y en un horizonte de tiempo razonable (Godfray 2002). Incluso teniendo en cuenta las mejoras que se están produciendo en la práctica taxonómica (imágenes digitales, secuenciación de DNA y códigos de barras genéticos, bases de datos informatizadas en internet, etc.), el límite temporal antes citado de una generación [Anexo 2] resulta simplemente “increíble” para algunos autores, por decirlo suavemente (como se desprende de la pregunta retórica “*What these people had been smoking?*”, May 2004). En otro lugar (González Oreja 2008a) he explorado las relaciones que hay entre la tasa a la que se describen nuevas especies, el tiempo necesario para describir todas las especies de la Tierra a esa velocidad, y la pérdida de biodiversidad que se produce a lo largo de ese tiempo. Asumiendo algunos valores previos (como el número de especies ya descritas, el número total de especies, el número de taxónomos existentes en la actualidad, la tasa de formación de nuevas especies por especiación, la tasa de extinción, etc.), es posible calcular que se necesitan, ahora mismo, y durante los próximos 25 años, entre 66.000 y 236.000 taxónomos que describan la biodiversidad no conocida a una velocidad entre 5 y 1,4 nuevas especies cada año, respectivamente. Sin embargo, está claro que esas grandes cantidades de expertos en sistemática y taxonomía son inexistentes, debido, precisamente, al impedimento taxonómico. Llegados a este punto, alguien podría preguntar: ¿qué más da si no aumenta nuestro conocimiento sistemático de la biodiversidad? Teniendo en cuenta los múltiples valores que atesora (servicios ecosistémicos realizados, relacionados con la polinización de los cultivos, la purificación del aire y del agua, el control de la erosión y de las inundaciones, el ciclo biogeoquímico de los nutrientes, o el control y la regulación del clima, por ejemplo; valores instrumentales (por beneficios económicos directos e indirectos) derivados de su uso como fuentes de recursos bióticos útiles en

alimentación, salud, etc.; valores intrínsecos de naturaleza estética, ética, moral, o espiritual; y un largo etcétera), lo cierto es que son muchas las razones que llevan a pensar que la sociedad en general puede resultar profundamente perjudicada si continuamos en nuestra ignorancia sobre la realidad de la biodiversidad. No voy a explorar aquí este asunto, pero remito al lector interesado a la abundante bibliografía al respecto (véase, por ejemplo, Wilson 1994; Chevalier *et al.* 1997; Alonso *et al.* 2001; Chivian 2002; Delibes de Castro 2005; Crisci 2006; González Oreja 2008b). Realmente, es una lástima estar quemando los metafóricos libros que componen la Enciclopedia de la Vida sin haber podido siquiera hojearlos, y sin haber sido capaces de generar las riquezas que se esconden en las sugerencias de sus páginas (May 2002).

Nuestra generación es la primera en enfrentar y comprender, por lo menos parcialmente, una crisis de la biodiversidad de la magnitud actual; a la vez, quizás sea la última con la oportunidad de explorar y documentar la diversidad de la vida en la Tierra, pues el tiempo disponible para hacerlo se acaba rápidamente (Wheeler *et al.* 2004). En este sentido, el gran reto que la biología actual tiene por delante consiste en crear un conocimiento lo más exacto posible sobre la realidad natural de un planeta que está inmerso en lo que se ha denominado la Sexta Extinción (Wilson 1994; Meine 1999), una lamentable característica de nuestra propia época (Crisci 2006). Los biólogos de la biodiversidad están de acuerdo en que nos enfrentamos a una crisis de extinción, como consecuencia de nuestras propias actividades; sin embargo, nuestra ignorancia sobre las tasas actuales de extinción es aún muy grande (May 2002). Se estima que, a lo largo de muchas épocas del registro geológico, la tasa de formación de especies estuvo entre  $10^{-5}$  y  $10^{-7}$  nuevas especies cada especie y año, con un valor promedio cercano a  $10^{-6}$ . También durante mucho tiempo, este promedio de especiación estuvo prácticamente equilibrado con la tasa de extinción de fondo ( $10^{-6}$  especies extintas cada especie y año, dentro de la incertidumbre de las estimas, que es de 2 órdenes de magnitud). Pero las cosas ya no son así. Para una gran colección de grupos de organismos más o menos bien estudiados (como plantas con flores, moluscos, o aves), se estima que la tasa actual de extinción está entre  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  especies extintas cada especie y año. Es decir, la extinción es unas 100-1.000 veces mayor en la actualidad que en la mayor parte del registro geológico (Meine 1999; May 2002; Wilson 2003b).

### Reflexiones finales

En un mundo que, como hemos visto, está perdiendo especies a una velocidad acelerada, la sistemática y la taxonomía deben ser vistas como

ciencias de importancia crucial para cumplir los desafíos del cambio ambiental global derivado de las actividades de las sociedades humanas (Cracraft 2002; Wilson 2004; Kim y Byrne 2006). Si queremos que la taxonomía pueda prosperar de nuevo, y cubrir en parte las lagunas de conocimiento aún existentes, es necesario desarrollar proyectos de conocimiento e inventario de la biodiversidad con objetivos relevantes y accesibles, que reciban apoyo desde otras ciencias biológicas y ambientales, y que atraigan el interés del público en general y de quienes financian la investigación en particular (Godfray 2002).

Todo esto no quita la necesidad de formar nuevas generaciones de estudiantes en biología evolutiva y sistemática —con una robusta base teórica y práctica, con conocimientos amplios en teoría de la evolución, microbiología, botánica, zoología, ecología, biogeografía, cladística, etcétera—, que sean capaces de progresar en el conocimiento sistemático de la biodiversidad (Kim y Byrne 2006), lo que sólo puede alcanzarse si se observan unos sólidos principios teóricos y epistemológicos, y no por la simple aplicación de innovaciones tecnológicas (de Carvalho *et al.* 2008). También es necesario que los expertos en sistemática ya formados, investigadores meticulosos y de calidad, puedan desarrollar su labor en centros adecuados, como Universidades, herbarios, museos, etc. (de Carvalho *et al.* 2007). Igualmente, la taxonomía biológica debe ser reconocida como una ciencia robusta por sus pares y por quienes desarrollan las políticas científicas; de lo contrario, la taxonomía como la conocemos puede estar condenada a la extinción (Raven 2004).

En resumen, es necesario aumentar el número de expertos en sistemática y taxonomía, capaces de afrontar el reto de describir la biodiversidad que existe en la Tierra, y de hacer público ese conocimiento para el bien de la sociedad.

### REFERENCIAS

- Acosta, L.E. 2007. Nomenclatura zoológica: oportunidades y desafíos en la era digital. *Rev. Soc. Entomol. Argentina* 66: 27-40.
- Alonso, A., Dallmeier, F., Granek, E. y Raven, P. 2001. *Biodiversity: Connecting with the Tapestry of Life*. Smithsonian Inst./Monitoring and Assessment of Biodiversity Program & President's Committee of Advisors on Science and Technology. Washington DC.
- Alroy, J. 2002. How many named species are valid? *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 3706-3711.
- Chevalier, J., Cracraft, J., Grifo, F. y Meine, C. 1997. *Biodiversity, Science and the Human Prospect*. Center for Biodiversity and Conservation. American Museum of Natural History. New York.

- Chivian, E. (ed.) 2002. *Biodiversity: Its Importance to Human Health*. Center for Health and the Global Environment. Harvard Medical School. Harvard.
- Cracraft, J. 2002. The seven great questions of systematic biology: an essential foundation for conservation and the sustainable use of biodiversity. *Annals Missouri Botanical Garden* 89: 127-144.
- Crisci, J.V. 2006. Espejos de nuestra época: biodiversidad, sistemática y educación. *Gayana Botanica* 63: 106-114.
- de Carvalho, M.R., Bockmann, F.A., Amorim, D.S., de Vivo, M., de Toledo-Piza, M., Menezes, N.A., de Figueiredo, J.L., Castro, R.M.C., Gill, A.C., McEachran, J.D., Compagno, L.J.V., Schelly, R.C., Brito, R., Lundberg, J.G., Vari, R.P. y Nelson, G. 2005. Revisiting the taxonomic impediment. *Science* 307: 353.
- de Carvalho, M.R., Bockmann, F.A., Amorim, D.S., Brandão, C.R.F., de Vivo, M., de Figueiredo, J.L., Britski, H.A., de Pinna, M.C.C., Menezes, N.A., Marques, F.P.L., Papayero, N., Canello, E.M., Crisci, J.V., McEachran, J.D., Schelly, R.C., Lundberg, J.G., Gill, A.C., Brito, R., Wheeler, Q.D., Stiassny, M.L.J., Parenti, L.R., Page, L.M., Wheeler, W.C., Faivovich, J., Vari, R.P., Grande, L., Humphries, C.J., DeSalle, R., Ebach, M.C. y Nelson, G.J. 2007. Taxonomic impediment or impediment to taxonomy? A commentary on systematics and the Cybertaxonomic-Automation Paradigm. *Evol. Biol.* 3-4:140-143.
- de Carvalho, M.R., Bockmann, F.A., Amorim, D.S. y Brandão, C.R.F. 2008. Systematics must embrace comparative biology and evolution, not speed and automation. *Evol. Biol.* 35: 1-8.
- Delibes de Castro, M. 2005. *La Naturaleza en Peligro. Causas y Consecuencias de la Extinción de las Especies*. Destino. Barcelona.
- DeSalle, R., Egan, M.G. y Siddall, M. 2005. The unholy trinity: taxonomy, species delimitation and DNA barcoding. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 360: 1905-1916.
- Evenhuis, N.L. 2007. Helping to solve the "other" taxonomic impediment: Completing the Eight Steps to Total Enlightenment and Taxonomic Nirvana. *Zootaxa* 1407: 3-12.
- Flowers, R.W. 2007. Comments on "Helping to solve the "other" taxonomic impediment: Completing the Eight Steps to Total Enlightenment and Taxonomic Nirvana" by Evenhuis (2007). *Zootaxa* 1494: 67-68.
- Gaston, K.J. y May, R.M. 1992. Taxonomy of taxonomists. *Nature* 356: 281-282.
- Godfray, H.C.J. 2002. Challenges for taxonomy. *Nature* 417: 17-19.
- Godfray, H.C.J., Clark, B.R., Kitching, I.J., Mayo, S.J. y Scoble, M.J. 2007. The web and the structure of taxonomy. *Syst. Biol.* 56: 943-955.
- González Oreja, J.A. 2008a. The Encyclopedia of Life vs. the Brochure of Life: exploring the relationships between the extinction of species and the inventory of life on Earth. *Zootaxa* 1965: 61-68.
- González Oreja, J.A. 2008b. La ética y el medio ambiente. *Ciencias* 91: 4-15.
- Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L. y de Waard, J.R. 2002. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. R. Soc. Lond. B* 270: 313-321.
- Hull, D.L. 1970. Contemporary systematic philosophies. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1: 19-54.
- Kim, K.G. y Byrne, L.B. 2006. Biodiversity loss and the taxonomic bottleneck: emerging biodiversity science. *Ecol. Res.* 21: 794-810.
- Lanteri, A.A. 2007. Código de barras del ADN y sus posibles aplicaciones en el campo de la entomología. *Rev. Soc. Entomol. Argentina* 66: 15-25.
- Lowry, P.P. 2001. A time for taxonomists to take the lead. *Oryx* 35: 243-274.
- Mace, G., Masundire, H. y Bailie, J. (coords). 2005. Biodiversity. Pp. 77-122. *En: Millennium Ecosystem Assessment: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group. Ecosystems and Human well-being*, Vol 1. Island Press. Washington.
- Mallett, J. y Willmott, K. 2003. Taxonomy: renaissance or Tower of Babel? *Trends Ecol. Evol.* 18: 57-59.
- May, R.M. 2002. The future of biological diversity in a crowded world. *Current Science* 82: 1325-1331.
- May, R.M. 2004. Tomorrow's taxonomy: collecting new species in the field will remain the rate-limiting step. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 733-734.
- Meine, C. 1999. *Humans and Other Catastrophes: Perspectives on Extinction*. Center for Biodiversity and Conservation. American Museum of Natural History. New York.
- Méndez Iglesias, M. 2003. Avances en los métodos para la selección de reservas naturales ornitológicas. *El Draque* 4: 243-257.
- Raven, P.H. 2004. Taxonomy: where are we now? *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 729-730.
- Sarkar, S. 2002. Defining "biodiversity"; assessing biodiversity. *The Monist* 85: 131-155.
- Sarkar, S., Pressey, R.L., Faith, D.P., Margules, C.R., Fuller, T., Stoms, D.M., Moffett, A., Wilson, K.A., Williams, K.J., Williams, P.H. y Andelman, S. 2006. Biodiversity conservation planning tools: present status and challenges for the future. *Ann. Rev. Environm. Resourc.* 31: 123-159.
- Schnack, J.A. y López, H.L. 2003. *Biodiversidad, Iniciativa Global y Elaboración de Inventarios*

- Sistemáticos*. Serie Técnica y Didáctica, Nº 3. Probiota. Buenos Aires.
- Schweitzer, C.E. 2008. Paleontological systematics in the 21<sup>st</sup> century: we need more specialists and more data. *Paleontologia Electronica* 11: 4E:4p.  
Disponible en internet en [http://paleo-electronica.org/paleo/2008\\_2/commentary/systematics.htm](http://paleo-electronica.org/paleo/2008_2/commentary/systematics.htm).
- Simpson, B.B. y Cracraft, J.E. 1995. Systematics: the science of biodiversity. *BioSci.* 45: 670-672.
- Stork, N.E. 1997. Measuring global biodiversity and its decline. Pp. 41-68. En: Reaka-Kudla, M.L., Wilson, D.E. y Wilson, E.O. (eds), *Biodiversity II. Understanding and Protecting Our Biological Resources*. National Academy of Sciences. Joseph Henry Press. Washington DC.
- Wheeler, Q., Raven, P.H. y Wilson, E.O. 2004. Taxonomy: impediment or expedient? *Science* 303: 285.
- Wilson, E.O. 1994. *La Diversidad de la Vida*. Crítica. Barcelona.
- Wilson, E.O. 2003a. The encyclopedia of life. *Trends Ecol. Evol.* 18: 77-80.
- Wilson, E.O. 2003b. On global biodiversity estimates. *Paleobiol.* 29: 14.
- Wilson, E.O. 2004. The Linnaean enterprise: past, present and future. *Proc. Am. Phil. Soc.* 149: 344-348.

### Información del Autor

*J. A. González Oreja* es biólogo de ecosistemas por la Universidad del País Vasco, y doctor en ciencias biológicas por la misma Universidad. Durante seis años y medio ha sido profesor de varias asignaturas de biología en la Universidad de las Américas Puebla (México), incluyendo biología evolutiva y sistemática. Como investigador, se interesa por el estudio de la estructura y el funcionamiento de comunidades, la biología y la ecología de la conservación (en especial de aves y mamíferos), y la ecología del estrés y la recuperación. Desde inicios de 2008 trabaja en el Departamento de Agroecosistemas y Recursos Naturales de Neiker.

Anexo 1.

## **El impedimento taxonómico, la Iniciativa Mundial sobre Taxonomía, y la Declaración de Darwin**

El impedimento taxonómico hace referencia a las lagunas que hay en el conocimiento taxonómico acumulado a lo largo del tiempo, en especial para determinados grupos de organismos, incluyendo los fósiles, y para ciertas áreas geográficas, en especial las tropicales. En efecto, es muy poco, por no decir nada, lo que se sabe sobre la taxonomía, la distribución, la biología o la genética de la mayoría de especies conocidas por la ciencia, por no mencionar las que aún no han sido descritas. Igualmente, el impedimento taxonómico se refiere a la insuficiencia de taxónomos con un mínimo nivel de experiencia, así como a la falta de cuidadores de colecciones biológicas, y a los efectos que tales carencias tienen en nuestra capacidad de gestionar de un modo racional los recursos naturales y de poder utilizar la biodiversidad.

La existencia del impedimento taxonómico pone de manifiesto la necesidad de movilizar recursos de todo tipo para mejorar la infraestructura, el entrenamiento, la investigación y el acceso a la información taxonómica disponible en diversos ámbitos de trabajo. Es esencial eliminar este impedimento para poder gestionar de modo adecuado los recursos bióticos disponibles en la Tierra. Urge aumentar el número y mejorar el nivel de los expertos en taxonomía, así como reforzar las infraestructuras disponibles para ejercer su labor con normalidad y continuidad, y así avanzar en el descubrimiento y entendimiento de las relaciones que se establecen entre los componentes de la biodiversidad. Esta perspectiva debería formar parte de las políticas y los programas que contribuyan a lograr un desarrollo sostenible y a conservar la diversidad biológica. Entre estos ámbitos se incluyen, como ejemplos, la agricultura, la silvicultura, la ganadería, la pesca, la gestión del hábitat (incluyendo la protección de las áreas naturales declaradas como tales), la producción de energía, la gestión de los usos del suelo, la educación medioambiental o el ecoturismo. Además, la perspectiva taxonómica tendente a disminuir el impedimento señalado debería estar contemplada en todos los programas diseñados para inventariar y evaluar los recursos bióticos de nuestros ecosistemas, así como los requerimientos ambientales a una escala más amplia.

El conjunto de acciones necesarias para resolver el impedimento taxonómico forma parte de lo que se conoce como Iniciativa Mundial sobre Taxonomía (en inglés, *Global Taxonomy Initiative*, GTI), propuesta en 1996 por la Tercera Conferencia de las Partes (COP3) del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y tema importante durante la Cuarta (COP4). El propósito general de la GTI es eliminar, o por lo menos reducir, el impedimento taxonómico, para asegurar que se dispone de la información pertinente requerida para satisfacer los objetivos del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Para avanzar en el desarrollo de la GTI, varias instituciones de relevancia internacional se reunieron en febrero de 1998 en Darwin (Australia), durante la COP4, para analizar la situación y formalizar un conjunto de recomendaciones y propuestas, conocidas con el nombre de Declaración de Darwin: “Suprimir el impedimento taxonómico”.

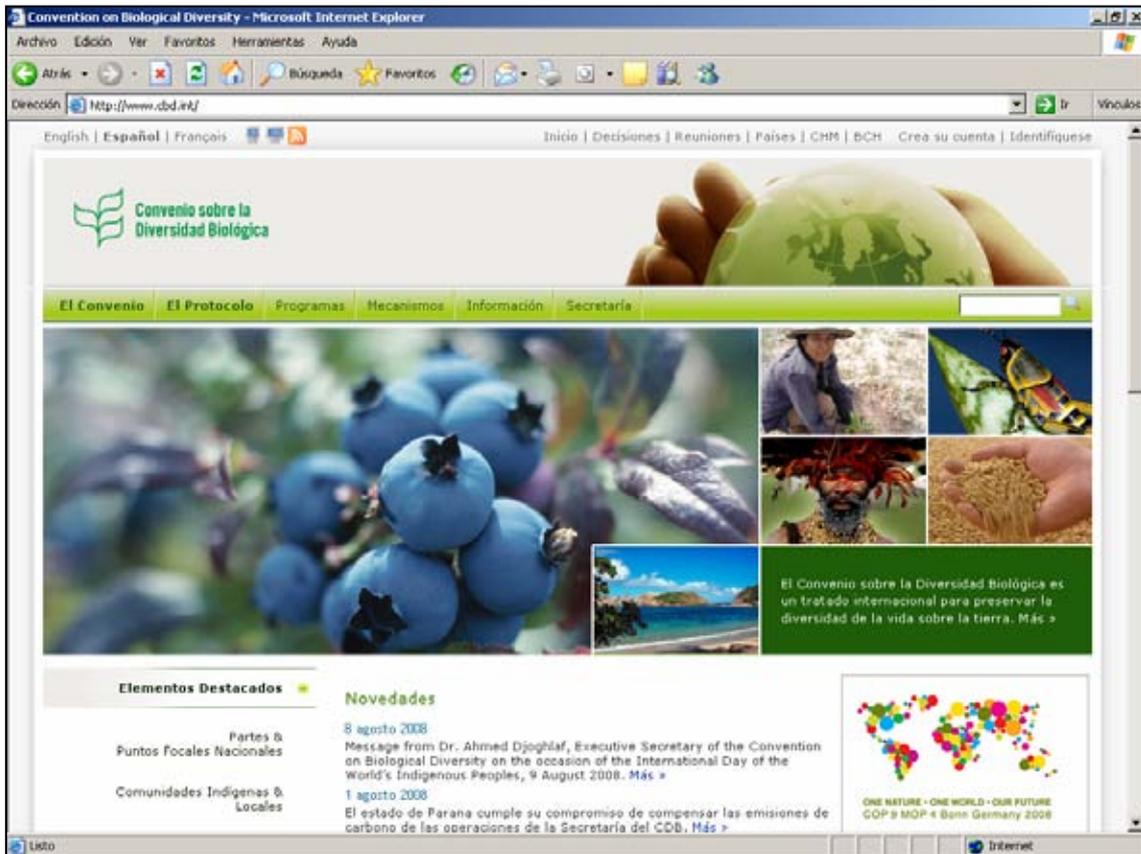
Como resultado de la reunión, se identificaron áreas prioritarias de trabajo y se propusieron respuestas a las necesidades existentes. El desarrollo real del Convenio sobre Diversidad Biológica requiere de la taxonomía al menos en tres grandes áreas, a saber: (1) identificación, evaluación y seguimiento o supervisión; (2) conservación, y (3) uso o utilización sostenible de la biodiversidad. En cada uno de estos bloques se identificaron un conjunto de actividades taxonómicas necesarias. Por ejemplo, para el elemento 1, la taxonomía es ineludible en las tareas de muestreos biológicos, recolección de muestras, desarrollo de métodos de evaluación rápida (mediante identificación de grupos indicadores, morfoespecies, o taxones de rango supraespecífico), inventarios de biodiversidad, etc. Para el componente 2, la taxonomía permite identificar los taxones que necesitan de planes de acción urgente en su conservación, así como compilar listas de especies amenazadas (clásicamente llamadas “listas rojas”), o proponer criterios para seleccionar áreas naturales protegidas con base en su riqueza de taxones, su riqueza de endemismos, su representatividad, etc. En fin, en lo tocante a la unidad 3, la taxonomía facilita identificar los recursos cosechables, integrar el conocimiento etnobiológico tradicional, o desarrollar una agricultura, horticultura o silvicultura sostenibles.

Estas consideraciones, y otras más incluidas en el original de la Declaración y sus modificaciones y añadidos posteriores, ponen en evidencia que la taxonomía es crucial para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica. Sin embargo, este aspecto fundamental todavía no se ha presentado con la claridad suficiente a quienes crean y constituyen los mercados para los bienes y servicios que la taxonomía ofrece: a las agencias locales, nacionales e internacionales que financian la investigación, o al sector privado que necesita de los productos desarrollados por taxónomos, o a las instituciones de educación. En efecto, la visión predominante entre el público en general es que la taxonomía ha sido, y

todavía es, una ciencia con un comportamiento más bien introvertido. Por ello, la Declaración de Darwin considera que es totalmente necesario cambiar esta percepción errónea y reflejar la importancia de los puntos de vista antes presentados.

La Declaración de Darwin incluye un amplio conjunto de sugerencias para implementar en varios niveles de acción la Iniciativa Mundial sobre Taxonomía, desde el individual o institucional, al de los gobiernos nacionales. Entre estas sugerencias merece destacarse la creación del *All Species Foundation* [Anexo 2].

☑ **Más información:** <http://www.cbd.int/>, y referencias allí dadas.



Anexo 2.

## Proyectos e iniciativas internacionales para el desarrollo de la sistemática

### 1. *All Species Foundation*

La misión declarada de *All Species Foundation* (la Fundación para Todas las Especies, ALL como se simboliza en inglés) es simple, aunque difícil, por su total ambición: descubrir, describir y diseminar la información relativa a todas las especies vivas (*sic*) en el planeta Tierra... ¡y todo ello en la duración limitada de una generación humana, es decir, 25 años! Sólo así, dicen, será posible mejorar las capacidades para conservar de verdad la biodiversidad. Destacados líderes científicos en el estudio de la biodiversidad se han vinculado con mayor o menor intensidad con ALL, como Terry Erwin, de la *Smithsonian Institution*, Peter H. Raven, del *Missouri Botanical Garden*, o Edward O. Wilson, del *Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard*.

Es necesario coordinar esfuerzos entre taxónomos, biólogos, científicos de todo tipo, etc., para completar un amplio mapa de la diversidad biológica de todo el planeta, de todas las criaturas, y en un período de tiempo razonablemente corto. ALL catalizará los esfuerzos destinados a cubrir tales objetivos, para obtener uno de los mayores logros científicos de todos los tiempos. El descubrimiento de nuevas formas de vida se convierte en una aventura sin igual: la exploración de un planeta poco conocido, la Tierra.

El inventario de especies de ALL ofrecerá una lista completa de los seres con los que compartimos la Tierra. Lo que permitirá, entre otras cosas, contar con una base confiable para desarrollar un nuevo entendimiento de la naturaleza que nos rodea, descubriendo una infinidad de nuevas especies, muchas de las cuales tendrán valor económico, científico y cultural. Las oportunidades que ALL genera, relacionadas con la taxonomía, se centran en aumentar las labores de recolección, preservación y cuidado de las muestras de biodiversidad, en incrementar la escala y la calidad de las colecciones biológicas existentes, en desarrollar nuevas maneras de describir nuevas especies, y en organizar y diseminar la información así generada utilizando para ello nuevas tecnologías.

**Más información:** <http://www.all-species.org/>.

[Desgraciadamente, desde el 30/07/2008, la dirección está pendiente de renovación o eliminación de la web.]

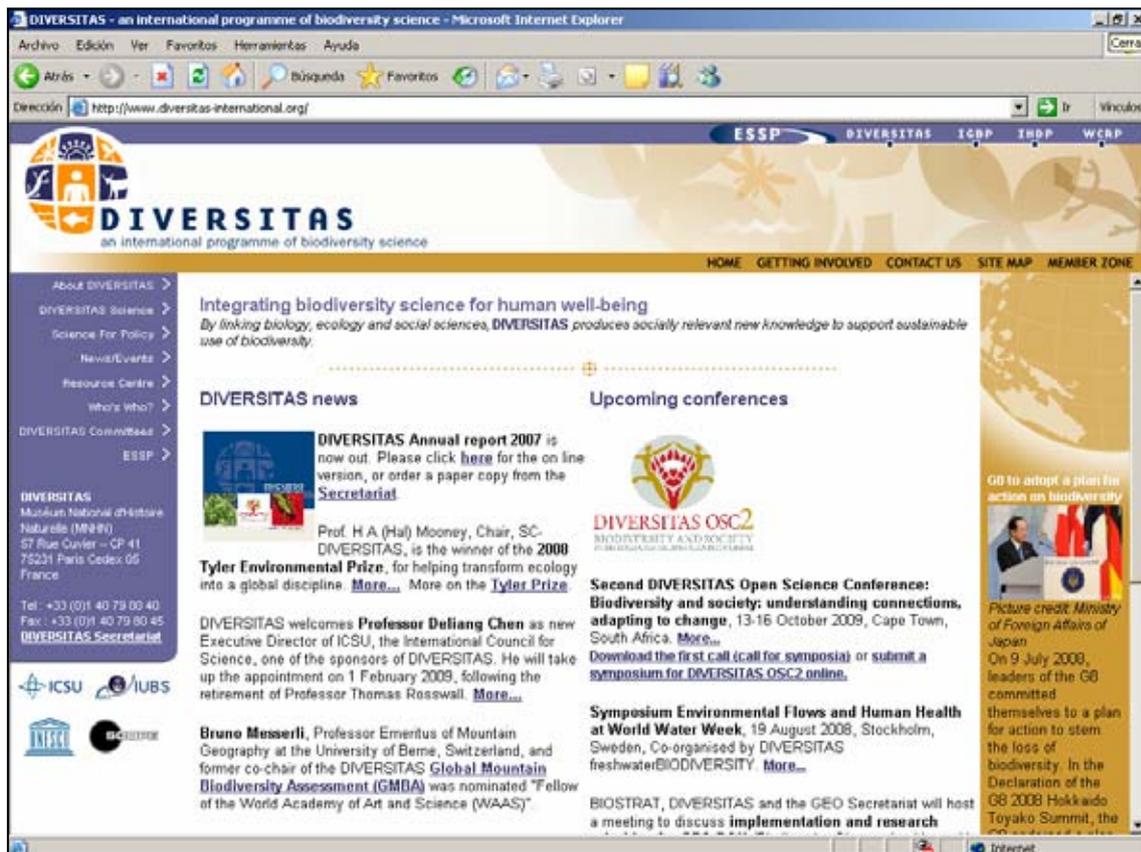
## 2. Diversitas

El plan científico de *Diversitas* responde a una aproximación dinámica e integradora a la biodiversidad. La diversidad biológica cambia como resultado de numerosos factores, y a su vez influye en las sociedades humanas, que deben adaptarse a tales cambios. Entender y predecir estos cambios necesita de una mayor integración entre las disciplinas relacionadas. El programa *Diversitas* se desarrolló para arrojar luz sobre cómo la biodiversidad permite el desarrollo de la vida en la Tierra, sobre las consecuencias de la pérdida de diversidad en la supervivencia de los ecosistemas y de las propias sociedades humanas, y sobre cómo utilizar de un modo sostenible, y en su caso conservar, la biodiversidad. Busca establecer y coordinar redes de trabajo multidisciplinar a nivel internacional, formadas por científicos que investiguen en biodiversidad, y que se enfoquen a resolver las prioridades del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Las metas globales de *Diversitas* son promover una ciencia integradora de la biodiversidad, uniendo disciplinas biológicas, ecológicas y sociales en un esfuerzo por lograr un nuevo conocimiento socialmente relevante, y ofrecer las bases científicas para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Para ello, entre otras cosas, es necesario sintetizar el conocimiento previo existente, identificar las carencias restantes y los temas emergentes de importancia global, promover nuevas iniciativas de investigación, y hacer llegar este conocimiento a los gestores y políticos en diferentes ámbitos de importancia.

La estructura de *Diversitas* gira en torno a tres proyectos centrales: (1) descubrir la biodiversidad y predecir sus cambios; (2) evaluar los impactos de tales cambios en la biodiversidad, y (3) desarrollar una ciencia de la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

☑ **Más información:** <http://www.diversitas-international.org/>



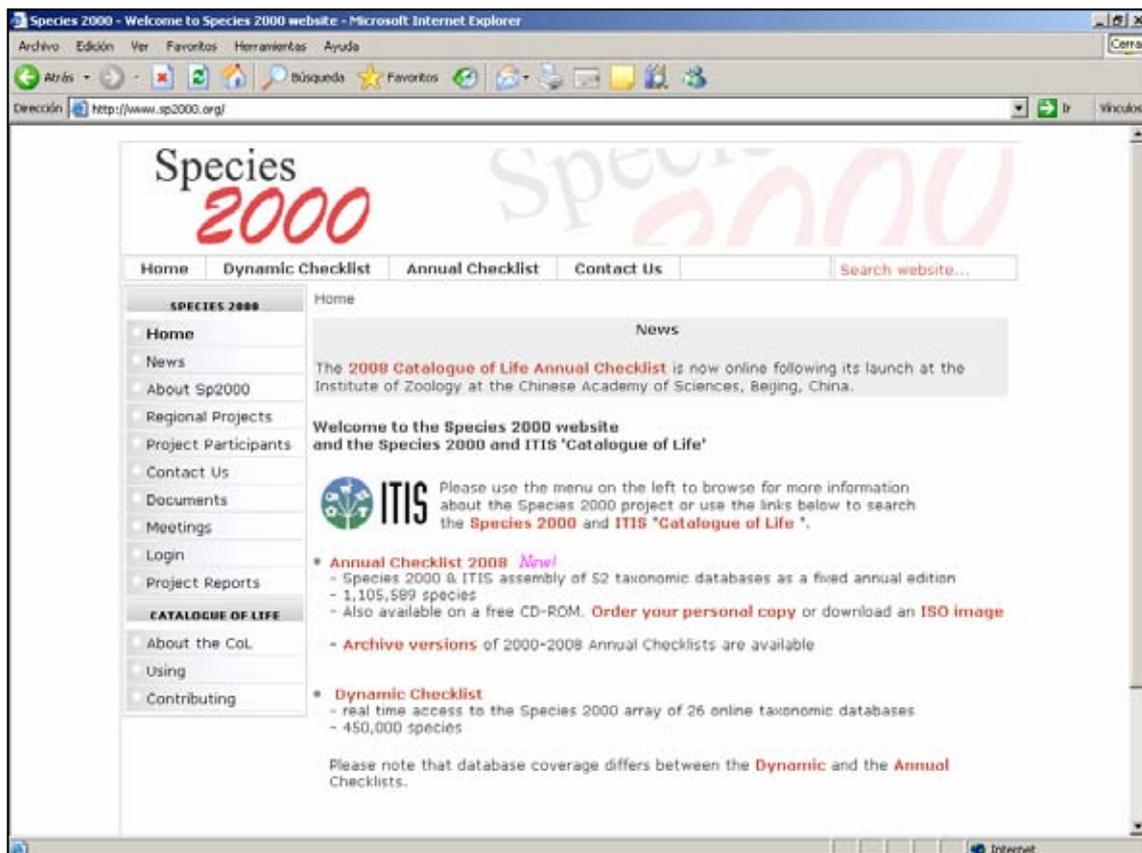
### 3. *Species 2000*

*Species 2000* es una “federación” de organizaciones que desarrollan bases de datos taxonómicas, que trabajan junto a sus principales usuarios, los taxónomos. El plan es crear un conjunto de bases de datos globales sobre taxonomía que cubran todas las especies presentes en los grupos principales de organismos, y la meta principal es enumerar todas las especies conocidas de seres vivos en la Tierra, ya sean microbios, hongos, plantas o animales.

*Species 2000* se contempla como una ambiciosa estrategia para dar forma al Catálogo de la Vida, en el cual se indexen con un formato único y válido la totalidad de las especies descritas; éste índice podría ser utilizado después en labores de inventario y seguimiento de la diversidad biológica, así como puerta de entrada en internet a otras bases de datos sobre biodiversidad en todo el mundo, o como un catálogo lo más amplio posible en el que poder comprobar el estado, la clasificación y la nomenclatura de las especies. Para lograr estas metas, *Species 2000* mantendrá un sistema de acceso común, a través del cual localizar una especie a partir de su nombre, o producir un listado actualizado de la validez de la taxonomía de cierto grupo de organismos, o establecer un conjunto de uniones que conecten las entradas de cada especie con la información contenida en otras bases de datos sobre la misma.

Entre la información resumida para cada especie figuran el nombre científico aceptado como válido, sus sinónimos, sus nombres comunes, y su posición taxonómica más actualizada. Las bases de datos recopiladas hasta la actualidad en *Species 2000* pueden suponer el 50% de las especies descritas, por lo que aún resta un notable trabajo por realizar y cubrir así los taxones pobremente representados.

☑ **Más información:** <http://www.sp2000.org/>



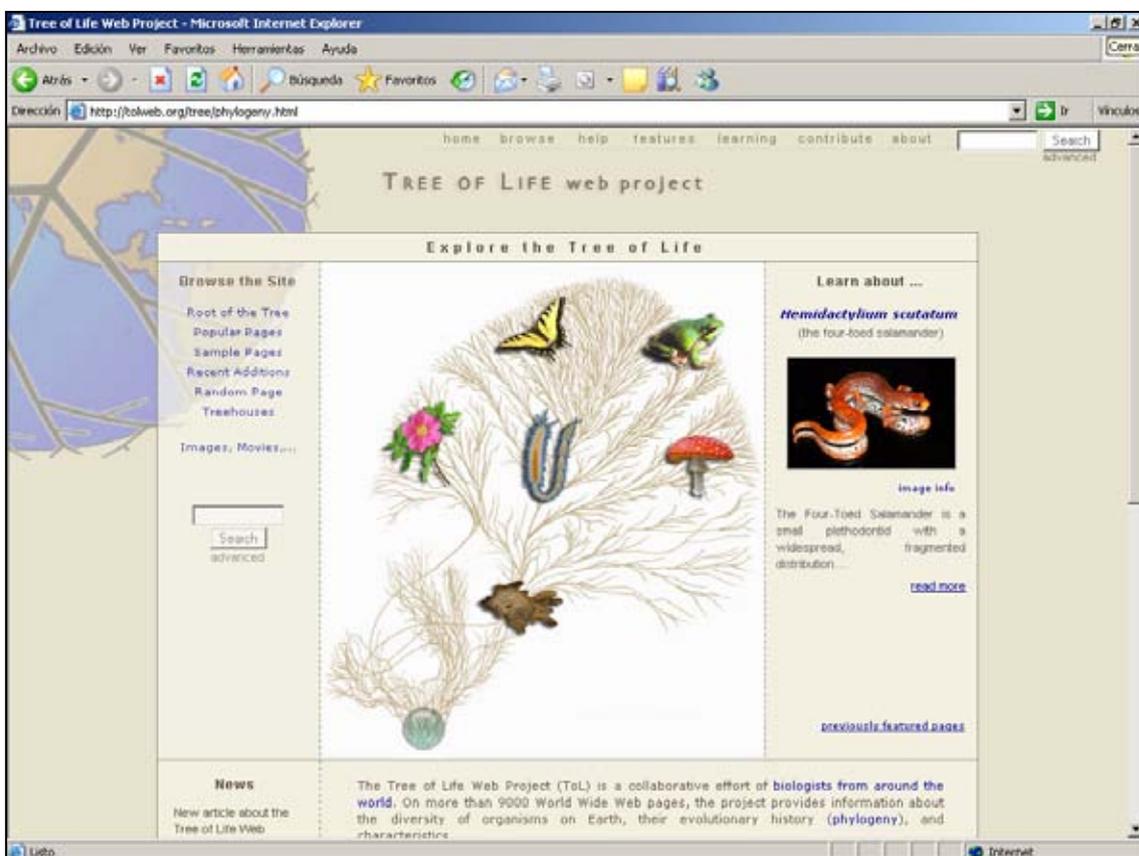
#### 4. *The Tree of Life*

*The Tree of Life* (El Árbol de la Vida; ToL, por sus siglas en inglés) es un proyecto de colaboración entre biólogos de todo el mundo basado en los recursos de internet, que ofrece información sobre la diversidad de organismos en la Tierra, su historia, y sus características.

Las metas esenciales de ToL consisten en ofrecer información útil a quienes la necesiten, sean biólogos o no, sobre grupos concretos de organismos, como claves de identificación, imágenes, árboles filogenéticos, etc. ToL es un proyecto sobre la diversidad de los organismos y los patrones filogenéticos que la han generado, no sobre clasificación.

Entre los objetivos de ToL están ofrecer un marco de trabajo común en el que publicar de modo electrónico información sobre la historia evolutiva y las características de todos los grupos de organismos, presentar una visión integrada de las relaciones evolutivas que unen a todos los seres vivos, o servir de herramienta educativa que ayude a apreciar la diversidad de los organismos desde un punto de vista filogenético.

☑ **Más información:** <http://tolweb.org/tree/phylogeny.html>.



## La mala fama de Malthus y el rechazo de la “competencia” y la “lucha por la vida” por los críticos del darwinismo

Juan Moreno

Depto. Ecología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. E-mail: jmoreno@mncn.csic.es

*eVOLUCIÓN* 4(1): 33-35 (2009).

Sin duda una de las principales causas del rechazo del darwinismo y de sus versiones modernas como la sociobiología o la psicología evolucionista se halla en la caracterización de la selección natural como producto de “la lucha por la vida”. Esta caracterización por Darwin de las limitaciones a que el ambiente somete a todos los organismos ha sido interpretada por muchos, empezando por Karl Marx, como un malthusianismo descarnado y una justificación del status quo social. Parece ser que la historia de que Marx quería dedicar “*El Capital*” a Darwin procede de un malentendido (Bowler 1989). Malthus (1798), uno de los padres de la ciencia económica, razonaba que como los recursos no aumentaban a la misma velocidad que la población debido a las limitaciones tecnológicas y a la incesante reproducción humana, sólo una limitación de la procreación por medidas de control social podía impedir que la inevitable limitación se produjera por medios más cruentos como guerras, hambrunas o epidemias. Al final la población debía ajustarse a los recursos existentes según Malthus. Darwin tomó de Malthus la idea de que los recursos nunca podían ser suficientes para cualquier población, ya que los organismos siempre se reproducían a tasas elevadas que determinarían aumentos geométricos del tamaño de las poblaciones si no hubiera limitación. Como no se observaban estos aumentos, algo debía limitar a las poblaciones. Cualquier naturalista podía comprobar que la limitación la ponían la abundancia de los recursos así como los organismos de otras especies competidoras, depredadoras o parásitas (todos estos términos son impopulares para la corrección política). El hecho de que los organismos se reproduzcan sin cesar se basa en que cualquier propensión heredable a limitar la reproducción desaparecerá irremisiblemente. Ningún organismo es descendiente de un antecesor célibe, y la mayoría son descendientes de individuos que intentaban reproducirse todo lo posible.

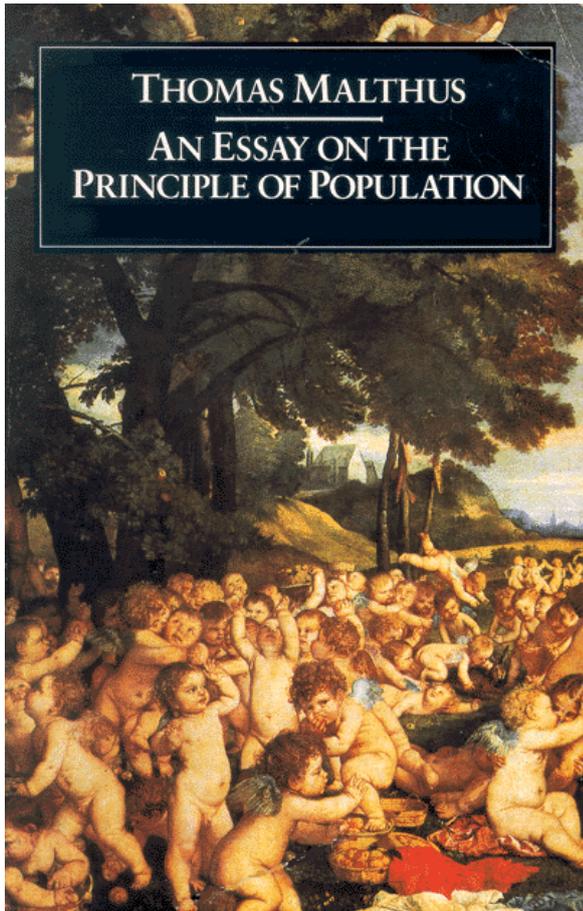
Sin embargo, la inferencia de que la teoría de Darwin sobre evolución por selección natural es un malthusianismo aplicado a la naturaleza es errónea. Malthus no pensaba para nada en la posibilidad de que se podían modificar rasgos de poblaciones de animales (incluidos los humanos) por selección, por que era como todos sus coetáneos un esencialista que consideraba a las poblaciones formadas por individuos esencial-



T.R. Malthus (1766-1834)

mente idénticos, y no por individuos únicos como los consideraba Darwin (Mayr 1991). La lucha por la vida de Malthus no podía pues conducir a ningún cambio evolutivo. La caricatura tan querida por ciertos historiadores de la ciencia de que Darwin se fijó en el trabajo de Malthus por su mensaje social ha sido desmontada (Gordon 1989), aunque sigue coleando. El mensaje de Malthus puede haber sido aceptado por ciertos sectores influyentes en la sociedad victoriana, pero la teoría de la selección natural no fue aceptada entonces y sigue provocando el rechazo de políticos actuales tales como Bush, Berlusconi o los gemelos Kaczynski. Ni siquiera los empresarios de la época aceptaron realmente la idea de la selección natural en el plano social (Bannister 1970, 1979). Si lo natural para un “burgués victoriano” era supuestamente la lucha por la vida y la selección natural, ¿a qué tanta animadversión e incompreensión hacia la teoría de Darwin durante siglo y medio por una buena parte de la derecha política? Esta sencilla pregunta nunca es contestada por los partidarios de una interpretación meramente socioeconómica del darwinismo. Un ejemplo es la tremendamente mezquina y ridículamente condescendiente biografía de Darwin por Desmond y Moore (1992).

Que los recursos son limitados para todos los organismos menos para “*homo technologicus*” (que parece ser dispone del universo entero) no se discute por casi nadie. Sin embargo la conse-



cuencia de ello, es decir la competencia por la propagación, es mucho menos aceptada. Ello deriva sin duda de la mala fama del término “competencia” que parece una aplicación al mundo natural de la competencia en las sociedades humanas que todos conocemos. Como ésta última es algo éticamente reprochable para cualquier potencial reformador social, su existencia en la naturaleza ha pasado a adquirir la misma mala fama. La selección natural ha pasado a compartir para muchos el estigma del malthusianismo, doctrina económica que cualquier persona políticamente correcta repudia por principio (es de lo poco en que coinciden neoliberales y partidarios del socialismo). Pero veamos que quiere decir “competencia” y “lucha por la vida” en la teoría darwinista. La “lucha por la vida” no es necesariamente una sangrienta batalla a dentelladas entre feroces fieras (aunque puede serlo si estudiamos a las mencionadas fieras) sino simplemente la expresión de la limitación de recursos en relación a la infinita capacidad reproductora de cualquier población. Para dejar claro que la lucha por la vida no requiere dientes ni garras como en la famosa frase de Tennyson, vamos a ejemplificar el proceso con un organismo tan poco sanguinario como un roble joven, o sea una bellota. Un roble produce miles de bellotas de las cuales una

mínima fracción da lugar a un nuevo roble. Ni las bellotas se pelean a dentelladas entre sí por germinar, ni necesita haber lucha por ninguna parte. Unas se las comen los jabalíes, otras se las comen las ardillas, otras son parasitadas por insectos o consumidas por hongos, todos ellos con tan poca mala intención respecto al roble y sus retoños como cualquiera de nosotros en un restaurante ante un plato de lentejas. Los retoños resultantes acabarán devorados por ciervos, vacas u orugas. Si llegan a árboles sufrirán el ataque de orugas defoliadoras, insectos perforadores de la madera, hongos, virus, etc. Estos procesos tan naturales y carentes de encono y animadversión constituyen “lucha por la vida” en el sentido darwinista de limitación de la propagación potencial. Lo que dice el darwinismo es simplemente que cualquier mínima propensión genética en un roble que favorezca la propagación de sus bellotas hasta la edad reproductora, evitando en la medida de lo posible todas estas amenazas y ataques, se verá favorecida en el transcurso de miles de años (no las décadas que somos capaces de imaginar la mayoría). No hay maldad por ninguna parte, ni intención de nadie en perjudicar a otro organismo, solo procesos naturales inexorables absolutamente amorales. La competencia fundamental según Darwin ocurre entre las bellotas de los distintos robles del bosque por germinar y propagarse. Estas bellotas no se conocen entre sí y no albergan ninguna motivación unas con respecto a otras, pero solo algunas darán lugar a nuevos robles y ganarán la carrera de la propagación en la población. La “competencia” de la que tanto escribimos y hablamos los darwinistas (no confundir con la “competencia ecológica” entre organismos de distintas especies) es esta metafórica competición por la propagación existente en cualquier población natural. Del ingente número de descendientes y propágulos producidos, solo unos pocos darán lugar a la siguiente generación. La selección natural no es más que otra metáfora para describir que cualquier propensión heredable beneficiosa se propagará con ventaja y dominará a otras propensiones no tan beneficiosas. Nadie selecciona conscientemente nada ni hay intencionalidad por ninguna parte.

El rechazo ideológico de la selección natural que deriva de estar basada en la “competencia” se basa pues en un malentendido. La “lucha por la vida” no es más que limitación de recursos para la potencial propagación infinita (sin limitación, la población de cualquier organismo podría cubrir varias veces toda la superficie del planeta en unos siglos), y la “competencia” no es más que la expresión de que solo algunos descendientes producidos prosperarán, sin tener que haberse conocido en muchos casos y pudiendo haber habitado a kilómetros unos de otros. La pregunta surge de por qué estos procesos naturales tan poco cargados de intención o de carga ética no se

han podido denominar de otra manera para no atraer el rechazo ideológico de las personas que repudian la competencia o la lucha hasta entre bellotas. Evidentemente Darwin podía haber denominado a la lucha por la vida “*limitación de la capacidad reproductora potencial derivada de interacción con los recursos necesarios para la vida y con otros organismos competidores (ecológicamente hablando, ya hemos metido el maldito término otra vez), depredadores o patógenos*”. Para abreviar se podía haber expresado esto con uno de los hoy día tan populares acrónimos (LCRPIRNVOCDP por ej.). La “competencia” se podía haber denominado “*probabilidad diferencial de propagación de descendientes*” (PDPD). Hemos hablado antes de competencia ecológica con organismos de otras especies, pero esto quizás tampoco sea correcto y habría que hablar de “*interacciones ecológicas negativas derivadas de la utilización de recursos comunes por organismos de varias especies distintas*”. Aunque la terminología fuera más exacta con estas pormenorizadas descripciones, la lectura del “Orígen de las Especies” o de cualquier libro de evolución podría convertirse en una pesadilla. Pero no sólo Darwin describe procesos naturales con sencillas metáforas que evitan farragosas descripciones. La “lucha de clases” marxista es una metáfora que ilustra el desarrollo histórico de las relaciones económicas, sin que necesariamente las clases se estén físicamente propinando garrotazos a diario, mientras la “mano invisible” de Adam Smith no era una mano que literalmente moviera las ansias de ganancia individual para beneficio general. La tan políticamente correcta “*Gaia*” no es una diosa sino una metáfora de la determinación de la homeostasis de las condiciones en el planeta por los organismos que lo habitan.

¿Por qué la lucha de clases o Gaia no generan malentendidos sobre marxistas que aman el combate o biólogos heterodoxos que adoran a diosas de la antigüedad, mientras algunos interpretan sistemáticamente a los estudiosos de la selección natural como amantes de la competencia descarnada? Quizás por que la pretensión de algunos de creer que los darwinistas adoramos la lucha por la vida (y repudiarlo, claro) es solo una añagaza que esconde una búsqueda desesperada de intención (benévola, claro) y protagonismo (humano, claro) en el cambio evolutivo, se llame esta búsqueda neolamarckismo, biología dialéctica o simbiogénesis. El principal obstáculo para cualquier idealismo (en el sentido filosófico, claro) es una teoría realmente materialista como el darwinismo que explica la evolución humana, como la de cualquier otro organismo, como un proceso natural sin objetivo ni designio alguno. Pero para ese viaje idealista de buscar intención y protagonismo en la naturaleza no son necesarias las alforjas de buscar alternativas científicas a una

teoría auténticamente materialista como el darwinismo. Las tradiciones religiosas mono-teístas ya ofrecen intención divina y protagonismo humano en la naturaleza a raudales. Sin embargo, aunque algunas críticas a la idea de la “lucha por la vida” se basan sin duda en un intento idealista de rescatar algún fin utópico de la corrosiva y materialista idea de Darwin, prefiero pensar que muchas críticas ideológicas del darwinismo realmente proceden de un malentendido. Para aclarar esta posible confusión semántica, dejemos claro, sin utilizar términos “incorrectos” y sin herir sensibilidades, que lo que la teoría de la selección natural simplemente quiere decir es que la LCRPIRNVOCDP llevará indefectiblemente a una PDPD que resultará en cambio evolutivo. Todo sin animadversión, sin mala fe, tan impersonal como las relaciones entre las bellotas de un bosque.

## REFERENCIAS

- Bannister, R.C. 1970. The survival of the fittest is our doctrine: History or histrionics? *J. Hist. Ideas* 31: 377-398.
- Bannister, R.C. 1979. *Social Darwinism: Science and Myth in Anglo-American Social Thought*. Temple Univ. Press, Philadelphia.
- Bowler, P.J. 1989. *Evolution. The History of an Idea*. Univ. California Press, Berkeley.
- Desmond, A. y Moore, J. 1992. *Darwin*. Warner, Nueva York.
- Gordon, S. 1989. Darwin and political economy: the connection reconsidered. *J. Hist. Biol.* 22: 437-459.
- Malthus, T.R. 1798. *An Essay on the Principle of Population*. Reeditado en 2004 por Oxford Univ. Press.
- Mayr, E. 1991. *One Long Argument. Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*. Penguin, Londres.

## Información del Autor

Juan Moreno Klemming se doctoró en ecología animal por la Universidad de Uppsala (Suecia) y actualmente es profesor de investigación del CSIC en el Departamento de Ecología Evolutiva del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Desde 1980 ha estudiado diversos aspectos de la ecología evolutiva y eco-fisiología de aves en Suecia, España, Antártida y Patagonia, especialmente en relación con la reproducción. Ha publicado más de 130 trabajos científicos en revistas internacionales sobre estos temas, además de varios artículos divulgativos, capítulos de libro, y un libro.



## Evolución del Metabolismo: desde las Porfirinas hacia la Fotosíntesis

Elena Pérez-Urria Carril

Depto. Biología Vegetal I (Área de Fisiología Vegetal). Facultad de Biología. Universidad Complutense de Madrid. E-mail: elenapuc@bio.ucm.es

### RESUMEN

Las rutas metabólicas son series de reacciones bioquímicas sucesivas catalizadas por enzimas que en su conjunto constituyen un proceso de extraordinaria complejidad que llamamos metabolismo celular. Como cualquier otro fenómeno biológico, el metabolismo es resultado de la evolución y así como la historia de las especies y sus relaciones de parentesco se deducen de los estudios comparativos, la historia del metabolismo puede reconstruirse a través del análisis comparativo de sus elementos. Sobre el origen de la fotosíntesis existen fundamentalmente dos hipótesis: una sugiere que se originó en el ambiente prebiótico de la tierra y surge con la vida; otra, basándose en análisis filogenéticos moleculares, sugiere que la fotosíntesis surgió después de aparecer los organismos quimiolitotrofos. Sin embargo, sabemos poco sobre cómo se fueron incorporando al proceso fotosintético sus múltiples componentes bioquímicos. La comunidad científica acepta mayoritariamente que la fotosíntesis es un proceso que nace en las bacterias ya que, de una parte, no existen arqueobacterias con fotosistemas basados en Mg-tetrapirroles y, de otra, los eucariontes adquirieron sus propiedades fotosintéticas de las cianobacterias a través de endosimbiosis. *eVOLUCIÓN* 4(1): 37-41 (2009).

**Palabras Clave:** metabolismo, porfirinas, fotosíntesis, clorofila, bacterioclorofila.

### ABSTRACT

Metabolic routes are series of biochemical successive reactions catalyzed by enzymes that constitutes a process of extraordinary complexity that we are called a cellular metabolism. As any other biological phenomenon, the metabolism is a result of the evolution and as well as the history of the species are deduced from comparative studies, the history of the metabolism can be reconstructed across the comparative analysis of their elements. On the origin of the photosynthesis fundamentally two hypotheses exist: one suggests that it originated in the land prebiotic environment and arises with the life; other one, being based on molecular phylogenetic analyses, suggests that the photosynthesis arose after chemolithotrophic organisms appeared. Nevertheless, we know little on how multiple biochemical components were joining to the photosynthetic process. The scientific community accepts for the most part that the photosynthesis is a process that it is born in bacteria since archeobacteria has not photosystems based on Mg-tetrapyrroles and, on the other hand, eucarya acquired the photosynthetic properties from cyanobacteria across endosymbiosis. *eVOLUCIÓN* 4(1): 37-41 (2009).

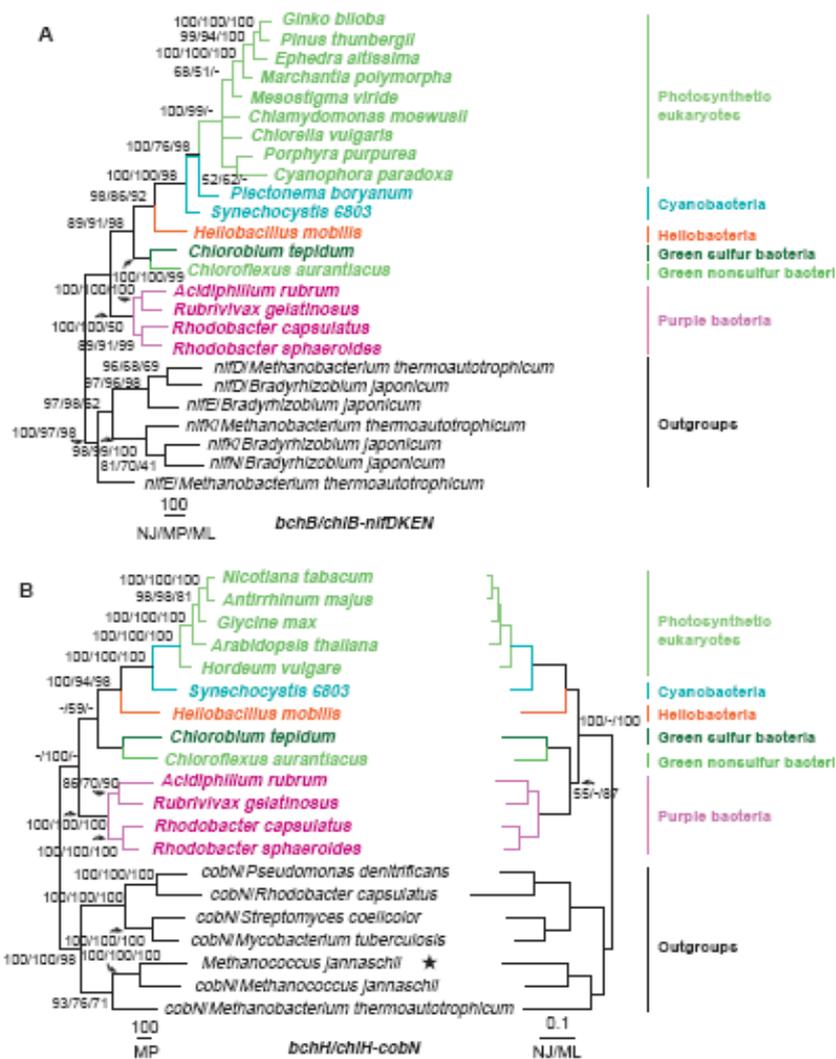
**Key words:** metabolism, porphyrins, photosynthesis, chlorophyll, bacteriachlorophyll.

La Tierra tiene alrededor de 4.500 millones de años y el comienzo de la vida se sitúa en el periodo Arqueano, hace aproximadamente 3.800-4.000 millones de años. Los estromatolitos que contienen evidencias de fijación biológica de carbono tienen una antigüedad aproximada de 3.800 millones de años (Schidowski 1988) mientras que los microfósiles celulares más antiguos semejantes a cianobacterias tienen una edad de 3.500 millones de años (Schopf y Packer 1987; Schopf 1993), es decir, aparecen 300 millones de años después del primer registro de vida.

Durante un tiempo la Tierra estuvo dominada por cianobacterias que aparecieron hace 2.700 millones de años coincidiendo con la primera aparición del oxígeno sobre la Tierra. En 1 millón

de años aproximadamente, las cianobacterias incrementaron el nivel de oxígeno hasta casi la cuarta parte del nivel actual. El éxito de estos organismos pudo deberse no sólo a la ventaja energética que supuso la fotosíntesis sino también a la inhibición por el oxígeno (como agente tóxico) de otros organismos competidores.

La emergencia de los primeros eucariontes data de 1.800 millones de años, hecho que precisó de 600-800 millones de años para que las cianobacterias fotosintéticas se incorporaran por endosimbiosis a los eucariontes como cloroplastos. A partir de entonces las algas incrementaron el nivel de oxígeno hasta el actual. Por último, sus descendientes las plantas terrestres aparecieron hace 500 millones de años creando la tierra que hoy habitamos.



**Fig. 1.- A)** Análisis filogenético de genes de bacterioclorofila b y clorofila b (*bchB/chlB*) utilizando como grupo externo los genes homólogos *nifD*, *nifK* y *nifE* de *Bacteria* y *Archaea*. Los árboles obtenidos por los métodos de Distancias (Neighbor Joining, NJ), Máxima Probabilidad (MP) y Máxima Parsimonia (ML) son idénticos. En este último caso, la longitud del árbol más parsimonioso es 6601 pasos (L=6601), el índice de consistencia (CI) 0.42 y el índice de retención (RI) 0.47. Sobre las ramas aparecen los valores bootstrap superiores al 40% relativos al árbol de distancias (NJ) en primera posición, a continuación estos valores para el árbol de máxima parsimonia (MP) y en último lugar los valores para el árbol de máxima probabilidad. A la derecha del árbol aparecen los nombres de los grupos de mayor rango taxonómico a los que pertenecen las especies en estudio, todas ellas con capacidad fotosintética.

**B)** Análisis filogenético de genes de bacterioclorofila H (*bchH*) utilizando como grupo externo el gen *cobN* de *Bacteria* y *Archaea* y el gen que codifica Ni-quelatasa en *Archaea*. En este caso, el árbol MP (L=10674, CI=0.52, RI=0.54) difiere de los obtenidos mediante NJ y ML que son idénticos.

En la parte izquierda de la figura se muestra el análisis filogenético de los genes comunes a todos los linajes fotosintéticos (*bchL/chl*, *bchD/chlD*, *bchH/chlH*, *bchL/chlL*, *bchN/chlN*, *bchB/chlB* y *bchG/chlG*).

Como grupo externo se utiliza *Methanobacterium thermoautotrophicum*. Como puede observarse, los árboles de distancias (NJ) y parsimonia (MP) (a la izquierda) difieren ligeramente en el nodo basal del árbol de máxima probabilidad (ML) (a la derecha).

A la derecha de la figura se muestran las divergencias estructurales entre (bacterio) clorofilas de diferentes taxones.

(Tomado de Xiong *et al.* 2000)

Los microfósiles semejantes a cianobacterias filamentosas de hace 3.500 millones de años han generado la hipótesis que identifica a los organismos fotosintéticos como los primeros organismos celulares de la Tierra, situando el origen de la fotosíntesis oxigénica en el periodo arqueano (Pierson y Olson 1989; Olson 2001).

Por otra parte, análisis moleculares recientes sugieren que las primeras formas de vida no pudieron ser fototróficas pese a la ventaja energética que supone la fotosíntesis. Además, la identificación de los microfósiles se basa en la semejanza morfológica con microorganismos actuales y, en este sentido también, las mismas características morfológicas se pueden atribuir a otros fototrofos filamentosos anaerobios como las bacterias verdes no del azufre (el género *Chloroflexus* es un ejemplo) que son microscópicamente indistinguibles de muchas cianobacterias.

A este debate sobre la identificación de los microfósiles como cianobacterias se suman otras cuestiones como la frecuente transferencia lateral de genes durante la evolución temprana de los

procariotas, o la evidencia geológica o geoquímica insuficiente por sí sola.

Parece existir consenso general sobre la hipótesis que sugiere la evolución de los pigmentos fotosintéticos desde los organismos quimioautótrofos: éstos vivían en un ambiente de desequilibrio químico que propició la capacidad de utilizar los pigmentos para aprovechar la luz como fuente adicional de energía. Creada la fotosíntesis, ésta pudo evolucionar después hasta permitir a las células utilizar la luz solar como única fuente de energía. En este recorrido debió existir alguna etapa intermedia que pudo estar protagonizada por las bacterias púrpura: la fotosíntesis anoxigénica evolucionaría a partir de bacterias de este grupo que presentaban fototaxia por luz infrarroja (Nisbert *et al.* 1995; Nisbert y Sleep 2001). Esta hipótesis se basa en la estrecha relación entre el espectro de emisión de la luz geotérmica y el espectro de absorción de bacterioclorofilas a y b, relación que sirve a los autores para plantear la posibilidad de que la fotosíntesis surgiera en organismos que, presentando bacterioclorofilas a ó b, vivían en las proximidades de las chimeneas hidrotermales

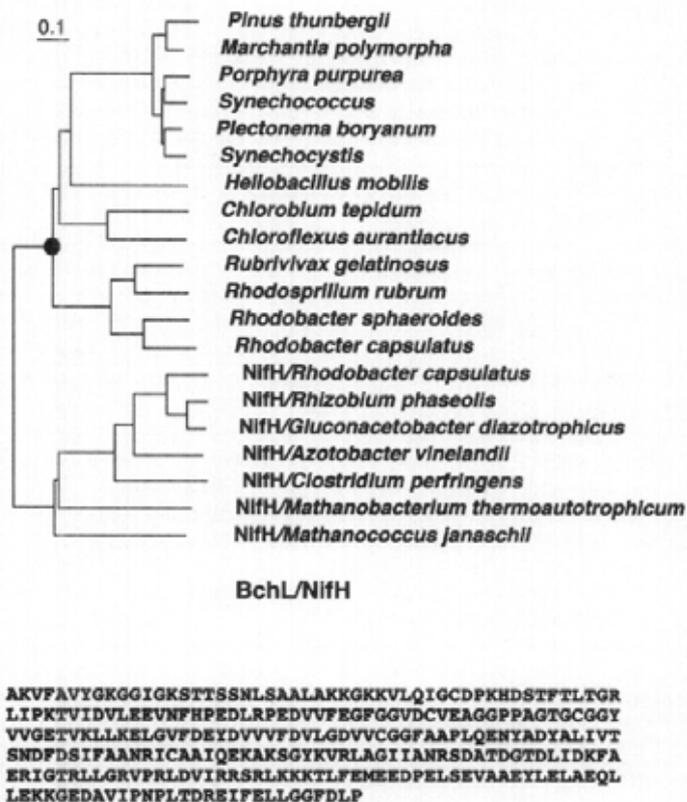
oceánicas donde podían detectar una tenue radiación infrarroja. En consecuencia, estas bacterias con fototaxia asociada a la capacidad de detectar luz infrarroja habrían vivido en un ambiente óptimo lo cual habría supuesto una ventaja evolutiva en cuanto a la competición por los recursos o nutrientes. La posterior adaptación de este fotosistema primitivo habría permitido a los organismos empezar a utilizar el rojo lejano de la luz solar a medida que se desplazaban hacia aguas más superficiales. Con el tiempo, aparecerían las clorofilas para usar luz de mayor energía (visible) y escindir el agua.

La tarea de reconstruir la historia evolutiva de la fotosíntesis supone también la utilización de otros marcadores distintos a los geoquímicos. En este sentido se utilizan los marcadores moleculares: el más común (antes de que se dispusiese de las secuencias de numerosos genes implicados

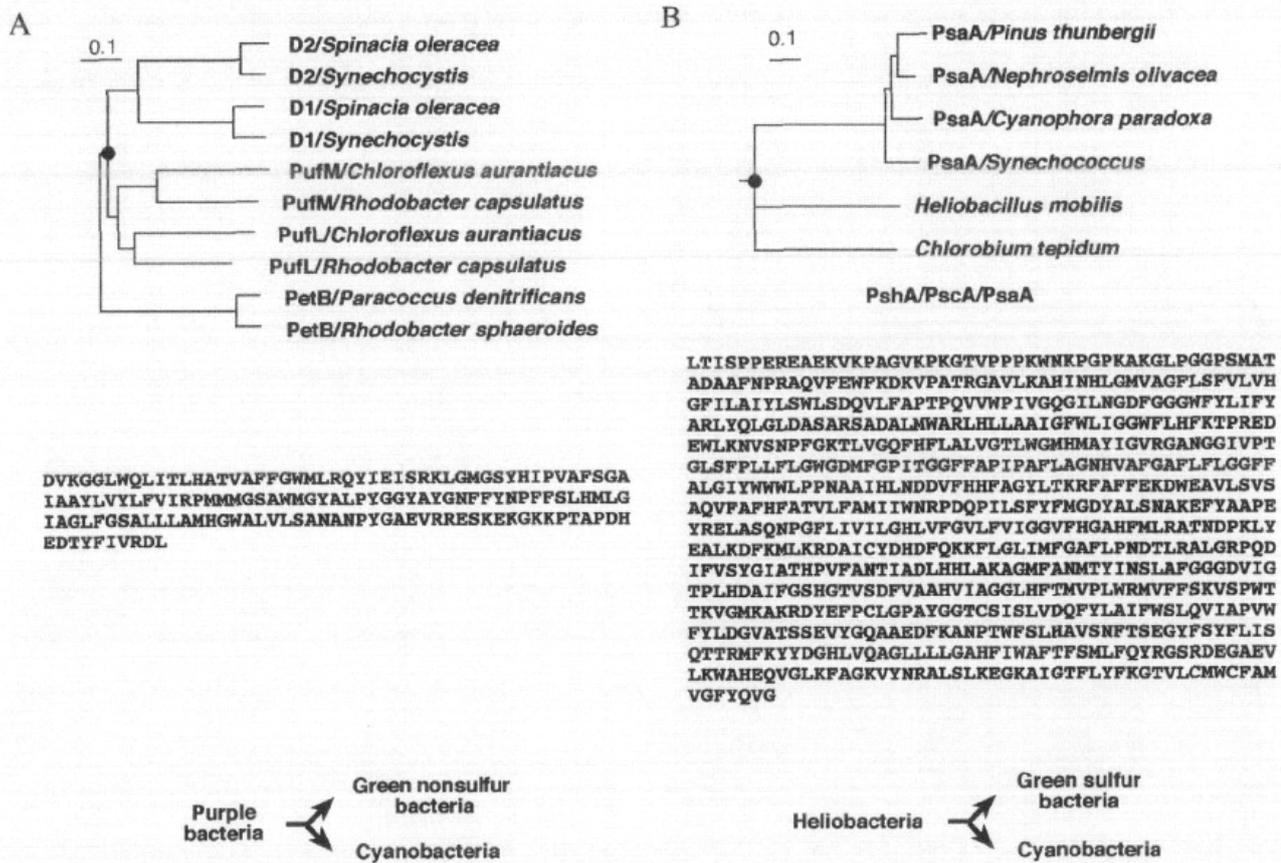
en la fotosíntesis) es el RNA ribosómico (la subunidad pequeña, 16S rRNA para procariotas). Cuando se utilizan métodos filogenéticos para analizar estas moléculas informativas, los resultados siempre muestran a las bacterias verdes no del azufre como el primer linaje fotosintético, apareciendo después las heliobacterias y, a continuación, bacterias verde del azufre, cianobacterias y bacterias púrpura (proteobacterias). Otros marcadores, como las proteínas Hsp 60 y Hsp 70, muestran distinta relación evolutiva de estos grupos poniendo de manifiesto las controversias que se generan al utilizar moléculas que no son genes o productos génicos directamente implicados en fotosíntesis.

Los genes y las enzimas implicadas en la biosíntesis de bacterioclorofilas y clorofilas están estrechamente relacionados con el proceso evolutivo de la fotosíntesis. Dado que estos pigmentos son parte de los centros de reacción, resultan moléculas ideales para realizar comparaciones con fines filogenéticos. Las enzimas implicadas en la ruta de biosíntesis de estos pigmentos presentan secuencia, estructura y función relativamente conservadas a lo largo del tiempo en todos los organismos con capacidad fotosintética.

Respecto a la evolución de bacterioclorofilas y clorofilas, Xiong *et al.* (2000) realizaron un amplio estudio con numerosos genes y enzimas de la biosíntesis de estos pigmentos procedentes de todos los grupos procariotas con capacidad fotosintética, varias algas y una planta, utilizando los principales métodos de análisis filogenético: análisis de distancias, análisis cladístico con criterio de parsimonia y análisis de máxima probabilidad (Fig. 1). Sus resultados ponen de manifiesto que la mayoría de los grupos bacterianos fotosintéticos anoxigénicos que contienen bacterioclorofilas surgen antes que los organismos fotosintéticos oxigénicos que contienen clorofilas, lo cual implica que la fotosíntesis anoxigénica precedió a la fotosíntesis oxigénica. Este análisis filogenético muestra que las bacterias púrpura fotosintéticas fueron las primeras en emerger y que las bacterias verdes del azufre y no azufradas son grupos hermanos y las siguientes que divergen en el árbol filogenético. Este resultado es sorprendente si tenemos en cuenta que los grupos de bacterias de verdes tienen diferentes fotosistemas, tipo I las verdes del azufre y tipo II las no azufradas. Además, estos dos grupos, aunque sintetizan el mismo pigmento antena (bacterioclorofila c) y comparten un complejo colector de luz similar (el clorosoma), muestran muchas diferencias en su metabolismo. Esta hipótesis evolutiva también muestra a las heliobacterias como grupo hermano de las cianobacterias y del resto de los taxones, lo cual también sorprende si consideramos que las heliobacterias tienen un aparato fotosintético (un solo pigmento en el centro de reacción, formando un complejo homodimérico sin pigmentos antena



**Fig. 2.-** Análisis bayesiano de *bchL* utilizando como grupo externo genes *nifH* e inferencia de la secuencia génica ancestral (punto negro) por el mismo método. Debajo se indica la dirección de la transferencia lateral de genes. (Tomado de Xiong y Bauer 2002)



**Fig. 3.-** Filogenia de los centros de reacción tipo II (A) y tipo I (B) en la parte superior de la figura. Debajo de cada uno de los árboles aparecen las secuencias ancestrales calculadas (puntos negros). A continuación, debajo de cada secuencia estimada, se muestran las hipótesis sobre la dirección de la transferencia lateral de genes de ambos centros de reacción. (Tomado de Xiong y Bauer 2002)

periféricos) mucho más primitivo que el resto de los organismos fotosintéticos conocidos. No obstante, otros análisis recientes realizados con proteínas ribosómicas y citocromo b sostienen esta misma relación.

Estos resultados contradicen la hipótesis de Granick (1965) según la cual, al ser la biosíntesis de clorofilas un paso intermedio en la biosíntesis de bacterioclorofilas, los organismos que realizan fotosíntesis oxigénica y contienen clorofilas precedieron a los que contienen bacterioclorofilas y realizan fotosíntesis anoxigénica. Sin embargo, la filogenia molecular demuestra que la bacterioclorofila a es más ancestral, lo que implica que los centros de reacción cianobacterianos que contienen clorofila a son evolutivamente más recientes y que la evolución de bacterioclorofilas a clorofilas supuso pérdida de genes y acortamiento de la ruta de biosíntesis.

Si se comparan filogenias basadas en genes de biosíntesis de bacterioclorofilas con las basadas en rRNA 16S se observan historias evolutivas diferentes, una incongruencia que puede atribuirse a la transferencia lateral de genes. Este hecho tan frecuente entre procariotas debió ser la fuerza conductora de su evolución y sirve de base a algunos autores para dibujar la historia de la vida como una “red” con numerosos entrecruza-

mientos en lugar del “árbol universal” (Doolittle 1999).

En este marco de la evolución es importante destacar la diferencia conceptual entre “evolución de fotosíntesis” y “evolución de organismos fotosintéticos”: la primera implica un número limitado de genes y/o productos génicos mientras que la evolución de los organismos implica el genoma completo. Los trabajos de Woese (1987) y Olsen y Woese (1994) sobre filogenia de la subunidad 16S de rRNA muestran la evolución de los organismos desde un ancestro común estableciendo tres dominios: *Archaea* (arqueobacterias), *Bacteria* (eubacterias) y *Eucarya* (eucariontes). Aunque esta clasificación fue discutida, lo cierto es que otros estudios filogenéticos realizados a la luz de nuevos y continuos datos de secuencias y genomas que recogen las bases de datos, ofrecen resultados consistentes y acordes con los tres dominios. Sin embargo, cuando se comparan filogenias basadas en genes de herencia vertical (16S rRNA) con filogenias de genes de fotosíntesis por ejemplo, aparecen incongruencias que demuestran que las primeras no necesariamente reflejan los segundos: evolución de organismos *versus* evolución de genes.

Estudios de Xiong y Bauer (2001) realizados con el fin de inferir secuencias ancestrales de genes de la biosíntesis de (bacterio)clorofilas que permitan dar dirección a la transferencia lateral de genes, muestran que la secuencia más ancestral pertenece al grupo de las bacterias púrpura y después las bacterias verdes del azufre. Según esto, las bacterias púrpura fueron el primer grupo fotosintético (Fig. 2 y 3).

La evolución de la fotosíntesis es un proceso complejo que implica distintos orígenes y rutas de sus numerosos componentes, por lo que su historia no puede describirse como un proceso simple y lineal. Sin embargo, parece cierto que la emergencia de Mg-tetrapirroles y de las apoproteínas de los centros de reacción son acontecimientos clave que condujeron al desarrollo del proceso fotosintético.

Quedan aún muchos aspectos de la evolución de la fotosíntesis sin resolver debido, en parte, a la existencia de componentes altamente diversificados. Una forma de conocer más sobre el tema es estudiar con amplitud de manera sistemática, descriptiva y comparada los genes y productos génicos de fotosíntesis en la diversidad de organismos fototróficos. A tal fin contribuye, sin duda, la disponibilidad de numerosísimos datos moleculares y la utilización de las herramientas de análisis filogenético. Con todo ello continuarán emergiendo nuevos conocimientos con los que reconstruir la historia evolutiva de la fotosíntesis.

## REFERENCIAS

- Doolittle, W.F. 1999. Phylogenetic classification and the universal tree. *Science* 284: 2124-2128.
- Granick, S. 1965. Evolution of heme and chlorophyll. Pp. 67-88. En: Bryson, V. y H.J. Vogel (eds.), *Evolving Genes and Proteins*. Academic Press, New York.
- Nisbert, E.G., Cann, J.R. y van Dover, C.L. 1995. Origins of photosynthesis. *Nature* 373: 479-480.
- Nisbert, E.G. y Sleep, N.H. 2001. The habitat and nature of early life. *Nature* 409: 1083-1091.
- Olson, J.M. 2001. Evolution of Photosynthesis (1970), re-examined thirty years later. *Photosynth. Res.* 68: 95-112.
- Pierson, B.K. y Olson, J.M. 1989. Evolution of photosynthesis in anoxygenic prokaryotes. Pp. 402-427. En: Cohen, Y. y Rosenberg E. (eds.), *Microbial Mat: Physiological Ecology of Benthic Microbial Communities*. American Society of Microbiology.
- Schidiowski, M. 1988. A 3.800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks. *Nature* 333: 313-318.
- Schopf, J.W. y Packer, B.M. 1987. Early Archean (3.3-billion to 3.5-billion year old) microfossils from Warrawoona Group. *Austral. Sci.* 237: 70-73.
- Shopf J.W. 1993. Microfossils of the early archaean apex chert: new evidence of the antiquity of life. *Science* 260: 640-646.
- Woese, C.R. 1987. Bacterial evolution. *Microbiol. Rev.* 51: 221-271.
- Xiong, J., Fischer, W.M., Nakahara, M. y Bauer, C.E. 2000. Molecular evidence for the early evolution of photosynthesis. *Science* 289: 1724-1730.
- Xiong, J. y Bauer, C.E. 2002. Complex Evolution of Photosynthesis. *Ann. Rev.Plant Biol.* 53: 503-521.

## Información del Autor

Elena Pérez-Urria Carril es Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Profesora del Departamento de Biología Vegetal I (Área Fisiología Vegetal) de la Facultad de Biología de esta misma universidad, su trabajo docente e investigador se centra en el área de la Biología de Organismos y Sistemas con interés en el origen de la biodiversidad, la evolución de la vida y del metabolismo, en particular de porfirinas, clorofilas y fotosíntesis.



## Cuando hablamos de “evolución biológica”, ¿de qué evolución estamos hablando? Implicaciones teológicas

**Leandro Sequeiros**

Área de Filosofía. Facultad de Teología. Campus Universitario de Cartuja.  
C. Profesor Vicente Callao 15, 18011 Granada. E-mail: Lsequeiros@probesi.org

*eVOLUCIÓN* 4(1): 43-54 (2009).

Desde campos muy diferentes de las ciencias de la naturaleza, desde la filosofía, desde una determinada visión de la Teología e, incluso, desde la política, los principios más básicos de la Evolución están siendo socavados.

### “Lo que Darwin no sabía”

En Enero de 2008 saltó a los medios de comunicación la noticia de que una entidad que se definía como religiosa, en colaboración con una entidad científica (la denominada *Médicos y Cirujanos por la Integridad Científica* [PSSI en sus siglas en inglés]) había organizado en centros universitarios y centros culturales de diversos puntos de España una serie de conferencias con pretensión científica sobre el tema “*Lo que Darwin no sabía*”. Se convocaron estos actos entre el 15 y el 28 de enero en Madrid, Barcelona, Málaga, Vigo, León y otras ciudades. En algunos casos, estas conferencias tendrían lugar en centros universitarios.

Algunas entidades científicas, como la *Sociedad Española de Biología Evolutiva* (SESBE) se pusieron enseguida en guardia desenmascarando a través de los medios de comunicación que se trataba de unos actos de contenido dudosamente científico que pretendían introducir en España la concepción creacionista vigente entre numerosos grupos de tendencia muy conservadora y en ocasiones sectaria ideológica y religiosamente. De alguna manera, forman parte de lo que hemos llamado la “marejada creacionista” que, de muy diversas formas, aparece periódicamente en el panorama de las relaciones entre ciencias y religión.

Como veremos más adelante, son muchos los grupos creacionistas y antievolucionistas hoy en nuestro mundo. La mayoría de ellos pretenden la defensa a ultranza de una ciencia de la creación basada en la interpretación literal de la Biblia, recuperando la vieja frase “*Y la Biblia tenía razón*”.

### “Se busca un nuevo Darwin”

Hemos podido leer en *El País* (19 marzo 2006): “*Se busca un nuevo Darwin*”. La élite de la biología del desarrollo cree necesario ampliar la teoría de la evolución”. Hoy la interpretación

darwinista del mundo está sujeta a continua revisión, se va extendiendo a nuevas fronteras.

Las ideas de Darwin revolucionaron no solo la concepción de lo que es el origen y la diversificación de la vida (incluidos los humanos) sobre la Tierra. También fundamentan una imagen del mundo. La imagen de un mundo autónomo en sus leyes, su funcionamiento y sus procesos contingentes (es el azar quien domina), sin finalidad y en el que todos los elementos constituyen una unidad bien trabada. Esto es lo que define al llamado *paradigma ecológico, sistémico, holístico y complejo* que emerge del evolucionismo y que es una alternativa al viejo *paradigma mecanicista o fisiológico*.

Desde éste podremos contemplar el progreso de las ciencias de la naturaleza (física, química, biología y geología) durante el siglo XX. Desde aquí se está diseñando una *imagen* de la realidad natural abierta, contingente, no dirigida (no finalista).

Hasta el siglo XIX la ciencia se ha movido metodológicamente dentro de un paradigma mecanicista y fisiológico, según el cual para conocer la realidad natural y social bastaba con dividir el objeto de estudio a sus componentes más simples y observar su comportamiento. Se suponía que todo funcionaba como un mecanismo en el que cada parte se puede explicar independientemente. El reloj barroco era el paradigma explicativo de esta realidad.

### Los avances creacionistas

Son muchos los grupos que se oponen frontalmente a las ideas evolucionistas, considerándolas contrarias a la fe. Como las setas, crecen hoy los antievolucionistas en nuestro mundo. La mayoría de éstos se incluyen dentro de lo que puede llamarse la “alternativa creacionista”, la defensa a ultranza de una ciencia de la creación basada en la interpretación literal de la Biblia.

Como botón de muestra vaya este ejemplo: en la prensa local (diario IDEAL-Granada, 29 de mayo de 2007, pág. 69) se lee un extenso artículo de una página de extensión sobre la apertura en la ciudad de Petersburg (Kentucky, EEUU) de un espectacular “*Museo de la Creación*”.

El complejo ha costado 27 millones de dólares, ocupa 9.300 metros cuadrados y de forma gráfica,

didáctica y “muy americana” se intenta mostrar que el Universo fue creado por Dios hace 6.000 años, que los días de la creación bíblica deben ser tomados a la letra, que existieron históricamente Adán y Eva, que el primero se formó del barro y la segunda de una costilla de Adán, que coexistieron dinosaurios y humanos hace pocos miles de años, que tuvo lugar el Diluvio Universal que fue el causante de la extinción de los dinosaurios y otros animales “antediluvianos”, y otras muchas afirmaciones bíblicas tomadas al pie de la letra. La inauguración de este Museo de la Creación ha levantado oleadas de indignación entre muchos científicos (paleontólogos, biólogos y geólogos, geofísicos y planetólogos, bioquímicos y genetistas...) que niegan que este museo tenga credibilidad alguna y que solo es un montaje sectario.

En Europa los creacionistas más literalistas (los que creen que hay que leer la Biblia al pie de la letra, como si fuera un libro de ciencias) y los que se apoyan en la ciencia para mostrar la falsedad de las ideas de Darwin pertenecen a la secta católica CESHE (*Cercle Scientifique et Historique*). Éste grupo fue creado para difundir la obra de su líder diluvista Fernand Crombette (1888-1970), y constituye el más fiel equivalente del creacionismo “científico” de los protestantes fundamentalistas americanos.

Incluso en España hay una sutil penetración de las ideas creacionistas entre capas de la población con poca formación. Además de los materiales clásicos de los Testigos de Jehová, de los Adventistas y de otros grupos fundamentalistas de los que hablaremos más adelante, han logrado “colar” en una editorial confesional católica (San Pablo - video) la publicación y difusión comercial de un documental del CESHE, pretenciosamente científico, de 60 minutos de duración titulado: “*La Evolución: ¿Ciencia o Creencia?*”

En él, algunos científicos, muy de segunda fila, exponen los supuestos argumentos paleontológicos, sedimentológicos, cronoestratigráficos, bioquímicos y genéticos en contra de las ideas evolutivas.

### Los imaginarios sociales sobre la evolución

Cuando en la prensa o en la televisión se habla de “evolución biológica”, por lo general, esta expresión se utiliza como sinónimo de “darwinismo”. Esta identificación entre “evolución” y “darwinismo” es frecuente, no solo en la prensa, sino también en los libros de texto de educación secundaria e incluso en libros especializados (Darnton 2006).

En el inconsciente colectivo de la opinión pública suele mantenerse esta identificación considerando que el único modo de entender la evolución es acudiendo a las ideas del genial autor de *El Origen de las Especies por la Selección Natural*.

Pero ¿es esto así? En el presente ensayo presentamos a los lectores la problemática que la interpretación del concepto de “evolución biológica” ha tenido a lo largo de la historia del pensamiento científico (ver Moreno 2002 y la web de la SESBE: [www.sesbe.org](http://www.sesbe.org)) y se intenta precisar las implicaciones teológicas que estas interpretaciones tienen. Tampoco el mismo Darwin mantuvo inalterables sus posturas. Es curioso notar que, a pesar de haber derribado con facilidad los argumentos favorables a un plan o “diseño” en la naturaleza, Charles Darwin pareció desconcertado por las críticas que sugerían que la evolución podía ser incluso *más aleatoria* de lo supuesto por él. Así, a partir de la tercera edición de *El Origen de las Especies por la Selección Natural* (aparecida en 1861) comenzó a conceder más espacio a una concepción más pluralista de la evolución, de modo que la Selección Natural pasó a ser un mecanismo entre otros para explicar el hecho incuestionable evolutivo (Para las obras completas de Darwin, consultar: <http://darwin-online.org.uk>. Para la problemática de encuentro y desencuentro entre la Evolución y la Teología, ver: Moscoso 2000; Lacadena 2001; Miller 2003; Ruse 2003, 2005; Schmitz-Moormann 2005). Por eso, cuando hablamos de “evolución biológica”, ¿de qué evolución estamos hablando?

### Los datos históricos sobre la biología evolutiva

Durante más de 24 siglos, el pensamiento biológico dominante (debido a la herencia de Aristóteles y los aristotélicos) fue denominada como *fijista* (Sequeiros 1982, 1986a, 1991). Para éstos “filósofos naturales” las llamadas “especies” animales y vegetales proceden unas de otras a lo largo de los tiempos por un proceso de “generación”, por el que los hijos se parecen a sus padres. Pero pronto, el debate científico adquirió tintes religiosos. Pero cuando más se acentuó el enfrentamiento entre la ciencia y la teología fue a partir de Darwin. Un libro reciente, *Evolution versus Creationism* (Scout 2005) aborda la problemática de las ideas de Darwin, sus implicaciones religiosas y teológicas, las polémicas en torno al evolucionismo y la construcción social de paradigmas alternativos reaccionarios. Como la mayor parte de las críticas a las ideas de Darwin se hicieron desde lugares epistemológicos de corte protestante americano, el fijismo (que es la alternativa racional al evolucionismo) se convierte en su versión religiosa integrista: el *creacionismo*.

### Algunas precisiones necesarias

Para los lectores no muy versados en esta problemática, se resumen aquí algunas ideas generales que se dan por supuestas y que han sido tratadas en otro lugar (Pueden encontrarse más

datos en: Templado 1974; Taton 1984; Giordán *et al.* 1988; Young 1998).

1) En primer lugar, no todas las posturas evolucionistas tienen que ser necesariamente darwinistas. Aunque la figura de Darwin destaca por ser el sistematizador de muchas de las ideas sobre el cambio orgánico existente en su época y *El Origen de las Especies* (1859) es la expresión paradigmática de una revolución científica, hubo otros autores que, dentro de un marco evolucionista, se apartan de la ortodoxia de Darwin.

2) Nos parece que el paradigma alternativo al que Darwin se enfrenta no es religioso ni teológico (aunque sus discusiones con el capitán FitzRoy tienen a la Biblia como lugar central) sino científico: es el **fijismo biológico**. El fijismo científico es una postura epistemológica (es decir, derivada de una determinada visión del mundo) según la cual la realidad material inorgánica y orgánica no ha cambiado desde el comienzo de los tiempos.

3) La historia del pensamiento científico muestra que ya desde los lejanos tiempos de los filósofos presocráticos y sobre todo de Aristóteles, el mundo tenía "movimientos", pero nada cambiaba ni progresaba. Las cosas volvían a su lugar natural. El orden (cosmos) lo llenaba todo. Esta visión determinista, fijista, inalterable de la realidad natural pasó de la filosofía griega al mundo árabe y a la filosofía medieval. El universo diseñado por Copérnico, por Galileo, por Kepler, por Newton, tenía movimientos muy precisos regidos por la leyes de la mecánica puestas por Dios y era inconcebible una innovación espontánea del orden cósmico. En el terreno de las ideas biológicas, el fijismo, la constancia de las especies a lo largo de los años era un hecho. "Ovo ex ovo" decían los antiguos. Ello propició el desarrollo de la taxonomía y la sistemática desde la lejana época de Aristóteles pasando por el zoólogo Ulise Aldrovandi (en el siglo XVI) y llegando hasta Carlos Linneo (1707-1778).

4) Durante muchos siglos, las ideas sobre el origen, diversidad y cambio en los fenómenos vitales eran las de Aristóteles (Glacken 1996). La autoridad de Aristóteles ha sido reconocida y sigue siendo respetada. El mismo Darwin escribió en 1888: "Linneo y Cuvier han sido mis dioses, aunque en sentidos muy diferentes, pero ellos fueron colegiales en comparación con el viejo Aristóteles".

5) La postura científica moderna del fijismo se identifica con Carl Linneo (1707-1778) (Blunt 1982; González Bueno 2001) que tiene el gran mérito de ser quien establece

las normas de nomenclatura biológica binomial seguidas hasta hoy y clasificó una gran parte del reino animal y vegetal. Para Linneo, profundamente religioso, las especies animales y vegetales "*tot sunt quae creatae a Dei in initio temporis*" (Las especies que existen son las mismas que fueron creadas por Dios al principio de la Creación). La autoridad de Linneo fue indiscutible y seguido por gran parte de los naturalistas de los siglos XVIII y XIX.

6) Al llegar los inicios de la geología en el siglo XVIII, las ideas fijistas de Linneo se unieron a las ideas religiosas, apareciendo las ideas *creacionistas*, consideradas como "científicas". A esto cooperó la dificultad para entender lo que significa lo que James Hutton (1726-1797) llamaría "el profundo abismo del tiempo" (Sequeiros *et al.* 1997a). La tradición anglicana interpretó literalmente la Biblia. Así, el Arzobispo Primado de Irlanda, Ussher escribe el 1658: "En los comienzos Dios creó los cielos y la Tierra (Gén.1.1) y de acuerdo con nuestra cronología, ese día coincide con la entrada de la noche que precedió al 23 día de octubre del año 710 del calendario juliano" (es decir, 4.000 años antes de Cristo). En la Biblia inglesa de 1701, el obispo Lloyd afirma que la Tierra tiene una edad de 6.000 años. Es la época del concordismo bíblico con la religión y las glaciaciones se hacen equivalentes al Diluvio universal y las eras geológicas con los días de la creación.

7) Pero el descubrimiento de que hay fósiles de animales enterrados que hoy no tienen representantes vivos, necesitó de una explicación. Para unos, la respuesta estaba en el Diluvio universal bíblico. Pero la reiteración de extinciones a lo largo del tiempo empujaron a buscar otras explicaciones más científicas (Sequeiros 1996, 2000a, 2002a). Así aparece en paradigma del "*Catastrofismo creacionista progresivo*" escenificado por Georges Cuvier (1769-1832; zoólogo francés, anatomista y fundador de la paleontología en el sentido moderno de la palabra, al desarrollar la anatomía comparada. Su *Recherches sur les Ossements Fossils* (1812) es un libro clásico), quien postula que, tras una desaparición brusca de grupos biológicos en el registro estratigráfico, reaparezca súbitamente más arriba (y por tanto, después en el tiempo) otro grupo más perfecto. Los catastrofistas suponen que la modernidad de estos restos sirve para establecer jalones en la naturaleza. Así nace un fijismo mucho más elaborado que tiene en cuenta la aceptación irrenunciable de los cambios de los seres vivos. Pero el paradigma imperante se transforma en *catastrofista* (Concepto de Kuhn 1975). El catastrofismo fue muy seguido en el



Georges Cuvier

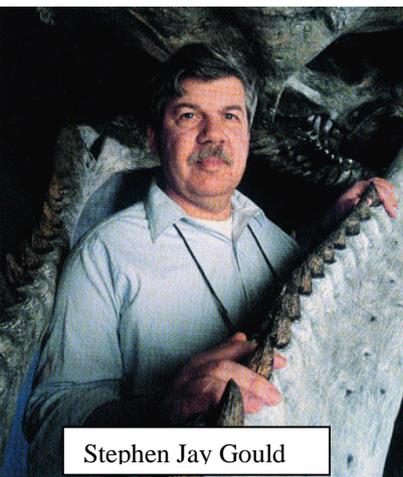


Carl Linneo

siglo XIX, pues desde el punto de vista científico y desde el punto de vista teológico satisfacía las exigencias de los naturalistas. Ello explica las dificultades que tuvieron para ser aceptadas las ideas “transformistas” de Juan Bautista Lamarck (1744-1829), algunas de cuyas tesis están hoy siendo reivindicadas por los historiadores de la biología (Sequeiros 2001).

### Tres modelos en la interpretación del proceso evolutivo

El concepto de “evolución” se suele asociar con la figura de Darwin. Pero esa representación mental no es exacta. Existen muy diferentes modelos para interpretar el hecho y los mecanismos del cambio irreversible de los seres vivos a lo largo del tiempo. El concepto de “evolución” es ampliamente polisémico. Y por ello, su sentido es ambiguo. Si al que esto escribe le preguntan “¿eres evolucionista?”, tendrá que responder: “depende del sentido que le des al término”. Juan Pablo II, en su alocución de 1996 era perfectamente consciente de ello.



Stephen Jay Gould

Tal vez, una de las síntesis más acertadas encaminadas al esclarecimiento de la terminología sobre los diversos sentidos de la palabra “evolución” es la que hace ya unos años presentó el prestigioso paleontólogo (fallecido en 2002) Stephen Jay Gould (Gould 1977, 2004; ver también Milner 1995; Young 1998). Este autor presenta estos modelos en función de las antítesis en los conceptos que describen la historia evolutiva.

Denomina como *metáforas*, como glosas de una realidad siempre inasible, a las distintas posturas epistemológicas de los neontólogos (naturalistas que se dedican al estudio multidisciplinar del fenómeno de la vida tal como se da en la actualidad) y paleontólogos evolucionistas.

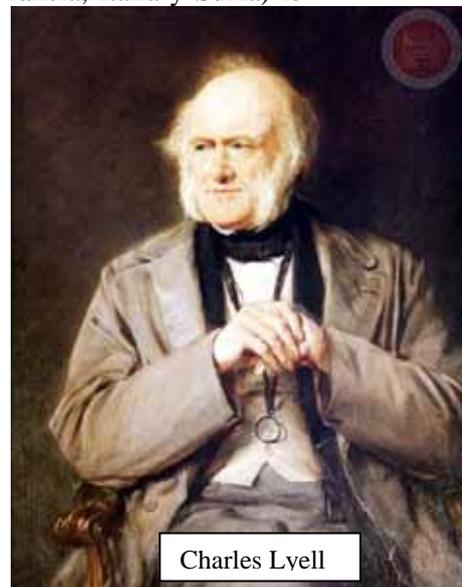
1) *El primero de los modelos que pueden plantearse en la interpretación del proceso evolutivo se fundamenta en la cuestión de si la historia de la vida tiene o no direcciones definidas.*

Los teóricos de la evolución biológica se han planteado si la diversificación de la vida a lo largo de los tiempos geológicos, tal como aparece en los estudios paleontológicos (a partir de los datos del registro fósil) o neontológicos (a partir de los datos suministrados por la biología experimental), tiene propiedades vectoriales o no. Es decir, si los procesos evolutivos parecen tener a lo largo del tiempo un aumento en la

complejidad de las estructuras, un aumento de diversificación genérica o específica, un aumento de tamaño, de acentuación de un determinado carácter, etc, o más bien no se observa ningún carácter vectorial en los procesos. Durante mucho tiempo se ha estudiado el aumento de la capacidad craneana en los primates superiores y en los homínidos, o en el tamaño de los cuernos del Alce de Irlanda. Los ejemplos se podrían multiplicar.

En función de esta primera antítesis podemos separar dos modos diferentes de entender lo que es la evolución biológica. Por una parte, un grupo de biólogos y paleobiólogos evolucionistas se sitúan dentro de las escuelas llamadas *direccionistas*, que identificamos con la letra (D); y otro grupo se sitúa en las escuelas *no direccionistas*, es decir, partidarios de lo que se llama *estado estacionario (steady stage)*, que etiquetamos con la letra (E). Los *direccionistas* (D) percibirán en los procesos biológicos, a lo largo del tiempo geológico, una dirección o tendencia evolutiva que intensifica gradual o súbitamente un determinado carácter morfológico, funcional, ecológico, etológico o fisiológico. Por el contrario, los partidarios del *estado estacionario (steady stage)* (E) perciben cambios biológicos a lo largo del tiempo geológico pero no perciben direccionalidad alguna. Van Valen denominó a éste proceso el de la *Reina Roja* de Alicia en el País de las Maravillas de Lewis Carroll: todo se mueve para que nada cambie y siga permaneciendo en su lugar (van Valen 1973). Un ejemplo clásico es el del gran geólogo y abogado escocés Charles Lyell (1797-1875): observaba cambios climáticos en el planeta Tierra a lo largo del tiempo y esto provocaba que apareciesen faunas y floras olvidadas. Un aumento en la temperatura de la Tierra podría hacer reaparecer a los dinosaurios que debían haber quedado escondidos en algún lugar cálido del planeta. Las observaciones realizadas por Europa (sobre todo en Francia, Italia y Suiza) le

llevan a elaborar una teoría de la Tierra basada en la lentitud, gradualismo, continuidad y ciclicidad de los fenómenos geológicos. El estudio de los moluscos actuales y fósiles le llevaron a elaborar una teoría estratigráfica que le permitió dividir la era Terciaria en tres períodos. Su obra principal es *Principles of Geology* (Londres, 1830-1833). Una obra menor más actualizada es *Elements of Geology*



Charles Lyell

(1838) que fue traducida al castellano en 1848 por Joaquín Ezquerro del bayo y sirvió como libro de texto universitario en España durante muchos años (dos ejemplares pueden consultarse en la Biblioteca de la Facultad de Teología de Granada).

Esta antítesis entre *direccionistas* (D) y *no direccionistas* (E) subyace, por ejemplo, en los debates entre las escuelas “catastrofistas” y “uniformitaristas” en la geología del siglo XIX. Para los “catastrofistas” (como Cuvier en Francia y Buckland en Inglaterra), el registro geológico muestra cambios progresivos (los peces aparecen antes que los anfibios y luego aparecen los reptiles y al final los mamíferos y los humanos). Hay una dirección en la forma en que aparecen los diversos grupos animales, esta aparición sigue un orden “progresivo” de perfección de formas, pero no aceptan que exista un proceso de transformación desde unos a otros sino que postulan la existencia de un proceso de extinción debida a alguna catástrofe natural, seguida de una nueva creación divina o no (Sequeiros 2002a).

Para los partidarios del *estado estacionario* (*no direccionistas*) (E), en la naturaleza hay cambios naturales que no suponen en modo alguno un avance global en la perfección de las formas biológicas. Basados en los principios de la física de Newton, todo se mueve de forma natural, pero vuelve al estado inicial por su propia inercia: para su representante más eminente, Charles Lyell, el nivel del mar sube y baja, las temperaturas medias de la Tierra oscilan periódicamente sucediéndose épocas cálidas y glaciares; de acuerdo con estos cambios ambientales reaparecen especies que se creían extinguidas para siempre, pero globalmente las condiciones iniciales del sistema del mundo permanecen inalterables. Todo se mueve, pero nada cambia.

#### *El debate desde la aparición de Charles Darwin*

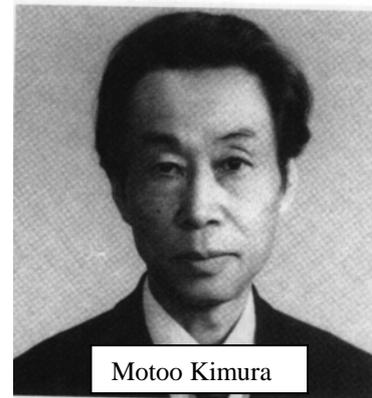
Durante la primera mitad del siglo XIX, el debate es básicamente geológico. Pero a partir del debate sobre *El Origen de las Especies* (1859) de Charles R. Darwin (1809-1882) el debate se centra en la biología y las posturas se agrupan en torno a las escuelas “vitalistas-finalistas” y los “ambientalistas”. Para los primeros, el fenómeno vital no se adapta a nuevas situaciones ambientales y existe una programación interna en los seres vivos. Han querido ver una dirección programada y predeterminada en los fenómenos biológicos que mantienen una “dirección inevitable” de cambio biológico (tal es el caso del paleontólogo Osborn y su *aristogénesis*). Etiquetamos esta postura como *internalista* y se identifica con la letra (I). Por otra parte, algunos biólogos y paleontólogos estrictos mantienen que la evolución no significa otra cosa que la respuesta “adaptativa” a cambios locales de las condiciones ambientales. Los seres vivos mues-

tran una gran plasticidad pasiva para que sean modelados sus caracteres biológicos por un medio cambiante. Por ello, se incluyen dentro de una escuela que llamaremos *ambientalista*, identificada con la letra (A).

Estas dos posturas reaparecen en éstos últimos años en la biología evolutiva. En la paleobiología moderna volvemos a encontrar la metáfora neolyelliana en los “modelos de equilibrio” de David Raup y Stanley y el “contingetismo” de Stephen Ja Gould. Por otra parte, a noción de “anagénesis” desarrollada por Huxley (1958) y la aparición de “grados” de perfección sucesivos sugieren la idea de “dirección” del cambio.

Por otra parte, las llamadas “teorías neutralistas”, “contingentes” o “no direccionistas” están bien representadas con las aportaciones de Kimura y Gould. En los últimos años del siglo XX, algunos naturalistas hablan de la aparición de caracteres nuevos que no son necesariamente e inmediatamente útiles. No significan de entrada ninguna ventaja adaptativa. Serían “no adaptativos o neutros” y el proceso, según Gould, se llamaría de “exaltación” en lugar de “adaptación”. Es curioso notar que, a pesar de haber derribado con facilidad los argumentos favorables a un plan o “diseño” en la naturaleza, Charles Darwin pareció desconcertado por las críticas que sugerían que la evolución podía ser incluso *más aleatoria* de lo supuesto por él. Por ello, a partir de la tercera edición de *El Origen de las Especies por la Selección Natural* (aparecida en 1861) comenzó a conceder más espacio a una concepción pluralista de la evolución, de modo que la Selección Natural pasó a ser sólo un mecanismo entre otros para explicar el hecho incuestionable evolutivo. En la década de los sesenta del siglo XX, con los nuevos hallazgos relativos a la enorme variabilidad genética en las poblaciones naturales, volvió a surgir una “escuela neutralista”. Los investigadores J.L. King y, sobre todo, Motoo Kimura (ver la página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Teoría\\_de\\_la\\_evolución\\_molecular](http://es.wikipedia.org/wiki/Teoría_de_la_evolución_molecular)) mantuvieron que, si la evolución no se asemejaba a un viaje planeado de antemano, con un destino previsto, sí podría parecerse a un “paseo al azar” –una vuelta dada en una u otra dirección, sin otro motivo concreto que las contingencias de su historia-. La “casualidad” (el azar, la contingencia) y la selección configuran los organismos, pero ¿en qué proporciones? El debate sigue abierto para inspirar nuevos proyectos de investigación.

El paleontólogo Stephen Jay Gould (fallecido tempranamente en 2002) en su último trabajo



Motoo Kimura

sobre Darwin y el darwinismo (Gould 2004), cita sus propias reflexiones e investigaciones sobre el carácter inicialmente exaptativo de muchos de los caracteres que aparecen por azar en una población actual o fósil. Gould contrapone la metáfora “direccionalista” (mejor que “progresionista”) ya que la dirección del cambio biológico puede ser regresiva siguiendo la conceptualización de Darwin para el que la palabra “evolución” no significaba necesariamente cambio a mejor. Al hablar de “*evolución*” los biólogos y los paleontólogos quieren decir que, con el paso del tiempo, el cambio de las frecuencias génicas de las poblaciones produce nuevas especies a lo largo de generaciones. Charles Darwin denominó a este fenómeno “*descendencia con modificación*”, un proceso lento que suele actuar a lo largo de millones de años. Por ello, Darwin evitó nombrar la palabra “*evolución*” en la primera edición del *Origen de las Especies* (1859) y hasta la sexta edición no la usa. Ello tiene su explicación:

a) en tiempo de Darwin era sinónimo de preformacionismo, proceso de desarrollo previsto del embrión (uno de los temas más batallados en el siglo XIX; Coleman 1983; Giordan *et al.* 1988).

b) en tiempo de Darwin, la palabra “evolución” significaba “cambio a mejor” y la evolución darwiniana no tiene sentido progresionista.

c) en tiempo de Darwin, la palabra “evolución” significaba algún tipo de diseño previo de hacia dónde se encaminaba algún proceso. Y esa no era la idea de Darwin.

2) *El segundo de los modelos que pueden plantearse en la interpretación del proceso evolutivo se establece sobre la antítesis de si la evolución tiene o no tiene un “motor” del cambio orgánico.*

Muchos paleontólogos y neontólogos se preguntan, a partir de sus investigaciones de campo o de laboratorio, si existe algún “motor” (como principio de movimiento) en el proceso de evolución biológica. ¿Cómo interactúan los elementos vivos con los elementos no vivos de la naturaleza? ¿Quién cambia a quién? ¿Cuál es el producto de esa interacción? El cambio biológico irreversible, la evolución biológica, está movida por los cambios en las condiciones del medio? Volvemos a encontrar aquí las tendencias que hemos llamado “ambientalista” (A). Por el contrario, algunos autores han querido ver el motor de la evolución en una potencia interior de los seres vivos, en la capacidad de cambio biológico independiente de las condiciones ambientales. Son las posturas “internalistas” (I) ya citadas.

El debate entre “internalistas” y “ambientalistas” está ya presente en la historia de las ciencias de la vida desde los tiempos pre-evolucionistas. En esa época (a finales del siglo XVIII y en los inicios del siglo XIX), el debate científico se focalizaba en la importancia que

para los seres vivos podían tener los cambios geológicos. Siendo enemigos de cualquier tipo de cambio evolutivo irreversible, pero desde perspectivas muy diferentes, Buckland (que creía en la existencia de catástrofes naturales periódicas) y Charles Lyell (que defendía que los cambios geológicos son muy lentos, graduales y continuos), coincidían en admitir que el medio ambiente físico proporcionaba el ímpetu

primero para el cambio orgánico. Por otra parte, el paleontólogo suizo Louis Agassiz (1807-1873) defendía vigorosamente en 1857 (“*Métodos de estudio en Historia Natural*”) que la vida a lo largo de los tiempos cambia debido a una “dinámica interna”, nunca por influjo modificante de los cambios en los factores del medio ambiente natural y geológico.

Este debate entre “internalistas” y “ambientalistas” se reproduce de nuevo bajo el paradigma de la geología evolucionista, aunque situado en otros marcos diferentes y elaborando metáforas nuevas. Así, los partidarios de una evolución ortogenética regresan a una posición similar a la de Agassiz: independientemente de los cambios del medio, los seres vivos se ven impelidos a evolucionar en una dirección determinada. La posición de la Ortogénesis fue definida por primera vez por Eimer cuyo pensamiento asociamos con el de Henri Bergson (1859-1941) (que había publicado en 1907, su obra *Le Evolución Creadora*). Bergson revela la diferencia entre *tiempo* y *duración* y el *élan vital*, ese flujo sutil que empuja hacia delante y hacia arriba. Bergson es un pensador brillante, opuesto al que considera mecanicismo del neodarwinismo y se acerca a las ideas de Theodor Eimer sobre la *ortogénesis*, la existencia de un *élan vital* que empuja a la vida a avanzar y en algunos de los caracteres morfológicos.

Por otra parte, los paleontólogos y neontólogos cercanos a las tesis de Darwin (Dollo y Matthew en particular) arguyen que la evolución tiene lugar cuando los cambios en el medio natural pasado o actual ejercen una presión selectiva sobre los seres vivos dando lugar a nuevas adaptaciones. Tal es el caso muy citado de la *Biston betularia* (una polilla con dos formas, blanca y negra) (Ayala y Valentine 1983).

Más modernamente, en el debate para la construcción social de la nueva Paleobiología, el debate se resucita con las tesis de J. W. Valentine (Valentine 2000) de que el medio ambiente externo es el “motor” para todo cambio evolutivo importante (ver Ayala y Valentine 1983). Su

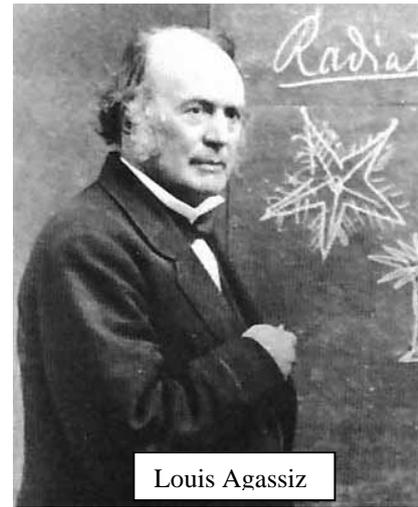


TABLA I.- SÍNTESIS DE LAS METÁFORAS SOBRE LOS PROCESOS EVOLUTIVOS.

Dirección del cambio	Modo del cambio	"Tempo" del cambio	Nombre y Escuela	Frecuencia
Estado estacionario (steady stage) (E)	Ambientalista (A)	Puntuacional (EAP)	D´Arcy Thompson	Raro
		Gradualista (EAG)	Primer Lyell, parte de Darwin, uniformismo estricto" Neutralismos.....	Poco común
	Internalista (I)	Puntuacional (EIP)	El último Agassiz	Muy raro
		Gradualista (EIG)	Lamarck	Muy raro
Direccional (D)	Ambientalista (A)	Puntuacional (DAP)	Auckland. Neocatastrofism.	Muy común
		Gradualista (DAG)	Último Lyell, parte de Darwin	Común
	Internalista (I)	Puntuacional (DIP)	Primer Agassiz, Oken, la mayor parte de la "Naturphilosophie"	Moderadamente común
		Gradualista (DIG)	Osborn, Ortogénesis	Común

ambientalismo radical le lleva a relacionar la tectónica de las placas a lo largo de los tiempos geológicos con la diversificación de los grupos biológicos: a mayor fragmentación de placas, mayor diversidad taxonómica. Por otra parte, la defensa de la dinámica interna de las poblaciones como "motor" del cambio orgánico irreversible es argumentada por Stanley (1986) en el sentido de que el potencial de una especie para encontrar nuevos nichos y adaptarse a ellos es prácticamente ilimitado.

En todos estos casos, tan diferentes entre sí pero coincidentes en el aspecto del "motor" del cambio nos referiremos siempre a las metáforas de "ambientalismo" (A) e "internalismo" (I).

3) *El tercero de los modelos que pueden plantearse en la interpretación del proceso evolutivo se establece en función del ritmo ("tempo") del cambio orgánico.*

El problema que se plantea aquí es el del ritmo del proceso evolutivo. Para Darwin (siguiendo la metáfora de Lyell) los cambios geológicos y biológicos son siempre lentos, graduales y continuos. ¿Es posible concebir cambios en los ritmos de evolución de las especies? Este es un debate que, presente en los tiempos anteriores a Darwin, ha resurgido en los años terminales del siglo XX y aún sigue vivo y actual. La alternativa a la pregunta sobre el ritmo de los procesos evolutivos se simplifica en las posturas *gradualistas* [que designamos con la letra (G)] y el anglicismo *puntuacionistas* [designados con la letra (P)](La expresión punctuated equilibria ha sido traducida al castellano de modo más o menos acertado como equilibrios pautados, equilibrios puntuados, equilibrios interrumpidos a intervalos o equilibrios intermitentes; ver Gould 2004; Sequeiros 1980).

En los tiempos pre-evolucionistas, Charles Lyell (1842) fue un gradualista dogmático que defendió siempre a partir de sus propias observaciones geológicas por Europa la exasperante lentitud y continuidad de los procesos geológicos (Sequeiros 1981, 1986b, 1987, 1990; Cabezas 2002). Pero desde el punto de vista biológico, nunca aceptó el hecho de la evolución y abogó por la creación y extinción continua de los organismos, negando toda posibilidad de catástrofes o de extinciones en masa. Sin embargo, en sus últimos escritos se descubre más abierto a la posibilidad de una cierta direccionalidad de los procesos geológicos y biológicos (Gould 1992; Cabezas 2002) (Tabla 1).

En la etapa pre-evolucionista, los catastrofistas se aglutinan en el polo opuesto al gradualista: para ellos, la Tierra fue sometida periódicamente a convulsiones bruscas, violentas y globales que produjeron cambios no solo en la disposición de tierras y mares, montañas y valles, sino también en la desaparición de faunas y floras que, según ellos, era sustituida por otra tras una nueva "creación" (Hooykaas 1963; Hallam 1977; Sequeiros 2000b, 2002a, 2003). Su postura está más cerca de la postura "puntuacionista" que de las otras.

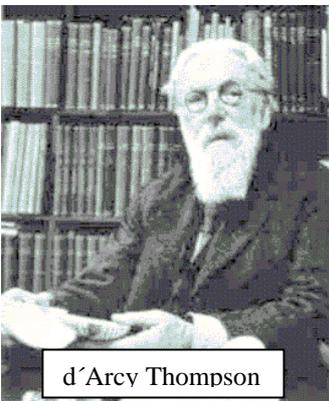
Si nos aproximamos a la etapa evolucionista (sobre todo bajo el paradigma darwinista) nos reencontramos con el "gradualismo" en el ritmo que propone Darwin para el origen de las especies por la selección natural. Sin embargo, otro volucionista, como d´Arcy Thompson (1917), en *On Growth and Form* "invoca el espíritu de Pitágoras para justificar la existencia de hitos macromutacionales entre formas teóricas".

Si volvemos nuestros ojos a la moderna Paleobiología encontramos las mismas metáforas desde perspectivas diferentes. El debate iniciado

por los paleontólogos Eldredge y Gould (1972) en torno al equilibrio intermitente de las especies, lejos de estar resuelto sigue vivo dentro de la comunidad científica. Su postura se enfrenta a los detractores como Gingerich (1976). Para los primeros, las discontinuidades que se encuentran en el registro fósil no pueden interpretarse siempre (como hace Charles Darwin) acudiendo a falta de sedimentación o falta de fosilización de las “formas puente” o eslabones perdidos. En muchos casos (como han postulado Eldredge y Gould desde 1972) se trata de auténticos “saltos” evolutivos, intermitentes en el registro geológico y que se repiten periódicamente a lo largo de un linaje fósil de evolución lenta.

### Ocho metáforas significativas de ocho tipos de evolución diferente

Si Juan Pablo II aludía en su discurso a la Pontificia Academia de Ciencias a “la diversidad de las explicaciones que se han propuesto con respecto al mecanismo de la evolución”, y a “las diversas filosofías a las que se refiere”, nos encontramos en nuestro recorrido histórico por las teorías evolutivas con ocho metáforas diferentes que se corresponden con ocho tipos de evolución diferente. Pasaremos revista breve a las mismas aludiendo a su código correspondiente:



d'Arcy Thompson

1) **EAP** (estado estacionario + ambientalismo + puntuacionismo): tal vez el autor más significativo es d'Arcy Thompson. Postulaba en 1917 que las fuerzas físicas moldean la forma de los organismos directamente (defiende pues un ambientalismo radical). No reconoce que puedan existir formas intermedias entre los diversos modelos. Las transiciones entre formas se deben a macromutaciones (una

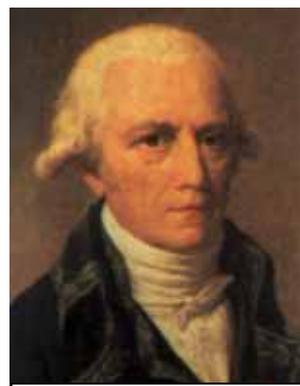
variedad de puntuacionismo procedente de Goldsmith (1940). Al ser las fuerzas físicas del medio las que moldean la forma de los organismos, éstos no varían irreversiblemente a lo largo de los tiempos geológicos, y por ello el desarrollo histórico de la vida no tiene ninguna direccionalidad (nos encontramos en un estado estacionario). Esta postura es raramente seguida por los modernos teóricos de las teorías evolutivas.

2) **EAG** (estado estacionario + ambientalismo + gradualismo): esta metáfora expresa bien la postura del “uniformitarismo estricto”, mantenida por Charles Lyell en su etapa más significativa (la de los *Principles of Geology*, 1830-1834?), y por Charles Darwin en una parte de sus ideas en la primera edición de *El Origen de las Especies* (1859). Darwin evita la palabra

“evolución” porque tiene resonancias de progresionismo y prefiere hablar de “cambio orgánico”. Para ambos, en esta etapa, no hay un aumento de complejidad y diversidad de la vida a lo largo de los tiempos geológicos (estado estacionario). Lyell y Darwin postulan que los cambios climáticos y geológicos han regulado los procesos de extinción de especies; y para Darwin (no para Lyell) la selección de los menos dotados para sobrevivir da lugar a la supervivencia de los más aptos y consiguientemente, a lo largo de muchas generaciones, a nuevas formas que no son fecundas con otras y que por ello se consideran nuevas especies. Por otra parte, estos procesos son muy lentos, graduales y continuos permaneciendo imperceptibles para el observador externo. Lyell nunca abandonó (A) y (G), pero la evidencia acumulativa de la dirección de la historia de los vertebrados le hizo flexibilizar su postura aunque, pese a su amistad y admiración por Darwin, nunca se produjo su conversión al evolucionismo biológico. Darwin, sin embargo, nunca tuvo dudas respecto a (A) y (G), pero tuvo una actitud ambigua respecto a la antítesis direccionalidad (D) frente al estado estacionario (E). Arguyó con vigor que nada en su teoría de la selección natural le permitía creer en el progreso inherente o direccionalidad, pues la selección natural se refiere solo a la adaptación en un medio ambiente local. Solo a partir de sus trabajos sobre *La Descendencia del Hombre* (1871) parece referirse a una cierta direccionalidad. En estos últimos años, que se ha comentado más arriba, los diversos tipos de “neutralismo” (Kimura) están haciendo emerger de nuevo, pero reelaborado, esta metáfora evolutiva.

3) **EIP** (estado estacionario + internalismo + puntuacionismo): son pocos los autores que defienden esta combinación de factores. El paleontólogo Louis Agassiz, en su última época, permaneció fiel a la idea de los “saltos” en la naturaleza (hablaba de los glaciares como “el gran arado de Dios”) y defendía la independencia de las formas vivas nuevamente creadas tras una catástrofe respecto a los factores del medio externo. Sin embargo, si en sus primeros trabajos fue direccionalista (D), en sus trabajos de madurez, después de la lectura crítica de *El Origen de las Especies* de Darwin, llegó a pensar que la complejidad de la vida no ha variado desde la explosión de la vida en el Fanerozoico, al inicio de la era Primaria (E). Es una postura rara en la historia del pensamiento evolucionista.

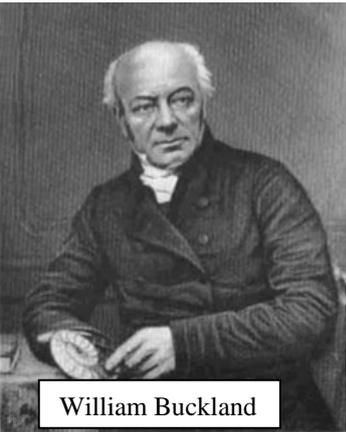
4) **EIG** (estado estacionario + internalismo + gradualismo): esta metáfora expresa muy acertadamente la postura de Juan Bautista Lamarck (1744-1829) (Sequeiros 2001, 2002a). El colega disidente del gran Georges Cuvier parte de la



Juan Bautista Lamarck

hipótesis del “*sentiment intérieur*”, la fuerza que desde dentro de los organismos tiende gradual e incesantemente a complicar la organización biológica de los órganos. Es, por ello, internalista (I) y gradualista (G). Pero su concepción biológica (generación espontánea continua seguida de transformación de los órganos por uso y desuso) hace de Lamarck un antidireccionalista, pues continuamente se produce una recreación. También es una postura rara en la historia del pensamiento evolucionista, pese al resurgir de los Neolamarckismos.

**5) DAP** (direccionalismo + ambientalismo + puntuacionismo): esta es la combinación que



William Buckland

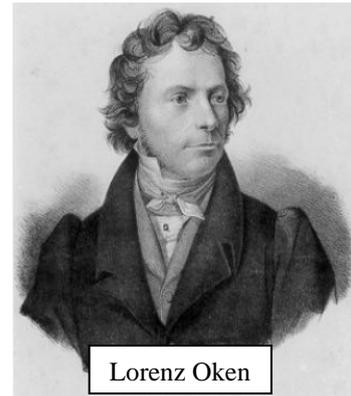
caracteriza bien la metáfora del catastrofismo del siglo XIX, postura bastante repetida en la historia del pensamiento biológico y geológico. El gran antagonista de Lyell, William Buckland (1784-1856), es un buen ejemplo de esta postura. Buckland, geólogo y teólogo inglés. Deán de la Catedral de Oxford, fue el primer profesor de geología de esa Universidad y partidario del catastrofista neptunista: todo proviene de las aguas del mar. Postulaba la

existencia de un período intermedio (Preadámico) entre la Creación divina originaria de los cielos y tierras y el primero día del Génesis. Buckland pensaba que durante ese período Preadámico habrían tenido lugar los cambios geológicos catastróficos principales, tal como sugerían A. G. Werner y G. Cuvier. Las ideas más “seculares” de Lyell chocaron frontalmente con la teología geológica de Buckland. Su obra más conocida, *Reliquiae Diluvianae* fue muy estimada por muchos geólogos de su tiempo (ver Ellenberger 1994; Sequeiros 1997; Sequeiros *et al.* 1997b). Para Buckland, a cada nueva creación sigue una rápida extinción en masa (P), y aparecen grupos de seres vivos más perfectos que los anteriores (D) que se adaptan a nuevas condiciones ambientales (A). Las metáforas neocatastrofistas, reelaboradas a partir de los trabajos ya citados de Eldredge y Gould, están revolucionando las metáforas evolutivas (Gould 1980).

**6) DAG** (direccionalismo + ambientalismo + gradualismo): como se ha citado, en sus últimos días, Lyell pudo admitir la evidencia empírica de un cierto progresionismo biológico a lo largo de los tiempos geológicos (D). Pero firme en sus planteamientos uniformitaristas, sigue defendiendo el cambio lento y gradual (G) y la influencia del medio ambiente sobre los fenómenos vitales (A). Las ideas de Darwin en la primera edición de *El Origen de las Especies* coincide con este planteamiento. ¿Hasta qué punto Lyell cambió su modo de pensar por influjo de Darwin? Es un problema abierto (Gould 1992; Sequeiros 1997,

2002a; Cabezas 2002) del que en este momento prescindimos. Solo resaltamos aquí que esta metáfora (DAG) tuvo muchos seguidores en su época y todavía hoy los tiene.

**7) DIP** (direccionalismo + internalismo + puntuacionismo): otro grupo de geólogos catastrofistas mantienen esta postura sobre el hecho evolutivo, secundando las ideas de William Buckland, que en su tiempo tuvo gran aceptación por el hecho de que estas ideas “encajaban” con los datos bíblicos. Defienden un cambio intermitente (P) de grupos de faunas, así como un progresionismo dirigido (D) en el orden de aparición de los diversos taxones (no pueden invalidar los datos del registro fósil). Pero no ven la relación entre este cambio y el influjo físico del medio natural. No conceden nada al ambientalismo. Los partidarios del Diluvio Universal bíblico y los multicatastrofistas estarían muy satisfechos en esta postura. El Creador -siguiendo a Louis Agassiz- tiene su propio plan para organizar el cambio y el progreso de las cosas naturales. Por ello, el influjo del medio físico en la dirección del cambio se considera inexistente. Por otra parte, en Alemania, Lorenz Oken (1779-1851) (médico y filósofo de la naturaleza. Se distinguió por los estudios sobre el embrión del pollo y expuso una teoría celular especulativa basada en las matemáticas y la teología. Un genuino impulsor de la *Naturphilosophie*, una combinación de idealismo platónico y búsqueda de la pureza estética), defiende con ardor que la mente de Dios dirige el proceso de cambio desde el cero inicial hasta llegar al ser humano a lo largo de unas premeditadas catástrofes reconstructoras.



Lorenz Oken

**8) DIG** (direccionalismo + internalismo + gradualismo): la mayor parte de los ortogencistas del siglo XIX defendían un proceso de la evolución entendido como una ascensión lenta y gradual (G), que surge de una voluntad interna para cambiar (el *élan vital* de Bergson) y que conduce a una mayor complejidad (D). En el ambiente cultural francés estas ideas están muy presentes y hay un exponente en la filosofía oculta de Teilhard de Chardin (Makinistian 2004; Sequeiros 2005). Sobre Teilhard influye el pensamiento de Henri Bergson (1859-1941) (que había publicado en 1907, su obra *Le Evolución Creadora*) que le revela la diferencia entre *tiempo* y *duración* y el *élan vital*, ese flujo sutil que empuja hacia delante y hacia arriba. Bergson es un pensador brillante, opuesto al que considera mecanicismo del neodarwinismo y se acerca a las ideas de Theodor Eimer sobre la *ortogénesis*, la existencia de un *élan vital* que empuja a la vida a avanzar y en algunos de los caracteres

morfológicos. De alguna manera, se recupera la tradición de la biología francesa (con Buffon y el inicio del progresionismo degeneracionista; Cuvier, y las revoluciones del Globo; Lamarck, y el transformismo total; y Saint Hilaire, con el “plan de constitución” que se va desarrollando históricamente a lo largo de la evolución). Según apunta la Dra. Yvette Conry (1972), el peso de las ideas biológicas y paleontológicas en Francia y su dependencia de Alemania, hicieron muy impermeable a la ciencia francesa a las ideas del evolucionismo darwinista. Siempre hubo un pensamiento fuertemente finalista y ortogencetista. De alguna manera, Teilhard participa de esas ideas finalistas que le son muy útiles para su visión místico-teológica de un mundo que avanza hacia el punto omega, la recapitulación de todo en Cristo. En el mundo anglosajón, defiende posturas DIG el paleontólogo Henry Fairfield Osborn (1857-1935) Osborn fue presidente del Museo Americano de Historia Natural y es conocido por sus estudios sobre la evolución de los caballos y de los elefantes en EEUU. Como defensor de la evolución, defendió la llamada *Aristogénesis*: creía que el proceso de evolución estaba impulsado por una minoría de seres superiores que aparecían y cumplían una función de empuje hacia adelante. Esta teoría la aplicó también a los grupos humanos sin dudar nunca de que él mismo y su círculo eran los productos más sublimes de la evolución y estaban llamados a crear una nueva sociedad. Su teoría de la *Aristogénesis* llevó a Osborn a desautorizar la ascendencia “simiesca” del ser humano. En vez del hombre-simio de Darwin, postulaba que había existido una línea aparte, la del “hombre auroral” que nunca había vivido en las selvas (Sequeiros 1999).

### Conclusión

En estos meses entre 2007 y 2008, tanto el *Instituto Metanexus* para la Ciencia y la Religión ([www.metanexus.net](http://www.metanexus.net)) como los grupos locales (entre ellos, el establecido en la Facultad de Teología de Granada), como los miembros de la SESBE, han reflexionado teológicamente sobre los retos que la visión evolutiva del universo, y dentro de él, de los seres humanos, pueden llevar a una confrontación entre la ciencia y la religión. Se piensa que dentro de una concepción abierta de la teología no solo es posible el diálogo, sino que es posible y necesario un encuentro de posturas. Y en este encuentro, ambos saldrán beneficiados, tanto la ciencia como la teología.

### REFERENCIAS

- Ayala, F.J. y Valentine, J.W. 1983. *La Evolución en Acción*. Alhambra Univ.
- Blunt, W. 1982. *El Naturalista. Vida, Obra y Viajes de Carl von Linné (1707-1778)*. Ed. del Serbal, Barcelona,
- Cabezas, E. 2002. *La Tierra, un Debate Interminable*. Prensas Univ, de Zaragoza.
- Coleman, W. 1983. *La Biología en el Siglo XIX. Problemas de Forma, Función y Transformación*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Conry, Y. 1972. *Introduction du Darwinisme in France*. PUF, París.
- Darnton, J. 2006. *El Secreto de Darwin*. Planeta, Barcelona.
- Eldredge, N. y Gould, S.J. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. En: Schopf, T.J.M. (ed.), *Models in Palaeobiology*. Freeman, San Francisco,
- Ellenberger, F. 1994. *Histoire de la Géologie*. Vol. II, Ed. Lavoisier, Paris.
- Gingerich, P.D. 1976. Palaeontology and phylogeny: patterns of evolution at the species level in early Tertiary Mammals. *Am. J. Sci.* 276: 1-28.
- Giordán, A., Host, V., Tesi, D., Gagliardi, R. 1988. *Conceptos de Biología*. Vol. 2. Ed. Labor, Barcelona,
- Glacken, C.J. 1996. *Huellas en la Playa de Rodas: Naturaleza y Cultura en el Pensamiento Occidental desde la Antigüedad hasta Finales del Siglo XVIII*. Ed. del Serbal, Barcelona.
- Goldschmidt, R. 1940. *The Material Basis of Evolution*. New Haven, Yale Univ. Press.
- González Bueno, A. 2001. *El Príncipe de los Botánicos*. Ed. Nivola, Madrid.
- Gould, S.J. 1977. Eternal metaphors in palaeontology. Pp. 1-26. En: Hallam, A. (ed.), *Patterns of Evolution*. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam.
- Gould, S.J. 1980. Is a new and general theory of evolution emerging? *Paleobiol.* 6: 119-130.
- Gould, S.J. 1992. *La Flecha del Tiempo*. Alianza Univ., Madrid,
- Gould, S.J. 2004. *La Estructura de la Teoría de la Evolución*. Tusquets, Barcelona,
- Hallam, A. 1977. *Patterns in Paleobiogeography*. Elsevier, Amsterdam.
- Hooykaas, R. 1963. *The Principle of Uniformity in Geology*. Brill, Leyden.
- Kuhn, T.S. 1975. *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Fondo de Cultura Económica, México, (traducción de la edición de 1962).
- Lacadena, J.R. 2001. *Fe y Biología*. Colección Cruce, nº 4, Ed. PPC, Madrid.

- Makinistian, A.A. 2004. *Desarrollo Histórico de las Ideas y Teorías Evolucionistas*. Prensas Universitarias de Zaragoza,
- Miller, K.B. (ed.) 2003. *Perspectivas on an Evolving Creation*. Eermann Publ., Michigan.
- Milner, R. 1995. *Diccionario de la Evolución. La Humanidad a la Búsqueda de sus Orígenes*. Prólogo de S.J. Gould. Bibliograf, Barcelona.
- Moreno, J. 2002. Historia de las Teorías Evolutivas. Pp. 27-43. En: Soler, M. (ed.), *Evolución. La Base de la Biología*. Proyecto Sur, Granada.
- Moscoso, J. 2000. *Materialismo y Religión. Ciencias de la Vida en la Europa Ilustrada*. Colección "La estrella polar". Ed. del Serbal, Barcelona.
- Ruse, M. 2003. *Darwin and Design. Does Evolution has a Purpose?* Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- Ruse, M., 2005. *The Evolution- Creation Struggle*. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass..
- Schmitz-Moormann, K. 2005. *Teología de la Creación en un Mundo en Evolución*. Ed. Verbo Divino, Estella, Navarra.
- Scout, E.C. 2005. *Evolution vs. Creationism*. Con un prólogo de N. Eldredge. Univ. California Press.
- Sequeiros, L. 1980. La evolución biológica ¿problema resuelto? *Razón y Fe*. 186: 368-373.
- Sequeiros, L. 1981. La evolución biológica en crisis. *Razón y Fe* 204: 586-593.
- Sequeiros, L. 1983. *La Evolución Biológica: Historia y Textos de un Debate*. Cuadernos de Historia de la Ciencia núm. 1, SHCTAR, Zaragoza.
- Sequeiros, L. 1986a. *Evolución de las Teorías de la Evolución (1859-1986)*. SEPAZ, Univ. Zaragoza.
- Sequeiros, L. 1986b. Catastrofismo y extinción de las especies. *Razón y Fe* .213: 86-92.
- Sequeiros, L. 1987. Evolucionismo y creacionismo: la polémica continúa. *Razón y Fe* .212: 89-95.
- Sequeiros, L. 1990. Paleontología, catástrofes y extinciones en masa. *Razón y Fe* .221: 54-62.
- Sequeiros, L. 1991. De la evolución y el medio ambiente: La visión de un paleontólogo. En: Domínguez, E., Navarro, M. y González Barrios, A.J. (coord.), *El Estado del Medio Ambiente en Andalucía*. ENRESA, Córdoba.
- Sequeiros, L. 1996. La extinción de las especies biológicas. Implicaciones didácticas. *Alambique* 10:47-58.
- Sequeiros, L. 1997. Charles Lyell, entre la ciencia y la Biblia. *Proyección* 185: 127-138:
- Sequeiros, L. 1999. El sentido de la Evolución" de Georges G. Simpson (1949). Cincuenta años de debates entre biología, filosofía y teología. *Proyección* 193: 137-154.
- Sequeiros, L. 2000a. Teología y Ciencias Naturales: las ideas sobre el Diluvio Universal y la extinción de las especies biológicas hasta el siglo XVIII. *Archivo Teológico Granadino* 63: 91-160.
- Sequeiros, L. 2000b. Teología y Ciencias Naturales: las ideas sobre el Diluvio Universal y la extinción de las especies biológicas hasta el siglo XVIII. *Archivo Teológico Granadino*, 63 (), 91-160
- Sequeiros, L. 2001. La "biología" cumple dos siglos: pervivencia de las ideas de Lamarck. *Proyección, Granada* 201: 121-140.
- Sequeiros, L. 2002a. *La Extinción de las Especies Biológicas. Construcción de un Paradigma Científico*. Discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias de Zaragoza. Nov. 2002. Monog. Academia de Ciencias de Zaragoza, núm. 21. Disponible en internet: [www.unizar.es/acz/05Publicaciones/MonografiasPublicadas/Mongr21.pdf](http://www.unizar.es/acz/05Publicaciones/MonografiasPublicadas/Mongr21.pdf)
- Sequeiros, L. 2002b. Las cosmovisiones científicas o macroparadigmas: su impacto en la enseñanza de las ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 10: 17-25.
- Sequeiros, L. 2003. La creación divina, la evolución biológica y el Diluvio Universal. Contribuciones de los jesuitas Jose de Acosta (1540-1600) y Athanasius Kircher (1601-1680)". *Revista Aragonesa de Teología*, año XI, nº 21: 49-57.
- Sequeiros, L. 2005. Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955), geólogo y paleontólogo. Recuperación de la memoria histórica de su obra científica. *Pensamiento* 61, 230: 181-207.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Alvarez, R., Valdivia, J. 1997a. James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795): consideraciones didácticas para Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 5: 11-20.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Berjillos, P. y Garcia de la Torre, E. 1997b. El bicentenario de Charles Lyell (1797-1875): consideraciones didácticas para Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 5.1: 21-31.
- Stanley, S.M. 1986, *El Nuevo Cómputo de la Evolución. Fósiles, Genes y Origen de las Especies*. Siglo XXI, Madrid.
- Taton, R. (ed.) 1984. *Histoia General de las Ciencias*. Ed. Orbis, Barcelona.
- Templado, J, 1974. *Historia de las Teorías Evolucionistas*. Ed. Alhambra.
- Thompson, d'Arcy W. 1917. *On Growth and Form*. Cambridge Univ. Press.,
- Valentine, J. W. 2000. The macroevolution of clade shape. Pp. 128-150. En: Ross R.M.y Allon, W.D. (eds.), *Causes of Evolution: a Palaeontological Perspective*. Univ. Chicago Press,

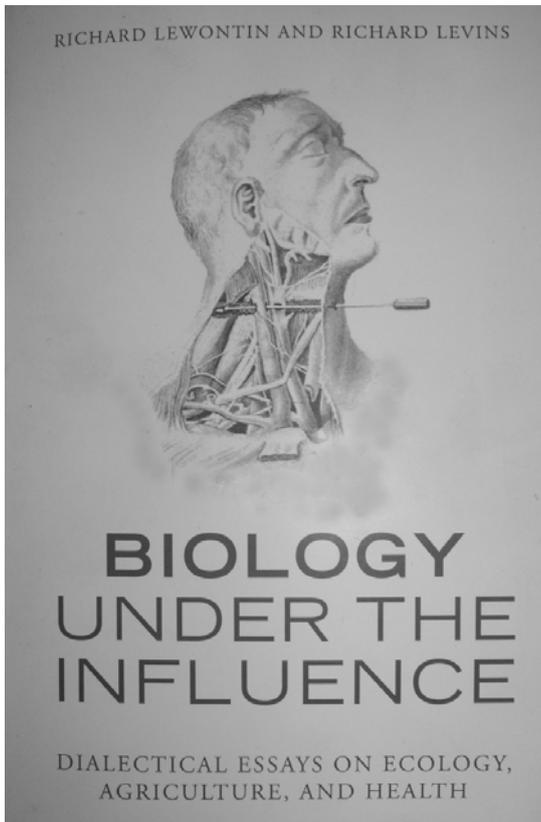
- van Valen, L. 1973. A new evolutionary Law.  
*Evol. Theor.* 1: 1-30.
- Young, D. 1998. *El Descubrimiento de la Evolución*. Ed. del Serbal, Barcelona.

### **Información del Autor**

*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.

## COMENTARIOS DE LIBROS



### "BIOLOGY UNDER THE INFLUENCE. Dialectical Essays on Ecology, Agriculture, and Health"

de Richard Lewontin y Richard Levins. 2007.

Monthly Review Press, New York

Comentado por Antonio G. Valdecasas  
Dpto. Biodiversidad y Biología Evolutiva.  
Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid  
E-mail: valdeca@mncn.csic.es

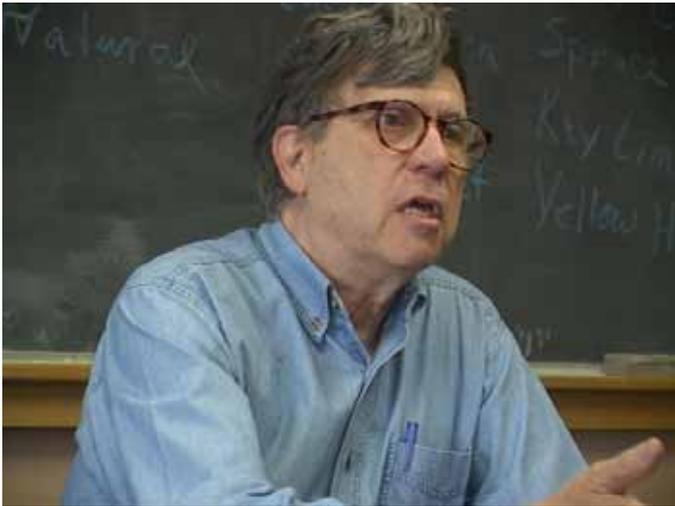
*"It can also be seen from this list that natural selection is not necessarily the single most important process in evolution. The need for this sentence shows two additional problems. First, we should not feel that there should be a single major factor in evolution (a philosophical prejudice of our monotheistic heritage?). Secondly, the list does not do justice to the complex interactions between all the factors and processes listed."*

J. Endler (1986)

La cita que encabeza esta reseña, no deja de ser una interesante conclusión, sobre todo pensando que quien lo dice es uno de los autores que más han contribuido a poner de manifiesto la acción de la selección natural "*in the wild*", y que su artículo está incluido en un conjunto de trabajos coeditada por R. Dawkins.

Y la cita viene a cuento del libro que se reseña, pues muy fácilmente, sobre todo cuando transitamos áreas que no son nuestra especialidad, aceptamos versiones simplificadas de los problemas y las teorías que explican o tratan de dar razón de ser del mundo vivo. Cuando la realidad es que hay muchas cosas que no comprendemos bien, otras tantas para las que tenemos modelos que pueden hacer predicciones relativamente ajustadas, sin que eso los convierta en modelos más reales (¿habría que recordar el sistema ptolemaico, que era capaz de predecir correctamente ciertos eclipses?) y muchas para las que todavía no tenemos respuesta y está por ver si alguna vez llegaremos a tenerlas. Pues de la supuesta '*totalpotencia* científica', no se discute mucho, pero es una ilusión que no conviene dejar en manos de la literatura, aunque sea llamada literatura-científica (un oximoron, a todas luces). Y, por otro lado, tener en cuenta que a medida que un científico se aleja de su campo de especialización, tiende a parecerse más a un prototipo de público ilustrado, susceptible de ser informado, pero limitado en sus armas críticas. Es este un problema general de la difusión del conocimiento científico, que no ha lugar a tratar aquí (hay un somero planteamiento en Valdecasas 2007).

Richard Levins y Richard Lewontin son dos profesores eméritos de la Universidad de Harvard, cuya vida profesional ha transcurrido en el campo de la ecología y la genética de las poblaciones, respectivamente. Quizá sea Levins el menos conocido de los dos, aunque ha tenido contribuciones importantes en su área de especialización, como su monografía "*Evolution in Changing Environments*" (1968) o su artículo "*The strategy of model building in Population Biology*" (1966), que ha merecido un número monográfico de la revista *Philosophy and Biology* (2006) cuarenta años después de su publicación. Levins ha trabajado en Puerto Rico y en Cuba, en proyectos ecológicos y de desarrollo de la agricultura, que no siempre han derivado en publicaciones teóricas, pero de gran importancia práctica.



Richard Lewontin

Lewontin ha sido una figura prominente de la genética de las poblaciones del último cuarto de siglo, y un pensador y polemista contundente. Su obra "*The Genetic Basis of Evolutionary Change*" (1974) se considera un hito en el desarrollo de la genética de las poblaciones y algunos de sus artículos están en la raíz de las polémicas más interesantes de los últimos 40 años. Pongamos, por ejemplo, su trabajo con Gould "*The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme*" (1979); o su "*The apportionment of Human diversity*" (1972) donde puso de manifiesto que hay más variabilidad intra-poblacional que inter-poblacional en poblaciones humanas cuestionando, de paso, el concepto de raza. Éste es un buen ejemplo de la vigencia de muchas de las polémicas en las que se ha embarcado Lewontin, ya que 34 años después este artículo, ha sido discutido por

Edwards (2003) en *Bioessays* con el llamativo título: "*Human genetic diversity: Lewontin's fallacy*" que ha tenido una amplia repercusión – ¡al fin el crítico es adecuadamente criticado! El mismo Dawkins (2004) se posiciona a favor de Edwards en su obra "*The Ancestor's Tale*". Pero, como decíamos más arriba, la realidad no sólo es muy compleja, sino difícil de conocer. En un trabajo reciente aparecido en *Genetics*, (Witherspoon *et al.* 2007) titulado "*Genetic similarities within and between human populations*" se concluye: "*The fact that, given enough genetic data, individuals can be correctly assigned to their populations of origin is compatible with the observation that most human genetic variation is found within populations, not between them. It is also compatible with our finding that, even when the most distinct populations are considered and hundreds of loci are used, individuals are frequently more similar to members of other populations than to members of their own population. Thus, caution should be used when using geographic or genetic ancestry to make inferences about individual phenotypes* (nuestra negrita)." ("El hecho de que, teniendo suficientes datos, los individuos pueden ser correctamente asignados a sus poblaciones de origen es compatible con la observación de que la mayor variación genética humana se encuentra dentro de poblaciones no entre ellas. También es compatible con nuestras conclusiones que, incluso cuando se considera a las poblaciones más diferenciadas y se usan cientos de loci, los individuos son frecuentemente más semejantes a miembros de otras poblaciones que a miembros de su propia población. Así pues, se debe ser cauto cuando se usa ascendencia geográfica o genética para hacer inferencias acerca de fenotipos individuales") ,y la supuesta "*Lewontin's fallacy*" se disuelve en el humo de las buenas intenciones.

Algunas otras polémicas quedan expresamente reflejadas o mencionadas en parte, en los artículos recogidos en libro recensionado, como la que le enfrentó con un editor de *Science* respecto a un artículo de Lewontin y Hartl (1991) en esa revista, donde se criticaban ciertos aspectos del uso forense del ADN. Por otro lado, de todos es conocida su polémica sobre algunos extremos de la Sociobiología, de la que hay versiones para todos los gustos. Quizás sea demasiado pronto para hacer una revisión histórica adecuada de este período del desarrollo de la teoría evolutiva, aunque ya ha habido interesantes aproximaciones críticas. Como por ejemplo, el volumen de Greene y Dupew (2004) que logra zafarse de algunos de los tópicos más recientes, productos de evaluaciones apresuradas, y que permiten poner un toque escéptico a otras 'historias' incompletas o partidarias, -aunque justo es reconocerlo, todas lo son, pero algunas con más razón que otras- como la de Hull (1988) sobre las discusiones en Sistemática o Segestrále (2000) sobre la Sociobiología. Y es que 'amigo Watson, la realidad se resiste a los empeños simplificadoros a la que intentamos someterla.

El presente libro, es accesible a un público ilustrado, utiliza un inglés denso pero legible, y da materia sobre la que pensar. Pero también admite una lectura más pormenorizada, sabiendo que muchos de los temas tocados por los autores han sido previamente desarrollados por ellos en revistas especializadas. Sólo tratan temas en los que los autores han trabajado, pues como dicen en el prólogo: "*we do not say anything where we have nothing to add.*"

El libro está dividido en tres partes: la primera la constituyen quince artículos escritos a la par por ambos autores. Son artículos cortos, entre 4 y 10 páginas, publicados en la revista *Capitalism, Nature, Socialism*, salvo el último, aparecido en la recientemente aparecida

*Biological Theory*. La segunda parte consta de siete capítulos que, salvo uno escrito al unísono, son responsabilidad de Levins. La tercera incluye nueve ensayos, la mayoría, pero no todos, responsabilidad de Lewontin. Los ensayos de estas dos últimas partes son más largos y han aparecido previamente en diversas revistas y libros.

El primer artículo es una exposición del concepto de Historia Natural. Desde una perspectiva abstracta, la Historia Natural sería el estudio de la contingencia. El punto a discusión es si realmente ha lugar a una Historia Natural, es decir, a la preeminencia de la contingencia, de la historicidad, en el devenir y para la comprensión de los organismos o si hay unas leyes estructurales para el desarrollo de procesos que permiten anticipar desde el principio cuál va a ser el final alcanzable. L & L hablan de los organismos vivos como seres productos de la contingencia. Seres con historia. En nuestra ignorancia, a algunos nos cuesta trabajo aceptar que otros entes carezcan de historia, que la naturaleza del electrón sea la misma en el origen del universo y pasado mañana. Siendo así, esto convierte a la física en la más 'esencialista' de todas las disciplinas, pues es la única en la que se puede hablar de 'esencias' que son válidas *ahistóricamente*. O puede que no tengamos todavía las herramientas lo suficientemente sensibles para detectar contingencias electrónicas, que nos permitan distinguir los matices que diferencian el electrón de hace 14.000 millones de años y el actual.

Quizás convenga hacer aquí un pequeño punto y aparte. En el primer número de esta revista, J. Moreno (2006) se hacía eco del trabajo de Conway Morris (2003) en los siguientes términos: "*El paleontólogo Conway Morris (2003) ha reunido una impresionante diversidad de casos de convergencia adaptativa que incluyen desde moléculas, órganos sensoriales, estructuras morfológicas, organizaciones sociales y comportamientos a la composición de comunidades de especies. La evidencia que presenta resalta la fascinante capacidad de la selección natural para encontrar soluciones adaptativas similares a los retos de la existencia.*" Y más adelante afirmaba: "*En conclusión, probablemente los organismos que surgieran después de un rebobinado no nos sorprendieran tanto después de todo.*"

Es decir, que no existe (o no importa) la historia, sino que el recorrido está prefijado ya sea por la naturaleza de los entes en estudio, ya sea por la naturaleza de los procesos a los que se van a ver sometidos (léase selección natural). A este respecto es interesante mencionar que en 1985 el mismo Morris había escrito un artículo en el que concluía justo lo contrario (página 572): "*In conclusion, if the clock was turned back so metazoan diversification was allowed to re-run across the Precambrian-Cambrian boundary, it seems possible that the successful body plans emerging from this initial burst of evolution may have included wixaxiids rather than molluscs*" ("En conclusión, si el reloj regresara de forma que la diversificación de los metazoos pudiera volver a ocurrir a través del límite Precámbrico-Cámbrico, parece posible que los planes corporales triunfantes de esta explosión inicial de evolución pudiera haber incluido wixaxiidos más que moluscos"). Pero todo el mundo tiene derecho a cambiar de opinión, e incluso a no mencionar que ha cambiado, y ya puestos, a su propio ideario religioso, como queda de manifiesto en el último capítulo del libro de Morris. Pero lo que no es admisible desde el punto de vista científico, es la presentación sesgada de información. El problema metodológico del libro de Morris, ya lo había señalado Gilovich (1991) en otro contexto. Cuenta Gilovich que es muy frecuente encontrar, incluso entre personal médico, quien opina que la adopción facilita la posterior concepción en parejas infértiles y se achaca esto a la disminución del estrés que supone la adopción. No obstante, la investigación clínica ha mostrado que no es así, que adoptar no facilita la concepción (y es dudoso que disminuya el estrés, como bien puede pensar cualquiera que haya tenido un niño pequeño, adoptado o no). Para Gilovich lo interesante es saber por qué tanta gente piensa que esto es así, cuando no es cierto. Resumiendo su respuesta, mucha gente piensa eso porque no se ha molestado en establecer una tabla de contingencia de 2x2 en la que figure con/sin adopción versus con/sin nacimiento, y sólo les llama la atención la casilla adopción/nacimiento. Así que, volviendo al caso de Morris, su principal problema no es que las convergencias que señala en su libro no existan, sino que puede que no sean representativas. En palabras de Hengeveld (2004): "*What proportions of all fish species, for example, has this torpedo shape and what proportion does not due to divergence process? Which category dominates? Does convergence occur perhaps*



Richard Levins

*so infrequently that it represents the statistical error range?'*. Pues va a resultar que la elección de casos por Morris no es representativa y que esas supuestas tendencias resultan de un muestreo sobre intervalos de tiempo incorrectos (McShea 1998), y que, en consecuencia, si volviéramos a dar cuerda al reloj de la vida, la historia sobre la tierra podría ser muy diferente y yo no estaría ahora escribiendo esto.

En este primer ensayo, L & L se remiten a tres desarrollos matemáticos de los últimos treinta años que han intentado, por así decirlo, '*un programa de investigación a-contingente*': la matemática de las 'catástrofes', la de los procesos caóticos y los desarrollos sobre la 'complejidad'. Poco queda hoy en día de la aplicación matemática de Bohm en Biología - Una consulta a la *Web of Science* para los años 2000-2008 por 'catastrophe theory' da menos de 10 artículos que tengan alguna relación con la Biología. Del desarrollo caótico, uno de cuyos más brillantes exponentes en ecología ha sido Robert M. May en los años 80 y llevó a muchos a repetir la frase del 'aleteo de la mariposa en Tokio que puede provocar una tormenta en Nueva York' pero olvidaban que eso podía cambiar con que tan sólo un neoyorquino estornudara. Hoy lo que está de moda, según L & L, es la 'teoría de la complejidad', complejidad, que en su completo desarrollo será capaz de subsumir las contingencias y producir un modelo ahistórico, en el que el desarrollo de la vida se pueda anticipar desde el mismo momento del Bing Bang. Su ensayo se muestra escéptico de que esto sea posible.

Hace unas semanas, Santiago Merino reenviaba a la lista de discusión de SESBE (1 Dec. 2008) una noticia de "*madrid+d*" sobre el resurgimiento de enfermedades clásicas que se creían ya vencidas, por el desarrollo de resistencias a los antibióticos de los gérmenes patógenos. Este ha sido un tema frecuente en la reflexiones de L & L y motivo del segundo artículo del libro, ya publicado hace más de 11 años y que empieza con una lista aterradora de enfermedades y pandemias del último cuarto de siglo, entre las que hay que mencionar, las producidas por la legionella, el virus del Ebola, el hantavirus y un largo etc. Y sin embargo, hace una generación, se creía que las enfermedades infecciosas estaban en trance de desaparecer. ¿Cómo es posible que las instituciones de salud pública hayan sido cogidas tan por sorpresa? se preguntan. L & L suelen elevar su pensamiento a un nivel de abstracción que les confiere robustez y generalidad: "*Part of the answer is that science is often wrong because we study the unknown by making believe it is like the known*" ("Parte de la respuesta es que la ciencia se equivoca frecuentemente porque estudiamos lo desconocido creyendo que es como lo conocido"). La cinco páginas de este ensayo desarrollan sucintamente varios niveles de análisis, metodológicos y sociales, que permiten situar el problema en el marco multifactorial que le corresponde.

Siguen artículos sobre '*Falsas Dicotomías*', tan comunes en el vocabulario divulgativo de hoy en día, con un elegante ejercicio en claridad y accesibilidad sobre un problema clásico en la ciencia, el de la variabilidad y los promedios, tema que ya había tocado Lewontin en otro de sus trabajos señeros: '*The analysis of variance and the analysis of causes* (reimpreso en el *International Journal of Epidemiology* 2006/35:3 con varios trabajos sobre la importancia y actualidad de este artículo de Lewontin), y otro sobre '*Azar y Necesidad* que es una vigorosa respuesta al simplista pensamiento creacionista.

Más adelante, en una somera discusión sobre las ciencias sociales y naturales, señalan algunos aspectos del conocimiento científico que son frecuentemente olvidadas cuando se habla del 'método científico' (cualquier cosa que eso sea, Nola y Sankey, 2007): como que el conocimiento científico no requiere necesariamente cuantificación o experimentación, o la bondad de la experimentación sobre la observación. Pondremos un ejemplo trágico, que permite vislumbrar hasta qué punto a veces se caricaturiza la consecución de ese conocimiento objetivo que llamamos 'ciencia'. Tras el accidente de avión ocurrido en Madrid este verano pasado, se han intentado analizar las causas del mismo, recurriendo a todas las fuentes de información y estudiando todos los elementos de evidencia asequibles. Nadie en su sano juicio reclamaría una situación experimental, con varias réplicas de aviones, y distintas condiciones de despegue, con su correspondiente pasaje a bordo, etc, para que en un diseño equilibrado, decidir experimentalmente cuáles han sido las causas probables del accidente. Hay muchas situaciones y fenómenos en los que nos vemos obligados a recurrir a una 'reconstrucción' del pasado, como forma de prever un futuro, y este conocimiento 'no-experimental' puede ser tan válido y sobre todo, tan necesario - o más- que una imposible -en este caso- aproximación experimental. Que se aplique en este ámbito sin discusión y pueda ser cuestionado en ciertas ramas de la biología denominándolo 'ciencia blanda', es un ejemplo de lo vaporosos que pueden ser los conceptos filosóficos de muchos practicantes de la ciencia. L & L no son especialmente entusiastas de Kuhn o Popper, y recuerdan en su actitud la recomendación que recientemente daba el premio Nobel S. Weinberg (2003) en *Nature*, a los

jóvenes que querían desarrollar una carrera científica: "*Finally, learn something about the history of science, or at a minimum the history of your own branch of science. The least important reason for this is that the history may actually be of some use to you in your own scientific work. For instance, now and then scientists are hampered by believing one of the oversimplified models of science that have been proposed by philosophers from Francis Bacon to Thomas Kuhn and Karl Popper. The best antidote to the philosophy of science is a knowledge of the history of science*" ("Finalmente, aprende algo acerca de la historia de la ciencia, o como mínimo la historia de tu propia rama de la ciencia. La razón menos importante para hacer esto es que la historia pueda ser de utilidad en tu propio trabajo científico. Por ejemplo, antes y ahora los científicos se han visto obstaculizados aceptando alguno de los modelos sobre-simplificados de la ciencia que han sido propuestos por filósofos desde Francis Bacon hasta Thomas Kuhn y Karl Popper. El mejor antidoto para la filosofía de la ciencia es el conocimiento de la historia de la ciencia")

Es esto lo que permite tener actitudes claras, ante la invasión de pensamiento creacionista en esferas profesionales. En el número 3(1) de esta revista *eVOLUCION*, Nuria Polo-Cavia hacía accesible a un público no especializado una crítica del filósofo de la ciencia Elliot Sober al diseño inteligente, aparecido en el *Quarterly Review of Biology*. La experiencia demuestra que este tipo de polémicas tienen corto recorrido, si el público está de antemano convencido, como les pasó a Richard Lewontin y Carl Sagan en una discusión que tuvieron con creacionistas allá por los años 60 en Arkansas, con un auditorio entregado (al creacionismo, claro). Y, en todo caso, agradecer que uno pueda salir al menos como ellos hicieron, y no morir en el intento: "*...Carl and I then sneaked out the back door of the auditorium and beat it out of town, quite certain that at any moment hooded riders with ropes and flaming crosses would snatch up two atheistic New York Jews who had the chutzpah to engage in public blasphemy.*" (...Carl y yo desaparecimos subrepticamente por la puerta de atrás del auditorio y conseguimos salir de la ciudad, teniendo por cierto que en cualquier momento jinetes encapuchados con sogas y cruces llameantes secuestrarían a estos dos judíos ateos neoyorkinos que habían tenido el descaro de tomar parte en una blasfemia pública.) Y es que la lógica que esgrime Nuria suele ser insuficiente para el creacionista, que siempre se apoyará en 'grados de incertidumbre', explicaciones alternativas aunque no parsimoniosas *and the like*. Sin ánimo de ofender a nadie, a mí siempre me ha parecido que la vertiente creacionista es legítima, a priori. Pero hay que ser coherente y seguir la lógica científica, seguir ese 'estilo del conocimiento' que es el conocimiento científico, hasta el final:

- ¿Me dice usted que ese encadenamiento metabólico tiene que ser necesariamente el producto de un diseñador inteligente? ¡Perfecto! Dónde o cómo meto a ese diseñador en un tubo de ensayo, para saber de qué se compone, cómo actúa, y cuál es su historia.

Lo que no forma parte del estilo de conocimiento científico son los 'punto y final'. El conocimiento científico es una forma de interrogar a la Naturaleza que no admite misterios inabordables, esencias que no se sabe de qué están compuestas, y finales de programas de investigación en un *verbo* que para muchos, en su ámbito privado, puede tener mucho sentido, pero que en Ciencia carece de ello. Así que, añadiríamos al dictum de Weinberg, que "*el mejor antidoto para la filosofía de la ciencia es un conocimiento de la historia de la ciencia y un anticipo de cómo tiene que continuar su trayectoria futura.*"

En fin, el libro incluye ensayos sobre modelización y modos de abstracción en Biología, sobre la 'psicología evolutiva', sobre el proyecto del genoma humano y un largo etc. Desde mi punto de vista, todos se leen con interés, en todos hay posibilidades para discrepar y en casi todos se encuentran ese tipo de frases, ya propias ya de otros, que son capaces de resumir certeramente una idea compleja, como la que cierra el ensayo 'Are we programmed?' debida a Nobert Wiener: '*El precio de la metáfora es la eterna vigilancia*'. Lo que se echa en falta es cierta bibliografía que permita profundizar en algunos de los asuntos tratados. Afortunadamente Google puede suplir lo que L & L no dan. Es paradigmático, por ejemplo, su ensayo '*The politics of average*', que es una versión resumida del artículo "*On the characterization of density and resource availability*" publicado en 1989 en *American Naturalist*. (Por cierto, uno de los pocos trabajos que conozco, donde no se cita ningún otro trabajo. Si el ejemplo cundiera, todo el negocio de Thompson se vendría abajo).

A mi entender, hay ciertos investigadores que han jugado un papel clave en el desarrollo de sus disciplinas, ya sea por sus planteamientos teóricos, ya sea por sus aclaraciones epistémicas, ya por sus polémicas. Dos nombres que se me ocurren son Steve Farris en Sistemática y Richard Lewontin en Evolución. Otros propondrán otros autores. Y me parecería muy útil poder contar con una 'biblioteca' donde se recogiera la producción de estos investigadores, y que fuera accesible a cualquier investigador vía un sistema P2P. En el caso de Lewontin, la tarea no es fácil, pues su obra está muy dispersa, y mucho de lo bueno que

tiene se encuentra en las polémicas de revistas, réplicas y contra réplicas a artículos suyos. Tanto es así, que la bibliografía que se recoge en unos de los volúmenes que le dedicaron en su homenaje, es bastante incompleta. Hace años le escribí señalándole esas lagunas y sugiriéndole la creación de una página web donde sus artículos fueran accesibles, y he aquí su respuesta: "...*The idea of creating (and mantaining) a personal web-site...strikes me as a kind of egotistical indulgence which makes me very uncomfortable. I do appreciate the thought behind your suggestion...*"

Como solución, pues, podría decir que para cada artículo de este libro cabe la posibilidad de acudir a Google o Google Scholar, poner el título del mismo y añadir Lewontin o Levins, para empezar un ovillo prácticamente sin fin. Pero, al fin y al cabo, de eso se trata en el conocimiento.

He dejado para el final mencionar algo que a algunos disgustará, a otros les importará un bledo y que unos cuantos compartirán. El libro está dedicado a 5 cubanos que hacían espionaje a favor del Gobierno de Cuba entre los emigrados en Miami y que ahora cumplen largas sentencias de cárcel en los Estados Unidos.

(Gracias a A. Correas, N. Polo-Cavia y L. Boto por sus sugerencias).

## Referencias

- Conway Morris, S. 1985. The Middle Cambrian metazoan *Wiwaxia corrugata* (Matthew) from the Burgess Shale and Ogyopsis Shale, British Columbia, Canada. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 307: 507-582.
- Conway Morris, S. 2003. *Life's Solution. Inevitable Humans in a Lonely Universe*. Cambridge Univ. Press.
- Dawkins, R. 2004. *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution*. Weidenfeld.
- Edwards, A.W. 2003. Human genetic diversity. Lewontin's fallacy. *BioEssays* 25: 798-801.
- Endler, J. 1986. The newer synthesis? Some conceptual problems in evolutionary biology. *En: Dawkins, R. y Ridley, M. 1986. Oxford Surveys in Evolutionary Biology*, Vol. 3. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Gilovich T. 1991. *How We Know What Isn't So*. The Free Press.
- Grene, M. y Depew, D. 2004. *The Philosophy of Biology. An Episodic History*. Cambridge Univ. Press.
- Hengeveld, R. 2004. Conway Morris' inevitable solution. *Acta Biotheor.* 52: 221-228.
- Hull, D.A. 1988. *Science as a Process. An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*. Univ. Chicago Press.
- Lewontin, R.C. y Hartl, D.L. 1991. Population genetics in Forensic DNA typing. *Science* 254: 1745 - 1750.
- McShea, D.W. 1998. Possible largest-scale trends in organismal evolution: Eight "Live Hypotheses". *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 29: 293-318.
- Moreno, J. 2006. Ecología: su importancia para el estudio de la evolución. *eVOLUCIÓN* 1(1): 25-42.
- Nola, R. y Sankey, H. 2007. *Theories of Scientific Method. An Introduction*. McGill-Queen's Univ. Press.
- Polo-Cavia, N. 2008. Diseño inteligente: la pretendida "ciencia" del creacionismo. *eVOLUCIÓN* 3(1). 69-72.
- Segestråle, U. 2000. *Defenders of the Truth*. Oxford Univ. Press.
- Valdecasas, A.G. 2007. "La divulgación os hará libres" o sobre la liturgia del conocimiento. *En: IV Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencia*. (Disponible on-line en: <https://digital.csic.es/handle/10261/7753>)
- Weinberg, S. 2003. Scientists: Four golden lessons. *Nature* 426: 389
- Witherspoon; D.J., Wooding, S., Rogers, A.R., Marchani, E.E., Watkins, W.S., Batzer, M.A. y Jorde, L.B. 2007. Genetic similarities within and between human populations. *Genetics* 176: 351-359.

# NOTICIAS EVOLUTIVAS

## II CONGRESO NACIONAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE BIOLOGÍA EVOLUTIVA (SESBE)

Valencia, 29 de Noviembre al 2 de Diciembre de 2009

Lugar: Jardín Botánico de la Universitat de València

### Áreas temáticas

Se presentarán ponencias sobre evolución que serán seleccionadas por el Comité Científico para su exposición oral o en póster. Las ponencias serán seleccionadas atendiendo a la generalidad de la materia presentada y a su eventual comprensión por parte de no expertos. Se informará oportunamente a los interesados sobre el formato de resumen y su estructura.

Las áreas temáticas seleccionadas, sin menoscabo de considerar cualquier tema, son:

- Desarrollo (Evo-Devo)
- Paleontología y evolución humana
- Ecología evolutiva y comportamiento
- Genética y Genómica
- Especiación
- Medicina y Psicología Evolutiva
- Ciencias Sociales, Docencia, Historia y Filosofía

### Conferenciantes invitados, ponencias, mesas redondas y posters

Tres serán las conferencias plenarias:

Prof. Michael Lynch (Indiana University, USA): The evolution of genome complexity.

Prof. Janet Browne (Harvard University, USA): The legacy of Darwin.

Prof. Antonio Lazcano (UNAM, México): El origen de la vida.

Habrán ponencias seleccionadas con una duración de 20-30 minutos, mesa(s) redonda(s) sobre alguna temática y posters.

### Inscripción y remisión de los resúmenes

La inscripción y remisión de resúmenes se hará a través de la web de la SESBE ([www.sesbe.org](http://www.sesbe.org)) del 1 de Mayo al 30 de Julio de 2009. La información sobre el coste del congreso aparecerá oportunamente en la web antes del inicio del periodo de inscripción y contemplará tarifas especiales para estudiantes, ofertas para hacerse socios de la SESBE y becas.

## Comité Científico

(algunos miembros están pendientes de confirmación)

Maria José Asins, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Valencia.

Javier Aznar, Instituto Cavanilles, UVEG

Joaquín Baixeras, Instituto Cavanilles, UVEG

Óscar Barberá, Escuela de Magisterio, UVEG

Josabel Belliure, Universidad de Alcalá de Henares

Juan Brines, Facultad de Medicina y Odontología, UVEG

Jesús Catalá, Universidad Cardenal Herrera

María José Carmona, Instituto Cavanilles, UVEG

Miquel de Renzi, Instituto Cavanilles, UVEG

Martí Domínguez, Facultad de Filología, Traducción y Comunicación, UVEG

Joaquín Dopazo, Centro de Investigación Príncipe Felipe

Santiago Elena, Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas, CSIC

Enrique Font, Instituto Cavanilles, UVEG

Amparo Latorre, Instituto Cavanilles, UVEG

Santiago Más Coma, Facultad de Farmacia, UVEG

Víctor Navarro, Facultad de Medicina y Odontología, UVEG

Diego Rasskin, Instituto Cavanilles, UVEG

Francisco Rodríguez Valera, Facultad de Medicina, Universidad Miguel Hernández

Vicente Rubio, Instituto de Biomedicina de Valencia, CSIC

Carlos Saavedra, Instituto de Acuicultura Torre de la Sal, CSIC

Julio Sanjuán, Facultad de Medicina y Odontología, UVEG

Manuel Serra, Instituto Cavanilles, UVEG

Miguel Verdú, Centro de Investigación de Desertificación, UVEG-CSIC-GV

Valentín Villaverde, Facultad de Geografía e Historia, UVEG

## Comité Organizador

Andrés Moya, UVEG

Antoni Aguilera, UVEG

Jose Manuel Cuevas, UVEG

Luis Delaye, UVEG

Hernán Dopazo, CIPF

Rosario Gil, UVEG

Fernando González-Candelas, UVEG

Xavier López-Labrador, UVEG

Alex Mira, UVEG

Alexander Neef, UVEG

Juli Peretó, UVEG

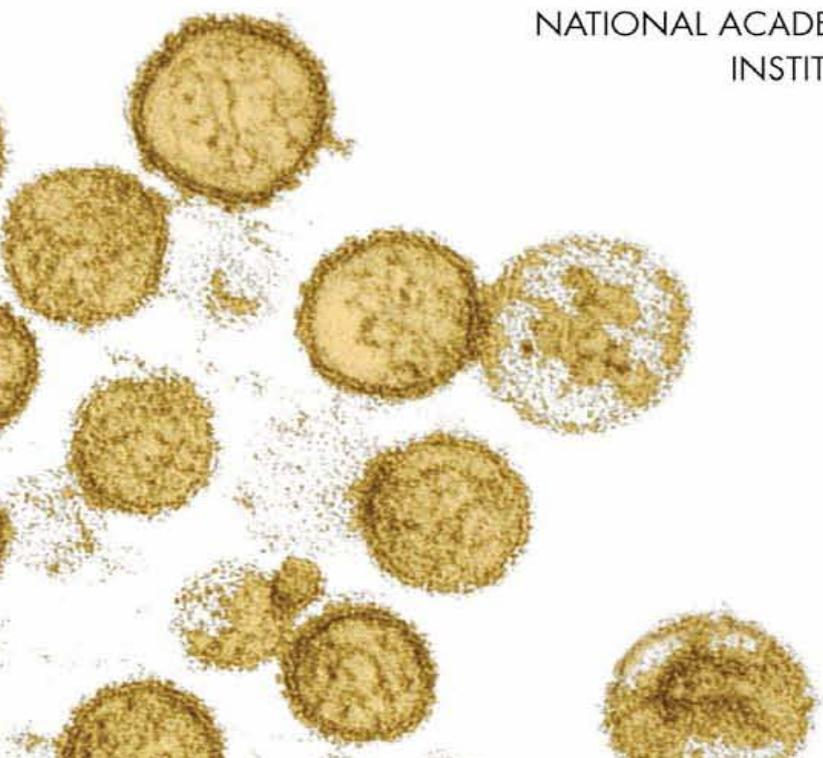
Rafael Sanjuan, UVEG

Francisco Silva, UVEG



# CIENCIA, EVOLUCION, Y CREACIONISMO

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
INSTITUTE OF MEDICINE



## ¿Por qué es importante la Evolución?

El descubrimiento y comprensión de los procesos de la evolución es uno de los logros más importantes de la historia de la ciencia. La evolución explica satisfactoriamente la diversidad de la vida en la Tierra, y ha sido corroborada repetidamente por medio de la observación y la experimentación en un amplio espectro de disciplinas científicas.

La ciencia evolutiva sienta las bases de la biología contemporánea, ha abierto las puertas a formas completamente nuevas de investigación ambiental, agrícola y médica, y ha conducido al desarrollo de técnicas que pueden ayudar a prevenir y combatir enfermedades. Lamentablemente, los intentos de introducir conceptos no científicos sobre la evolución en las aulas está menoscabando la eficacia de la enseñanza de la ciencia en las escuelas.

## Cómo funciona la Ciencia

El estudio de la evolución proporciona un ejemplo excelente de cómo trabajan los científicos. Observan la naturaleza y formulan preguntas que ponen a prueba el mundo natural, evalúan esas preguntas mediante experimentos y nuevas observaciones, y elaboran explicaciones sobre la evolución basadas en las pruebas obtenidas.

A medida que reúnen más resultados y conclusiones, los científicos van refinando sus ideas y las explicaciones se modifican o, a veces, se rechazan cuando salen a la luz pruebas contradictorias concluyentes. No obstante, algunas explicaciones científicas están tan establecidas que es poco probable que sean modificadas por nuevas pruebas. Es entonces cuando la explicación se convierte en una teoría científica. En el lenguaje común, teoría significa suposición o especulación, pero en la ciencia no. En ciencia la palabra teoría se refiere a una explicación completa de una característica importante de la naturaleza y se basa en multitud de hechos reunidos a lo largo del tiempo. Las teorías también permiten a los científicos hacer predicciones sobre fenómenos que todavía no se han observado.

La teoría de la gravedad es un buen ejemplo. Tras cientos de años de observación y experimentación, los hechos fundamentales de la gravedad son bien conocidos. La teoría de la gravedad es una explicación de estos hechos y los científicos utilizan esta teoría para hacer predicciones sobre cómo actuará la gravedad en circunstancias diferentes. Estas predicciones se han comprobado en infinidad de experimentos, lo que ha confirmado aún más la teoría. La evolución se basa en unos fundamentos igual de sólidos de observación, experimentación y confirmación de las pruebas.



## La teoría de la evolución ha sido probada y confirmada

Todos sabemos por experiencia propia que los caracteres biológicos pasan de padres a hijos; ésta es la base de la evolución. A veces, los caracteres cambian entre generaciones. Si un carácter nuevo tiene como resultado una mejora para los descendientes en su ambiente natural y hace que produzcan más descendencia que hereda el carácter, ese carácter llegará a estar ampliamente distribuido con el tiempo. Si el nuevo carácter hace que los descendientes tengan una menor capacidad para sobrevivir y, por lo tanto, dejen menos descendencia, el carácter tenderá a desaparecer. La selección natural es el proceso por el cual algunos caracteres tienen éxito y otros fracasan en el ambiente donde vive el organismo. Por cada forma de vida que vemos hoy en día hubo muchas otras que no tuvieron éxito y se extinguieron.

Los científicos ya no ponen en duda las bases del proceso evolutivo. El concepto ha resistido el análisis exhaustivo de decenas de miles de especialistas en biología, medicina, antropología, geología, química y otros campos. Los descubrimientos en los diferentes campos se han reafirmado unos a otros y las pruebas de la evolución se han seguido acumulando durante 150 años.

**El registro fósil** El concepto de evolución está apoyado por los hallazgos fósiles en capas de roca de diferentes edades de la historia de la Tierra. En general, los fósiles más similares a las formas de vida actuales se encuentran en las capas de roca más jóvenes, mientras que muchos fósiles que sólo se parecen remotamente a la vida en la actualidad se dan en las capas más antiguas. Basándose en estos hallazgos, los naturalistas propusieron que las especies cambian, o evolucionan, con el tiempo y la selección natural se ha identificado como la fuerza conductora detrás de estos cambios. Desde entonces, los científicos han encontrado una cantidad abrumadora de fósiles en capas de roca de edades diferentes que han confirmado reiteradamente las modificaciones en las formas de vida que predice la teoría de la evolución.



Un esqueleto casi completo de un fósil de transición similar a un ave fue descubierto en China y dado a conocer en 2006.

**La investigación del ADN** La biología molecular y la genética han revelado cómo funciona la evolución a nivel molecular. Aún desconocida cuando la evolución y la selección natural se propusieron por primera vez en 1859, la genética ha mostrado que los caracteres se transmiten de padres a hijos mediante el ADN, una molécula que se encuentra en todos los seres vivos y que dirige la manera en que las células crecen y se reproducen. Los estudios sobre el ADN apoyan las conclusiones de otras ramas de la ciencia. Por ejemplo, se ha visto que las especies que parecen tener una relación más lejana por sus posiciones en el registro fósil tienen en proporción mayores diferencias en su ADN que las especies que aparecen relacionadas más estrechamente en el registro fósil.

gorila	
humano	GTGCCATCCAAAAAGTCCAAGATGACACCAAAACCCCTCATCAAGACAATTGTCACCAGG
chimpancé	GTGCCATCCAAAAAGTCCAGGATGACACCAAAACCCCTCATCAAGACAATTGTCACCAGG

humano	ATCAATGACATTTACACACGCAGTCAGTCTCCTCCAAACAGAAAGTACCCGGTTTGGAC
chimpancé	ATCAATGACATTTACACACGCAGTCAGTCTCCTCCAAACAGAAAGGTCACCCGGTTTGGAC
gorila	

gorila	
humano	TTCATTCTGGGCTCCACCCATCTTGACCTTATCCAAGATGGACCAGACACTGGCAGTC
chimpancé	TTCATTCTGGGCTCCACCCATCTTGACCTTATCCAAGATGGACCAGACACTGGCAGTC

humano	TACCAACAGATCCTCACCAGTATGCCTTCCAGAAACGTGATCCAAATATCCAACGACCTG
chimpancé	TACCAACAGATCCTCACCAGTATGCCTTCCAGAAACATGATCCAAATATCCAACGACCTG
gorila	

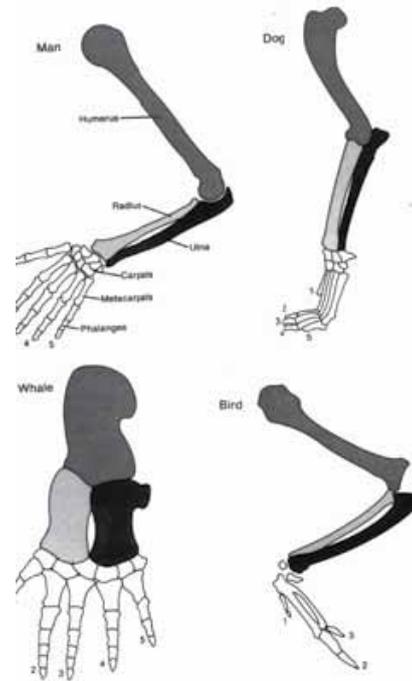
humano	GAGAACCTCCGGGATCTTCTTCAGGTGCTGGCCTTCTCTAAGAGCTGCCACTTGCCCTGG
chimpancé	GAGAACCTCCGGGACCTTCTTCAGGTGCTGGCCTTCTCTAAGAGCTGCCACTTGCCCTGG
gorila	

La comparación entre las secuencias de ADN del ser humano y el chimpancé en el gen que codifica la hormona leptina (que está relacionada con el metabolismo de las grasas) revela sólo cinco diferencias en 250 nucleótidos. Donde las secuencias del ser humano y el chimpancé difieren se puede usar el nucleótido correspondiente del gorila (columnas sombreadas) para obtener el nucleótido que probablemente existía en el ancestro común de las personas, los chimpancés y los gorilas. En dos casos se corresponden los nucleótidos humanos y los del gorila, mientras que, en los otros tres, las secuencias del gorila y el chimpancé son idénticas. Es muy probable que el ancestro común del gorila, el chimpancé y el ser humano tuviera el nucleótido que coincide en dos de los tres organismos actuales, ya que esto habría requerido sólo un cambio en el ADN en vez de dos.

**Ascendencia común** Existen comportamientos y estructuras comunes entre muchas especies. Un humano escribe, una vaca anda, una ballena nada y un murciélago vuela con estructuras hechas de huesos que son diferentes en detalle, pero también increíblemente parecidos entre sí.

Cuando se comparan los fósiles en estructura y edad, se hace evidente que una especie ancestral dio lugar a toda una serie de especies sucesoras con la misma disposición básica de los huesos de las extremidades. Se ha demostrado que las líneas evolutivas de dos especies actuales cualquiera se pueden reconstruir hacia atrás en el tiempo hasta que se unen en un ancestro común.

El registro fósil, las investigaciones sobre el ADN, las pruebas de que las especies tienen ancestros comunes y otros hallazgos constituyen una evidencia abrumadora de que la evolución por selección natural es el mecanismo por el cual surgió y se diversificó la vida en la Tierra.



Los huesos de los miembros anteriores de los vertebrados terrestres y de algunos vertebrados acuáticos son notablemente parecidos porque han evolucionado a partir de los miembros anteriores de un ancestro común.



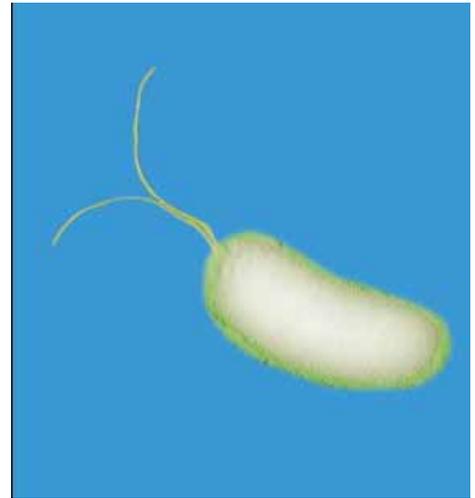
La naturaleza impone una dirección al desarrollo evolutivo. Aunque los delfines (izquierda) están relacionados más directamente con los humanos que con los tiburones, sus cuerpos han evolucionado para adaptarse a un ambiente acuático.

## El lugar del creacionismo no es la clase de ciencias

Hay gente que sostiene que la diversidad de la vida no evolucionó mediante procesos naturales y aboga por que la creación se añada al programa escolar de ciencias junto a la evolución biológica. Pero el creacionismo no es una ciencia. Los argumentos creacionistas se basan en la existencia de un ser de fuera del mundo natural, mientras que la ciencia sólo puede investigar fenómenos que ocurren en la naturaleza. De hecho, las muchas preguntas sobre la evolución que plantean los creacionistas se responden fácilmente con las pruebas científicas disponibles y las que se siguen reuniendo. Por ejemplo:

- Los creacionistas sostienen que la teoría de la evolución es defectuosa porque hay lagunas en el registro fósil (los creacionistas identifican como lagunas los casos en los que todavía no se han descubierto formas fósiles intermedias entre dos especies relacionadas); no obstante, se han encontrado y se siguen encontrando cada vez más formas intermedias. Incluso sin fósiles reales en la mano, los científicos pueden usar técnicas modernas de biología molecular y genética, junto con los principios de la evolución, para inferir qué formas de vida existieron y predecir qué clases de fósiles es probable que se encuentren y dónde.

Algunos creacionistas reivindican que ciertas características de los seres vivos son demasiado complejas para haber evolucionado mediante procesos naturales. Afirman que estructuras tales como el flagelo de una bacteria (estructura de aspecto similar a un pelo que proporciona capacidad de movimiento a la bacteria), el ojo humano o el sistema inmunitario son «complejas de una manera irreducible» y tienen que haber sido creadas completas por un «diseñador inteligente»; pero los biólogos han descubierto que los componentes del flagelo tienen sus propias funciones individuales y también han encontrado formas intermedias de flagelos. Ambos hallazgos apoyan la idea de que el flagelo evolucionó a partir de estructuras que existían ya. Además, el argumento creacionista de que tales características «tienen» que haber sido diseñadas se basa en su idea preconcebida de un Creador, mientras que la postura científica se basa en hechos observables y explicaciones falseables, es decir, explicaciones capaces de someterse a todas las pruebas que pretendan demostrar su falsedad.



*Microfotografía electrónica de un flagelo bacteriano.*

- Algunos creacionistas sostienen, basándose en la Sagrada Escritura, que la Tierra no puede ser lo bastante antigua para que la diversidad de la vida haya surgido mediante evolución. Sin embargo, las medidas procedentes de la geología, la astronomía y otras disciplinas han confirmado en repetidas ocasiones la antigüedad de la Tierra (aproximadamente 4 500 millones de años).

Las creencias creacionistas no deberían presentarse en las clases de ciencias junto a la enseñanza sobre evolución, ya que la ciencia no tiene forma de aceptar o refutar las afirmaciones creacionistas. La enseñanza de conceptos no científicos en las clases de ciencias únicamente confundirá a los estudiantes sobre los procesos, la naturaleza y los límites de la ciencia.

## La ciencia y la religión proponen diferentes maneras de comprender el mundo

La ciencia y la religión tratan aspectos diferentes de la experiencia humana. Muchos científicos han escrito elocuentemente sobre cómo sus estudios científicos sobre la evolución biológica han aumentado, en vez de disminuir, su fe, y muchas personas creyentes y confesiones aceptan la evidencia científica de la evolución.

Al sistema educativo y a la sociedad en conjunto le es más útil que en las clases de ciencias se enseñe ciencia y no religión.



## LA EVOLUCIÓN EN ACCIÓN

### ***El desafío de la medicina: la lucha contra cepas resistentes de bacterias patógenas***

A finales de 2002, varios cientos de personas en china contrajeron una forma grave de neumonía causada por un agente infeccioso desconocido. La enfermedad, que se llamó «síndrome respiratorio agudo grave», o SARS, se extendió pronto a Vietnam, Hong Kong y Canadá, y causó cientos de muertes. En marzo de 2003, un equipo de investigadores de la Universidad de California, en San Francisco, recibió muestras de un virus aislado de los tejidos de un enfermo de SARS. Usando una nueva técnica conocida como microsatélites de ADN, los investigadores compararon el material genético del virus desconocido con el de virus conocidos y en 24 horas asignaron el virus a una familia concreta basándose en su relación evolutiva con otros virus: un resultado que fue confirmado por otros investigadores usando técnicas diferentes. Inmediatamente, se empezó a trabajar en un análisis de sangre para identificar a las personas portadoras de la enfermedad (para ponerlas en cuarentena); en tratamientos para la enfermedad y en vacunas para prevenir la infección por el virus.



La comprensión de los orígenes evolutivos de los patógenos humanos irá creciendo en importancia a medida que surjan amenazas nuevas para la salud; por ejemplo, muchas personas han padecido problemas de salud graves a medida que las bacterias han ido desarrollando resistencias a los antibióticos. Cuando una bacteria experimenta un cambio genético que aumenta su capacidad para resistir los efectos de un antibiótico, esa bacteria puede sobrevivir y producir más copias de sí misma, mientras las bacterias no resistentes mueren. Las bacterias que causan la tuberculosis, la meningitis, las infecciones por estafilococos (septicemias), las enfermedades de transmisión sexual y otras enfermedades, han desarrollado resistencia a un número cada vez mayor de antibióticos y se han convertido en problemas graves en todo el mundo.

El conocimiento de cómo la evolución conduce a un aumento de la resistencia será crucial para controlar la proliferación de las enfermedades infecciosas.

## EL TIKTAALIK

### *Análisis de un ejemplo de predicción científica*

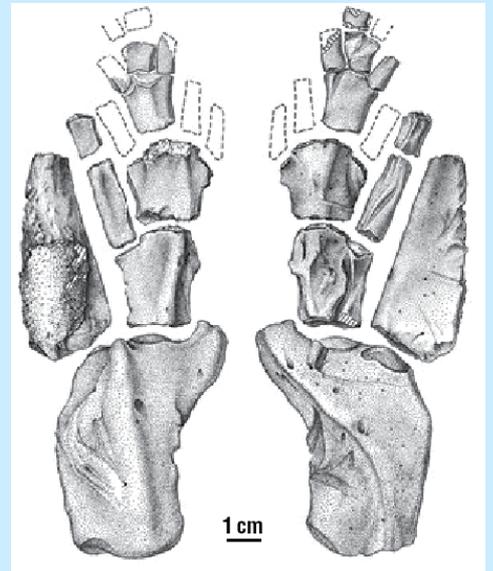
Utilizando los principios de la evolución, los científicos han podido predecir qué fósiles podrían ser descubiertos. Por ejemplo, los científicos habían encontrado fósiles de peces que vivieron en aguas poco profundas la antigüedad y fósiles de tetrápodos terrestres que aparecieron después. ¿Qué sucedió en el intermedio?

La teoría evolutiva predice que habría una o más criaturas con características tanto del pez ancestral como de los animales terrestres posteriores. Un equipo de científicos decidió buscar en roca sedimentaria del norte de Canadá que se depositó hace unos 375 millones de años, más o menos en el tiempo en que, basándose en otras pruebas del registro fósil, se pensaba que habían vivido estas especies intermedias.

En 2004, el equipo encontró lo que había predicho: el fósil de una criatura con características de los peces (escamas y aletas) y características de los habitantes de la tierra (pulmones primitivos, cuello flexible y aletas modificadas para soportar su peso). Los huesos de las extremidades de este fósil, llamado *Tiktaalik*, se asemejan a los huesos de las extremidades de los animales terrestres actuales.

Mediante la comprensión de la evolución, los científicos fueron capaces de predecir qué tipo de criatura existió y en qué estrato geológico se encontraría. El descubrimiento del *Tiktaalik* llena otra laguna del registro fósil.

*Los paleontólogos exploraron ese valle remoto en el centro norte de Canadá en busca de una especie intermedia entre los peces y los animales con extremidades capaces de vivir en tierra porque sabían que las rocas sedimentarias de ese lugar se depositaron durante el periodo en que había tenido lugar la transición.*



*Las aletas, derecha e izquierda, del Tiktaalik tenían un único hueso superior (el hueso grande de la parte inferior de las ilustraciones) seguido de dos huesos intermedios, lo que hacía que la criatura tuviera codo y muñeca como organismos más recientes.*



*El Tiktaalik y otros fósiles intermedios entre peces y tetrápodos. Estos fósiles representan una selección de especies que vivieron entre hace 385 y 359 millones de años, periodo que abarca la evolución de los peces a los anfibios.*

El contenido de este folleto informativo lo ha traducido Cristina Fernández López y lo ha adaptado la SESBE de la versión inglesa de *Science, Evolution, and Creationism* (2008) producida por un comité de la National Academy of Sciences y el Institute of Medicine. El folleto original y el informe completo de 88 páginas en el que se basa están disponibles para su descarga gratuita en formato pdf en [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=11876](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11876).

## COMISIÓN DE AUTORES

FRANCISCO J. AYALA, *Presidente*, University of California, Irvine\*  
BRUCE ALBERTS, University of California, San Francisco\*  
MAY R. BERENBAUM, University of Illinois, Urbana-Champaign\*‡  
BETTY CARVELLAS, Essex High School (Vermont)  
MICHAEL T. CLEGG, University of California, Irvine\*‡  
G. BRENT DALRYMPLE, Oregon State University\*  
ROBERT M. HAZEN, Carnegie Institution of Washington  
TOBY M. HORN, Carnegie Institution of Washington  
NANCY A. MORAN, University of Arizona\*  
GILBERT S. OMENN, University of Michigan†  
ROBERT T. PENNOCK, Michigan State University  
PETER H. RAVEN, Missouri Botanical Garden\*  
BARBARA A. SCHAAL, Washington University in St. Louis\*‡  
NEIL deGRASSE TYSON, American Museum of Natural History  
HOLLY WICHMAN, University of Idaho

\* Miembro de la National Academy of Sciences

† Miembro del Institute of Medicine

‡ Miembro del Council of the National Academy of Sciences

La National Academy of Sciences es una sociedad privada, autosuficiente y sin ánimo de lucro. Para formar parte de ella se eligen distinguidos especialistas por sus logros en investigación y está dedicada al fomento de la ciencia y la tecnología, y de su uso para el bienestar general. En virtud de las funciones asignadas por el Congreso de los EUA en 1863, la Academy tiene autoridad para asesorar al gobierno federal en asuntos científicos y técnicos.

El Institute of Medicine fue establecido en 1970 por la National Academy of Sciences como una organización tanto honorífica como política. Sus miembros se eligen en función de sus logros profesionales y de su compromiso con el control riguroso de las materias políticas que conciernen la salud pública.

## NORMAS DE PUBLICACION

**eVOLUCIÓN** es la revista electrónica de la **Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)** que publica artículos y notas sobre cualquier aspecto de la biología evolutiva, así como artículos de divulgación o revisión invitados, artículos de opinión, entrevistas a personalidades relevantes de la Biología Evolutiva, noticias (congresos, cursos, etc.), críticas de libros, apuntes de cómo se ve la evolución fuera del ámbito científico, etc. No se considerarán para su publicación trabajos científicos con datos originales.

La revista publica como *Artículos* textos originales de hasta 20 páginas impresas (aunque podrán considerarse trabajos más extensos) que traten sobre temas actuales relacionados con la evolución. El estilo debe de ser claro y conciso y la presentación atractiva incluyendo tablas, figuras e ilustraciones abundantes. También tienen cabida textos de menor extensión (tres páginas), en los que se informe brevemente de una investigación original, de alguna técnica nueva o de algún descubrimiento interesante en cualquier rama de la Biología Evolutiva. Finalmente, la sección de *La Opinión del Evolucionista* publica textos cuyo principal objetivo es facilitar la discusión y crítica constructiva sobre artículos científicos, libros o temas importantes y de actualidad, así como estimular la presentación de ideas nuevas.

Los originales recibidos serán sometidos a revisión con la participación de al menos dos revisores externos especializados cuya misión será la de sugerir propuestas encaminadas a mejorar el trabajo, tanto en el fondo como en la forma. Los textos deberán ser originales. Sus autores se comprometen a no someterlos a publicación en otro lugar, adquiriendo la SESBE, como editora de los mismos, todos los derechos de publicación sobre ellos.

Los **trabajos** deberán ir escritos en castellano, o excepcionalmente en inglés, a doble espacio, con márgenes de 3 cm. y deberán incluir en este orden: Página de título (que incluya el título, los nombres completos de los autores y la dirección de cada uno de ellos), Resumen con Palabras Clave (incluyendo una versión en inglés), Texto, Agradecimientos y Referencias bibliográficas. Las Tablas, Figuras, Apéndices y Pies de Figuras irán, en su caso, al final en hojas separadas. No se aceptarán notas a pie de página. Todas las páginas deberán ir numeradas (esquina superior derecha).

En el texto las referencias se ordenaran por orden cronológico: Darwin *et al.* (1856), Darwin y Lamarck (1857) o al final de la frase (Darwin *et al.* 1856; Darwin y Lamarck 1857).

La **lista de referencias** bibliográficas se encabezará con el epígrafe "Referencias". Los trabajos se ordenarán alfabéticamente y para cada autor en orden cronológico (el más reciente el último). Los nombres de las revistas irán en cursiva y se abreviarán. Se incluyen a continuación algunos ejemplos.

- Zahavi, A. 1975. Mate selection-a selection for a handicap. *J. Theor. Biol.* 53: 205-214.  
 García-Dorado, A., López-Fanjul, C. y Caballero, A. 1999. Properties of spontaneous mutation affecting quantitative traits. *Genet. Res.* 74: 341-350.  
 Leakey, L.S.B., Tobias, P.V. y Napier, J.R. 1964. A new species of the genus *Homo* from Olduvai gorge. *Nature* 209: 1279-1281.  
 Hamilton, W.D., Axelrod, R. y Tanese, R. 1990. Sexual reproduction as an adaptation to resist parasites. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 3566-3573.  
 Moreno, J. 1990. Historia de las teorías evolutivas. Pp. 27-43. 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 Favoured Races in the Struggle for Life* John Murray, London.

Las **figuras y tablas** deberán ir acompañadas, en hoja aparte, por los pies correspondientes. Se aconseja incluir también **fotografías** en blanco y negro o color de buena calidad, en cuyo caso se indicarán los autores de las mismas. Las fotografías se enviarán como archivos de imagen independientes, en formato TIFF, JPG o BMP con una resolución mínima de 300 pp.

Al final del texto se incluirá un breve apartado sobre **Información de los autores**.- un párrafo de unas 100 palabras (150 para 2 o más autores) describiendo brevemente los detalles e intereses científicos de los autores. Este texto no sustituye a los agradecimientos, sino que pretende ofrecer información adicional a los lectores sobre la actividad y objetivos de los responsables del trabajo.

Una copia del manuscrito en soporte informático (preferentemente archivos de Word para Windows), deberá remitirse a los editores por correo electrónico:

José Martín Rueda y Pilar López Martínez

e-mail: [jose.martin@mncn.csic.es](mailto:jose.martin@mncn.csic.es)

[pilar.lopez@mncn.csic.es](mailto:pilar.lopez@mncn.csic.es)



Para hacerse miembro de la Sociedad Española de Biología Evolutiva hay que realizar 2 trámites muy sencillos:

- Realizar el pago de la cuota anual de **10 ó 20 euros** (según sea miembro estudiante u ordinario) 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](mailto:secretario@sesbe.org)

o a la siguiente dirección:

Hernán Dopazo  
Departamento de Bioinformática  
Centro de Investigación Príncipe Felipe  
c/ ep Avda. Autopista del Saler 16 (Junto al Oceanográfico)  
46013 Valencia

# EVOLUCIÓN

© 2009



ISSN 1989-046X