A black and white portrait of Charles Darwin, showing him from the chest up. He has a very full, white beard and mustache, and is wearing a dark bowler hat. The background is a plain, light color. On the left side of the image, there are some dark, bare branches or twigs.

**Cuadernos de
Sostenibilidad y
Patrimonio Natural**

20 / 2011

**Bicentenario
del nacimiento
de Charles Darwin**

FUNDACION

 Banco Santander

**Cuadernos de
Sostenibilidad y
Patrimonio Natural**

20 / 2011

**Bicentenario
del nacimiento
de Charles Darwin**

Este libro está impreso con papeles reciclados y ecológicos, altamente sostenibles; cubierta en papel estucado mate *Ikonorex Silk*; páginas interiores en papel *Cyclus Offset* reciclado

La Fundación Banco Santander no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores de este Cuaderno.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación sin autorización de la empresa editora.

© 2011. Fundación Banco Santander.
Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-84-92543-27-4
Depósito Legal: M-41807-2011

Impreso en España / Printed in Spain

Diseño editorial: Investigación Gráfica, S.A. / Alberto Corazón

Imprime: Brizzolis, arte en gráficas

Para conmemorar tanto el bicentenario del nacimiento de Charles Darwin como el sesquicentenario de la publicación de su obra más emblemática, *El origen de las especies*, la Fundación Banco Santander quiso participar activamente en estas efemérides, coincidentes ambas en el año 2009.

Con tal motivo, y dado que la gran relevancia del científico inglés así lo justificaba, el Museo Nacional de Ciencias Naturales y nuestra Fundación acordaron llevar a cabo una estrecha cooperación, la cual dio lugar a dos importantes actividades desarrolladas en la sede del propio Museo: el ciclo de conferencias «200 años del nacimiento de Darwin» y la exposición «La evolución de Darwin». Para la celebración de las conferencias contamos, además, con la colaboración de la Sociedad de Amigos del Museo de Ciencias Naturales, en tanto que la exposición fue organizada conjuntamente con la Fundação Calouste Gulbenkian.

Un alto nivel científico, así como una elevada asistencia de público, acompañaron a dichas actividades, y dado que en su momento ya se editó el catálogo de la mencionada exposición, cabe ahora publicar, de forma resumida, los contenidos del ciclo de conferencias. Por tanto, dedicamos este número 20 de nuestra colección *Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural* a difundir las aportaciones que unos expertos de primer orden intelectual hicieron en homenaje a Darwin.

El ciclo fue certeramente coordinado por el profesor Santiago Merino, al cual agradecemos su fructífera labor en todo el proceso de organización y desarrollo de las conferencias. Asimismo, queremos dejar constancia de nuestro reconocimiento a todos los conferenciantes, que con su saber e ilusión lograron que el ciclo alcanzase un gran rigor y excelencia.

Finalmente, queremos manifestar nuestra satisfacción por haber tenido nuevamente la oportunidad de trabajar con el Museo Nacional de Ciencias Naturales; una institución vital para la ciencia española, con la cual siempre nos resulta muy grato colaborar.

Fundación Banco Santander

| | |
|---|-----------|
| Conmemorando el bicentenario del nacimiento de Charles Darwin | |
| <i>Santiago Merino</i> <i>Profesor de Investigación del CSIC</i> | 6 |
| Genes muy similares para formas muy diversas. Genes y desarrollo en la evolución darwiniana | |
| <i>Jaume Baguà</i> <i>Catedrático de Genética, Universidad de Barcelona</i> | 9 |
| Los retos del darwinismo y la vigencia de la teoría de evolución por selección natural | |
| <i>Juan Moreno</i> <i>Profesor del Departamento de Ecología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC</i> | 24 |
| Los virus de ARN y la evolución | |
| <i>Andrés Moya</i> <i>Director del Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Universidad de Valencia</i> | 27 |
| Evolución del comportamiento altruista en humanos: Importancia del número de individuos que interactúan | |
| <i>Manuel Soler</i> <i>Catedrático de Biología Animal, Universidad de Granada</i> | 33 |
| El darwinismo y la sostenibilidad ecológica | |
| <i>Fernando Arribas</i> <i>Profesor del Departamento de Historia e Instituciones Económicas, Universidad Rey Juan Carlos</i> | 42 |
| Darwin y la ética. Implicaciones morales del evolucionismo | |
| <i>Paula Casal</i> <i>Investigadora de ICREA, Universitat Pompeu Fabra</i> | 53 |
| Darwin y el diseño inteligente | |
| <i>Francisco Ayala</i> <i>Profesor del Departamento de Ecología y Biología Evolutiva, Universidad de California</i> | 75 |

AVISO IMPORTANTE

Como parte de nuestro compromiso con el medio ambiente, los *Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural* y los *Manuales de Desarrollo Sostenible* están disponibles únicamente en la página web de la Fundación Banco Santander (www.fundacionbancosantander.com).

Conmemorando el bicentenario del nacimiento de Charles Darwin

Santiago Merino

Profesor de Investigación-CSIC

Coordinador del ciclo de conferencias «200 años del nacimiento de Darwin»

Al menos dos hechos claves para la historia de la humanidad se han conmemorado durante el año 2009. Uno, el bicentenario del nacimiento del padre de la teoría de la evolución por selección natural, Charles Darwin, y otro el sesquicentenario de la publicación de la obra donde exponía por primera vez dicha teoría, *El origen de las especies*¹. Quizá a algunos les resulte exagerado decir que esto es clave para la historia de la humanidad pero, créanme, si piensan eso es que deben aprender más sobre la teoría de la evolución. Sí, porque esta es una teoría que ha traspasado las fronteras de su marco inicial, las ciencias de la vida y en concreto las ciencias biológicas, para producir un nuevo giro copernicano –en este caso deberíamos decir un giro darwiniano– a nuestra percepción del mundo y de nosotros mismos. Igual que Copérnico sacó al mundo del centro del universo para ponerlo a girar alrededor del Sol, Darwin sacó al hombre del centro de la creación para ponerlo entre los demás seres vivos. Todavía, 150 años después de que Darwin presentara su teoría, nos encontramos bajo los efectos del *shock* producido por sus consecuencias y esto

no es sino un fiel reflejo de lo mucho que nos cuesta asumir siquiera sus postulados más generales. Una buena parte de la culpa está sin duda en la enseñanza de la evolución, que en muchos lugares deja mucho que desear cuando no está totalmente descuidada². ¿Les parecería a ustedes lógico que a sus hijos no les enseñaran en el colegio que la Tierra gira alrededor del Sol? Resulta ya un conocimiento básico para cualquier ser humano. Si la teoría de la evolución es tan importante como lo fueron los descubrimientos de Copérnico, ¿por qué su desconocimiento es aún mayor? Podemos pensar que en España la situación no es tan mala, ya que un 73% de los encuestados respondieron que era cierta la afirmación de que «los seres humanos tal y como los conocemos hoy en día se desarrollaron de especies previas de animales». Sin embargo, sólo un 56% afirmó que era falso que «los dinosaurios convivieron con los primeros seres humanos»³. En definitiva, quizá los seres humanos, autodenominados como *Homo sapiens* (hombre sabio), pueden llegar a aceptar que su lugar no está en el centro del universo, ni siquiera en el de su sistema solar,

¹ La obra original de Darwin se publicó en Londres por el editor John Murray en 1859 bajo el título *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural o la conservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida). Existen varias traducciones al castellano así como a otros idiomas españoles. Entre ellas podemos destacar: C. Darwin, *El origen de las especies*, Universidad de Valencia, Valencia, 2009. Texto adaptado por Juli Peretó y Andrés Moya. Ilustraciones de Carles Puche. Es una edición resumida de la gran obra de Darwin acompañada de bellas ilustraciones. Disponible también en inglés y valenciano.

² La Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE) tiene entre sus objetivos difundir y explicar la teoría de la evolución y para ello ha presentado recientemente la traducción al castellano de una página web sobre la enseñanza de la evolución disponible en www.sesbe.org/evosite/evohome.html.

³ Estos datos están basados en las tablas del apéndice del libro de R. Dawkins, *The Greatest Show on Earth. The Evidence for Evolution*, Free Press, 2009. Hay edición en castellano: *Evolución. El mayor espectáculo sobre la tierra*, Espasa, 2009.

pero aceptar que tampoco son el centro de su propio planeta, eso es demasiado.

Durante el año 2009 se han sucedido en todo el mundo multitud de actos en conmemoración tanto de la importante teoría como del nacimiento de su descubridor. Las revistas científicas más prestigiosas le han dedicado números monográficos poniendo al día a los lectores sobre lo último en evolución, los medios de comunicación se han hecho eco de multitud de noticias y se han dedicado programas a la figura de Darwin y a sus descubrimientos, se han organizado conferencias, proyectado documentales y realizado exposiciones y congresos. Todo ello ha sido un reflejo de la importancia científica de la evolución en nuestros días y en general ha arrinconado, al menos durante estos doce meses, a los detractores de la teoría que se han visto sobrepasados, muy a su pesar, por la avalancha de actos conmemorativos sobre Darwin y la evolución. Nuestro país no se ha quedado a la zaga en todos estos actos, algo muy de agradecer si tenemos en cuenta que durante largo tiempo la tradición evolucionista española de principios del siglo pasado quedó truncada y apartada del conocimiento científico hasta épocas recientes⁴.

Entre las muchas actividades conmemorativas que se han producido en nuestro país podemos destacar las realizadas en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de la mano de la Fundación Banco Santander. Una de ellas, la exposición «La evolución de Darwin», organizada junto a la Fundação Calouste Gulbenkian, ha sido un gran éxito de público (más de 95.000 visitantes) a lo largo de los seis meses que ha permanecido en la sala central del Museo y ha servido para acercar la figura del insigne científico y su teoría al gran público⁵. Asociada a esta exposición organizamos un ciclo de conferencias con el objetivo de divulgar la teoría de la evolución, y para ello se eligieron a varios expertos en áreas muy distintas, desde filosofía a evo-devo (o biología evolutiva del desarrollo), para presentar

en castellano los avances y el impacto de la teoría de la evolución en cada una de sus áreas. He de decir que desde el primer momento el éxito de las conferencias nos desbordó, de forma que el aforo del salón de actos del Museo resultó insuficiente y debimos trasladarnos, mientras fue posible, a la sala principal de exposiciones. Animados por este éxito y con el impagable apoyo de la Fundación Banco Santander podemos ahora presentar, en este volumen, algunas de las conclusiones de aquellas conferencias escritas por sus mismos autores.

Como ya he mencionado más arriba, esta es una teoría cuyo impacto va mucho más allá de su área inicial de actuación, y precisamente por eso y por sus profundas consecuencias para los seres humanos, especialmente para su visión de sí mismos y de su situación en el mundo que les rodea, ha producido no pocas controversias. Si bien es verdad que hoy en día, al menos a nivel científico, sus detractores son escasos y con poca base, si se me permite decirlo, no es menos cierto que en algunos ámbitos se ha generado una enorme respuesta. En este volumen tenemos una representación de los últimos avances en la teoría que permitirán al lector comprender lo errado de las críticas recibidas. Jaume Baguña nos presenta una magnífica introducción a la teoría y a su desarrollo histórico desde la perspectiva de la evo-devo, acercándonos a los avances que la genética y la ciencia que estudia el desarrollo han dado para permitirnos comprender mejor la evolución. Al mismo tiempo, nos presenta brevemente las dificultades con las que todavía se encuentra la teoría desde un punto de vista científico. A renglón seguido, Juan Moreno nos presenta una defensa de la teoría de Darwin identificando algunos de los ataques científicos recibidos e indicando cómo la teoría los ha superado con éxito⁶. Le sigue una magnífica exposición sobre la evolución en los seres más sencillos que existen, los virus de ARN. Esta sección, correspondiente a la conferencia que ofreció Andrés Moya, nos permite indagar en el potencial evolutivo de seres sencillos y aproximarnos a lo que debieron ser los primeros pasos de la evolución de la vida en el planeta. En el siguiente apartado, Manuel Soler nos

⁴ Véase, por ejemplo, J. M. López-Piñero, «Evolucionismo y medicina en la historia», pp. 3-42, en J. Sanjuán (ed.), *Teoría de la evolución en la medicina*, Editorial Médica Panamericana, Madrid, 2009.

⁵ Catálogo de la exposición celebrada en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, *La evolución de Darwin*, 2009.

⁶ Véase también J. Moreno, *Los retos del darwinismo ¿Una teoría en crisis?*, Síntesis-SESBE, Madrid, 2008.

aproxima a un aspecto evolutivo muy interesante en el extremo contrario, uno de los organismos más complejos conocidos: el ser humano. En concreto el profesor Soler nos explica la evolución del comportamiento altruista⁷. A partir de aquí entramos en cuestiones más controvertidas y que se acercan más a cuestionamientos filosóficos y/o religiosos que científicos, pero que no dejan de lado esta última perspectiva. Inicialmente Fernando Arribas nos presenta una aproximación filosófica de la influencia de las ideas de Darwin en la actual corriente de pensamiento sobre la sostenibilidad medioambiental. Continuamos con un magnífico ensayo sobre «Ética y darwinismo» que nos ofrece Paula Casal. En él se nos muestra cómo las ideas de Darwin se han adscrito erróneamente a políticas, tanto de derechas como de izquierdas, para finalmente tratar de la influencia de las ideas de Darwin en nuestras actuales concepciones éticas. Es en el capítulo que cierra este volumen donde se aborda la polémica que con más fuerza parece perseguir al darwinismo fuera del ámbito científico: la religiosa. Esto ha sido así especialmente en Estados Unidos, donde la corriente religiosa del llamado «diseño inteligente» ha pretendido desplazar a la evolución incluso de la enseñanza en las aulas de ciencias. Francisco Ayala nos plantea su punto de vista sobre este espinoso asunto y nos muestra que, desde su perspectiva, no existe en absoluto ninguna incompatibilidad entre ciencia y religión⁸.

Nuestro ánimo a la hora de programar este ciclo de conferencias para conmemorar el bicentenario del nacimiento de Darwin no era, evidentemente, el de zanjar ninguna cuestión en ninguno de los puntos tratados sino, bien al contrario, acercar distintas perspectivas del conocimiento en torno a la teoría de la evolución al público en general, con la pretensión de animarle a participar en un debate que nos impulse a un mayor conocimiento. Desde el Museo Nacional de Ciencias Naturales y, por supuesto, desde el Consejo Superior de Investigaciones Científicas al que pertenece, consideramos una obligación difundir las ideas científicas y dotar al público de conocimientos, y esa es nuestra única pretensión. Esperamos haberlo logrado, al menos parcialmente, en este caso.

En definitiva, la teoría de la evolución que nos presentó Darwin hace 150 años sigue estando de rabiosa actualidad. Es hoy en día una teoría sólida, aunque bajo el constante escrutinio científico como corresponde a una teoría científica⁹ de su importancia. Seguimos avanzando y retocando los conocimientos en torno a la evolución para comprender cada vez mejor la diversidad de la vida. Las claves de nuestra comprensión de lo que somos, de nuestro entorno, de nuestro comportamiento, de la vida en su conjunto, nos la dio un hombre que nació hace ahora algo más de 200 años: Charles Darwin.

⁷ Véase también M. Soler, *Adaptación del comportamiento: comprendiendo al animal humano*, Editorial Síntesis, SESBE, Madrid, 2009.

⁸ F. Ayala, *Darwin y el diseño inteligente. Creacionismo, cristianismo y evolucionismo*, Alianza Editorial, Madrid, 2007.

⁹ Una explicación sencilla de qué significa «teoría» en ciencia y por qué la teoría de la evolución por selección natural es una teoría y no una hipótesis, aparece en el artículo publicado por Manuel Soler en el diario *El País*. Disponible en www.elpais.com/articulo/opinion/Desciende/hombre/mono/elpepiopi/20080223elpepiopi_12/Tes.

Genes muy similares para formas muy diversas.

Genes y desarrollo en la evolución darwiniana

Jaume Baguña

Catedrático de Genética
Universidad de Barcelona

Contemplar la naturaleza en todo su esplendor y percibir la gran diversidad de seres vivos que la pueblan llevó en el pasado a legos y a profanos a preguntarse sobre el cómo y el porqué de tanta profusión, belleza y perfección. ¿Cómo y cuándo se originaron tantas formas vivas y por qué son tan diversas? ¿Cómo surgieron sus perfectas adaptaciones al entorno? ¿Cómo los ciclos de la naturaleza se suceden en tan armoniosa perfección? La respuesta más simple y confortadora a estas preguntas a lo largo de los siglos fue que, en su infinita sabiduría y poder, un Ser Supremo o Creador así lo había dispuesto. Tal creencia, denominada «creación independiente» o «creacionismo», postuló que todas las formas de vida actuales tendrían orígenes separados (es decir, independientes) y sus antepasados (o ancestros) serían muy similares en forma y adaptaciones a las formas actuales.

Sin embargo, un somero análisis de la diversidad animal y vegetal (la hoy en día denominada biodiversidad) lleva inevitablemente a concluir que hay animales (y plantas) más parecidos entre sí que con otros, formando una gradación jerárquica de semejanzas. Así, hombre y chimpancé son más similares entre sí que cualquiera de los dos con un ratón. A su vez, hombre y ratón son más semejantes entre sí que cualquiera de los dos con un salmón, y así sucesivamente, formando un sistema jerárquico inclusivo. Lo mismo sucede con los vegetales. La capacidad de agrupar los organismos por sus semejanzas (gene-

ralmente morfológicas) culminó a mediados del siglo XVIII en la denominada «clasificación binaria o linneana», hoy en día aún vigente. Y aunque de una clasificación jerárquica e inclusiva se podía deducir una genealogía progresiva (evolutiva) a lo largo del tiempo, Linneo y sus contemporáneos aceptaron siempre la idea de la creación independiente y nunca contemplaron que unas especies pudieran derivar (evolucionar) a partir de otras.

Las dos ideas básicas de Darwin

La idea de evolución entendida como posibilidad de transformación entre especies toma cuerpo a finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX. Bajo esta dualidad: creación independiente versus evolución, surge la figura y la obra de Charles Darwin (1809-1882). Cuando en 1836 regresa de su viaje alrededor del mundo Darwin creía en la inmutabilidad de las especies. Sin embargo, observaciones realizadas en su viaje, descubrimientos coetáneos, y una honda y prolongada reflexión cambiaron paulatina, aunque rápidamente, su punto de vista. En particular: (1) la semejanza entre especies insulares y continentales, así como las diferencias entre especies que ocupan hábitats lejanos muy similares; (2) datos procedentes de la anatomía y la embriología comparadas, que indicaban similitudes

en la arquitectura corporal de órganos y estructuras en organismos morfológicamente distintos con adaptaciones funcionales distintas (por ejemplo, la extremidad anterior en los vertebrados); y (3) los primeros datos en paleontología indicando que la vida surgió y evolucionó mucho antes de lo admitido en aquel entonces.

De todo ello, Darwin consideró más racional y lógico postular que la diversidad de formas de vida en la Tierra –árboles y algas, moscas y gusanos, humanos y ballenas– procediera de ancestros comunes y no de ancestros independientes. En contraposición al creacionismo, estos ancestros serían distintos o muy distintos de sus descendientes (formas) actuales. Esta concepción evolutiva, no estrictamente novedosa, cristalizó en la primera idea básica de Darwin: descendencia (a partir de ancestros comunes) con modificación. Esta idea unía dos grandes conceptos: «unidad de tipo», basado en semejanzas y homologías, como prueba de un antepasado común; y «condiciones de existencia», es decir, modificaciones, diferencias, debido a las adaptaciones al entorno.

La descendencia con modificaciones darwiniana implicaba que a lo largo de la evolución existirían propiedades o caracteres que se conservan (unidad de tipo), prueba de un origen común a partir de un único ancestro, al tiempo que surgirían modificaciones paulatinas en forma y función para adaptarse al entorno (condiciones de existencia). Esto sería válido para todos los organismos (el árbol de la vida) como para cualquiera de sus ramas. Así, los animales con vértebras, o vertebrados, tienen caracteres comunes (columna vertebral y cresta neural) prueba de que descienden de un ancestro común, al tiempo que se han diversificado extraordinariamente a nivel morfológico y funcional dando lugar a la enorme variedad de especies que pueblan el planeta por tierra, mar y aire.

Sin embargo, la idea de descendencia con modificaciones requería un mecanismo que explicara a la vez la conservación (unidad de tipo) y la extrema diversidad (adaptación a las condiciones de existencia) de los organismos. A diferencia de

otros contemporáneos como Lamarck y su hipótesis de evolución por herencia de caracteres adquiridos, Darwin propuso un mecanismo extremadamente persuasivo y explicativo de la evolución morfológica y funcional, y de la evolución en general: la selección natural (Darwin, 1859). Como sabemos, la idea de selección natural se nutrió, en parte, de las reflexiones de Malthus (1798) sobre la disparidad entre el crecimiento poblacional y el de los recursos, y de las observaciones del propio Darwin sobre el proceso análogo que ganaderos, criadores y agricultores practicaban tiempo ha: la selección artificial. Y aunque es necesario recordar que la selección natural fue postulada independientemente por Alfred R. Wallace (1858), fue Darwin quien en *El origen de las especies* (1859) y en otros libros posteriores suministró un torrente de datos y argumentos que convencieron, al menos inicialmente, a sus colegas y al público en general.

La selección natural es la segunda idea básica de Darwin y, con mucho, la más importante e innovadora. Darwin se preguntó cómo y por qué a lo largo del tiempo las especies divergen entre sí hasta generar la biodiversidad pasada y presente. Su propuesta final fue la competencia ecológica (la denominada lucha por la existencia) entre los individuos de las poblaciones. Esta competencia surgía, adoptando la idea original de Malthus, del exceso de descendencia que producen todos los animales y plantas con respecto a los recursos disponibles. Ello conlleva que no todos los individuos sobrevivan y que algunos, o muchos, perezcan y no se reproduzcan. Por contra, aquellos que presenten alguna ventaja (morfológica o funcional) tendrán una probabilidad mayor de sobrevivir y, en consecuencia, de dar más descendencia que la media de la población. Dicha descendencia heredará, en principio, esta ventaja y su número aumentará paulatinamente a lo largo del tiempo en la población hasta hacerse mayoritaria o única. Por lo tanto, en poblaciones donde hay variación (los individuos difieren entre sí), si estas variaciones se heredan, y si aquellos individuos que presentan una variación ventajosa sobreviven y se reproducen más, hay selección. En consecuencia, la selección natural da lugar a cambio evolutivo en la dirección de una mejor adaptación a las condiciones locales.

Las «cajas negras» de Darwin

Pese al éxito inmediato del libro de Darwin y de la evolución de las especies en general, tres incógnitas dificultaban la comprensión y aceptación del mecanismo de selección natural. En primer lugar, ¿dónde y cómo surge la variación? Segundo, ¿cómo se hereda la variación a lo largo de las generaciones? Finalmente, ¿cómo la variación altera o cambia la morfología? Estas tres incógnitas, a las que podemos denominar las «cajas negras» de Darwin, son la variación, herencia y desarrollo (embrionario) de hoy en día. En tiempo de Darwin eran totalmente desconocidas (variación y herencia) o poco comprendidas (desarrollo) (ver Figuras 1A y 1B). Con la señera excepción del trabajo de Mendel (1865), ampliamente difundido aunque totalmente incomprendido por sus contemporáneos (Schwartz, 2008), nada se supo sobre herencia y variación hasta 1900. Y aunque Darwin y otros autores propusieron hipótesis y teorías sobre herencia y variación, todas mostraron ser erróneas. Por añadidura, en cada generación la variación surgía como nueva variación (los *sports* de Darwin; las mutaciones de hoy), o como cambio en la frecuencia de variantes ya existentes. Y la embriología comparada indicaba que, de alguna manera, la variación surgía a lo largo del desarrollo embrionario. En consecuencia, sin entender la naturaleza de la variación ni cómo se heredaba, no podía entenderse como esta surgía a lo largo del desarrollo para producir los cambios morfológicos en los adultos sujetos a selección natural.

Para Darwin la embriología fue uno de los pilares donde sustentó su idea de descendencia con modificaciones. De aquí que, tanto él como sus coetáneos, realizaran estudios comparados del desarrollo embrionario de diversos grupos de organismos (embriología comparada) para detectar semejanzas y homologías (unidad de tipo) entre ellos. Los resultados obtenidos rediseñaron la clasificación linneana en términos más evolutivos y, muy especialmente, clasificaron adecuadamente o resituaron grupos antes mal clasificados (por ejemplo, las ascidias y los percebes, clasificados por Cuvier como moluscos). Además, los éxitos en embriología comparada fueron el prin-

Figura 1A

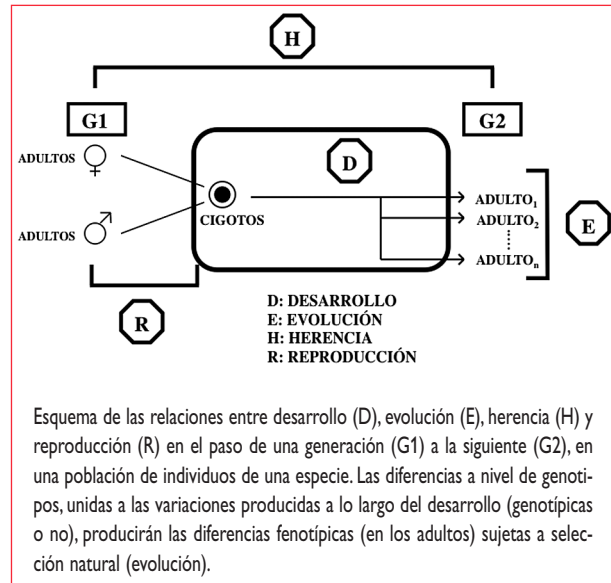
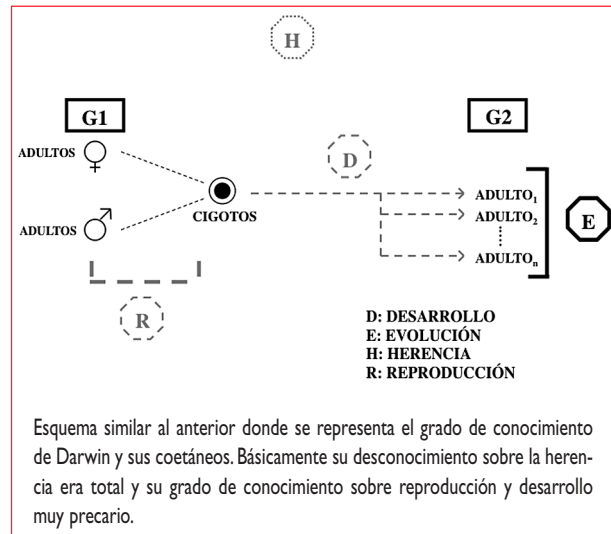


Figura 1B



cipal estímulo para formular hipótesis filogenéticas de transformación entre grandes grupos de organismos (el paradigma sería la ley biogenética de Haeckel, 1866), de las que deducir las principales etapas evolutivas y sus mecanismos subyacentes estableciendo una verdadera embriología evolutiva.

Ocho décadas de plomo (1880-1960). La separación entre desarrollo y genética y evolución

El sueño fue efímero. Para el sistema darwiniano, basado en el origen común (monofilético) de todo el reino animal (y vegetal), la determinación de semejanzas debidas al hecho de compartir un ancestro común (homologías) era la clave para relacionar grupos de organismos entre sí, actuales o extintos. Esta tarea se reveló mucho más compleja de lo esperado, ya que a menudo es muy difícil saber si dos estructuras son semejantes porque derivan de un ancestro común que ya la tenía, o si son fruto de adaptaciones muy similares (convergencias) en dos grupos de organismos no emparentados. Paralelamente, las hipótesis filogenéticas que pretendían determinar las principales etapas de la evolución animal y vegetal, derivaron en especulaciones estériles y no desvelaron ningún mecanismo subyacente. De nuevo, las razones básicas fueron el desconocimiento de las reglas de la herencia y la variación, y de cómo éstas controlaban y afectaban al desarrollo embrionario y al fenotipo final del organismo.

A finales del siglo XIX, ya sin Darwin, las promesas de la embriología evolutiva se desvanecen. Desde aquel momento, evolución y desarrollo inician andaduras completamente separadas. El redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1900 (para una desmitificadora revisión del «redescubrimiento» ver Schwartz, 2008) funda la nueva ciencia de la genética y con ella una herramienta poderosa para entender la herencia y la variación, dos de las «cajas negras» de Darwin. En un par de décadas, la genética mendeliana y la evolución darwiniana convergen en la denominada «teoría sintética de la evolución», que formaliza la evolución como cambios en la frecuencia de alelos y caracteres que se suceden de generación en generación dando lugar a adaptación y, a la larga, a cambios morfológicos. Paralelamente, el desarrollo se aleja totalmente de la evolución, no establece conexión alguna con la genética, e inicia una larga y solitaria travesía en el desierto a lo largo de casi ocho décadas (1880-1960).

Las razones de la separación entre evolución (darwiniana) y desarrollo son, con cierta perspectiva histórica, harto evidentes (ver Figuras 1A y 1B). La selección natural era una argumentación muy sólida para justificar que se escogiesen (seleccionasen) pequeñas modificaciones (morfológicas y funcionales) que adaptaban paulatinamente las poblaciones a su ambiente, de generación en generación, durante siglos, milenios e incluso millones de años. Dicho de otra manera, la selección natural seleccionaba fenotipos (formas adultas) sin dar razón alguna de cómo estos se transmitían (modificados o no) a la siguiente generación y, más importante aún, sin dar tampoco razón de cómo las nuevas modificaciones «surgían» a lo largo del desarrollo. Por otra parte, desarrollo y genética tampoco conectaron, porque las leyes de la herencia y el estudio de la transmisión de caracteres y los cambios de frecuencias génicas de generación en generación no necesitaban del desarrollo embrionario, del que apenas hay referencias en la teoría sintética de la evolución (1930-1940).

Las cuatro características fundamentales del desarrollo embrionario

La desconexión entre la embriología y la genética y la evolución, no fue impedimento para detectar cuatro características básicas comunes al desarrollo embrionario de cualquier especie, animal o vegetal. La primera, y más básica, es el *crecimiento*, tanto en número de células como en volumen corporal, que resulta de la proliferación celular desde la célula inicial o cigoto hasta las 10^3 (1.000) células del nematodo *Caenorhabditis elegans*, las 10^6 (un millón) de *Drosophila*, las 10^{14} (100 billones) del ser humano, y las 10^{17} de la ballena azul. La segunda característica resulta del hecho de que a medida que el número de células aumenta, las células se diferencian paulatinamente en tipos celulares diversos, hasta alcanzar los 10-12 tipos diferenciados de un coral, los 30 de un gusano anélido, los 60 de *Drosophila*, o los 200-300 de la ma-

yoría de vertebrados, el ser humano incluido. Este proceso es la «diferenciación celular».

La tercera característica es la más importante. Aunque el desarrollo embrionario de cualquier especie se lleva a cabo mediante proliferación y diferenciación celular, las formas (lo que denominamos «fenotipo») resultantes son muy diversas. Supongamos un ratón y un ser humano del mismo tamaño final (10^{14} células) y con un número muy similar de tipos celulares diferenciados (300). A pesar de ciertas semejanzas por el hecho de ser ambos vertebrados y mamíferos, es evidente que su forma final es muy distinta. El proceso que los hace distintos se denomina «morfogénesis» o «formación del patrón». Este proceso resulta de las «decisiones» que, a lo largo del desarrollo, toman cada una de los miles y/o millones de células que componen el embrión para dividirse, diferenciarse, moverse, migrar, agregarse o comunicarse entre ellas en lugares y tiempos muy precisos, propios (y distintos en mayor o menor grado) para cada especie. Estas operaciones requieren una gran precisión para que el embrión dé lugar a un individuo final muy semejante a sus progenitores. Esta similitud, esta repetibilidad, es la cuarta característica del desarrollo.

Los embriólogos intuyeron que la repetibilidad del desarrollo, específica de especie, que resulta de la proliferación, diferenciación y formación del patrón, requería una información previa, que estaría ya en el cigoto. Esta información debería desplegarse, articularse, siguiendo un «programa» muy definido que se suponía de alguna manera implícito en el conjunto de genes o genoma (lo que denominamos el «genotipo») de cada individuo. La repetibilidad equivaldría, a nivel del desarrollo, a la herencia de la genética mendeliana. Además, ya que durante el crecimiento y diferenciación del embrión se producen incontables decisiones sobre el número, tipo y posición que ocupan sus células, la enorme combinatoria de estas decisiones y de sus mecanismos de control serían fuente inagotable de variación (de cambio) dentro de cada especie y entre especies a lo largo de la evolución, dando lugar a la variedad de formas observadas por Darwin y los evolucionistas (la variación darwiniana), sujetas a selección natural.

Pese a estos avances conceptuales, el análisis causal del desarrollo no pudo ir más allá al desconocerse la naturaleza del material hereditario (los genes) y de cómo estos controlan el desarrollo y la adquisición final de los caracteres y la forma final del adulto (fenotipo). Ello impidió analizar cómo se generaba la variación, y cómo y a qué nivel esta variación controlaba (y/o alteraba) la morfología final durante el desarrollo embrionario y postembrionario.

Tres descubrimientos clave en biología y el retorno del desarrollo

El giro conceptual que, en menos de veinte años unió genética y desarrollo, derivó de tres descubrimientos clave de la biología del siglo XX. El primero y más importante es el modelo de la doble hélice del ADN (Watson y Crick, 1953), precedido por el descubrimiento, en la década de 1940, de que los genes son ADN. La doble hélice del ADN focalizó los procesos genéticos en la estructura del ADN y permitió aunar de golpe herencia y variación con reproducción y evolución y, algo más tarde, con desarrollo. El segundo hallazgo clave fue descifrar el código genético y postular el denominado «dogma central de la biología». Este dogma sostiene que el ADN es, a la vez, una molécula y un código (contiene por lo tanto información), capaz de autoreplicarse, y que posee información para «fabricar» proteínas, el constituyente más importante, junto al ADN, de los seres vivos. Ello aunó, también de golpe, dos mundos separados por completo hasta entonces: el de los ácidos nucleicos (ADN y ARN; moléculas informacionales capaces de autoreplicarse) con el de las proteínas (moléculas estructurales y funcionales, no informacionales e incapaces de autoreplicarse). Finalmente, el tercer descubrimiento clave es el modelo del operón de regulación génica en bacterias (Jacob y Monod, 1961). Este modelo demostró que la «diferenciación» bacteriana a corto plazo es regulada por la expresión diferencial de genes. En otras palabras, hay genes que regulan a otros genes. Ello introdujo la noción de jerarquía en el tiempo (hay genes que se activan antes que otros y son necesarios para activar a estos últimos)

que, extrapolada por los mismos autores al desarrollo de organismos multicelulares, fue el germen de la idea de un programa de activación diferencial de genes durante el desarrollo.

A finales de la década de 1960, el marco conceptual para unir genética y desarrollo era ya evidente. Básicamente, cada gen posee información para producir proteínas, distintas para cada gen, encargadas de realizar las tareas propias de cada célula: mantener una forma y un tamaño determinados, diferenciarse en tipos celulares concretos, multiplicarse, moverse, migrar, interactuar con las células vecinas, morir, etcétera (ver Figura 2). En consecuencia, las diferencias en estructura y función que surgen a lo largo del desarrollo embrionario, visibles en una forma corporal definida y en la aparición de órganos, tejidos y tipos celulares concretos en lugares y tiempos específicos, se deberían a la regulación diferencial de genes, deducida, con modificaciones, del modelo del operón de Jacob-Monod. Sin embargo, un problema parecía insalvable. Dado que el número estimado de genes presentes en cada una de las células

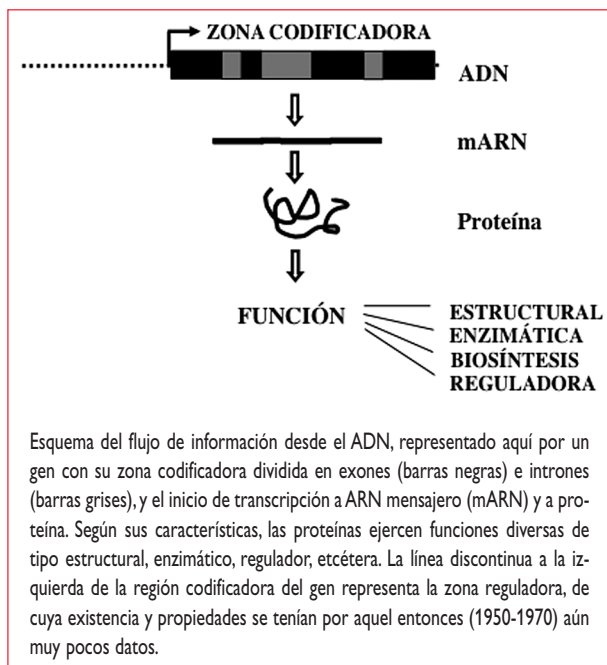
de los organismos multicelulares iba de algunos miles en organismos inferiores (de 5.000 a 20.000 en la mosca *Drosophila*) hasta los 100.000 o más del ser humano, la tarea de identificar cada gen (o, al menos, los más importantes) y analizar sus funciones durante el desarrollo, para entender así como podía «fabricarse» un organismo, parecía una tarea imposible, fuera del alcance de la ciencia de mediados del siglo XX.

La genética del desarrollo

Un breve inciso sobre genética, mutaciones y el método genético aplicados al desarrollo. En comparación con otras estrategias experimentales, la obtención de mutaciones representa una herramienta única y singular para analizar el papel o función de componentes individuales en el desarrollo. En primer lugar, sólo un componente, el producto génico (o proteína) codificado por el gen mutado queda eliminado o alterado, mientras el resto del organismo queda intacto. De esta manera, la función normal del gen se deduce de su fenotipo mutante, es decir, la forma en que el embrión se desarrolla en ausencia del producto génico. En segundo lugar, genes con fenotipos mutantes similares era probable que tuvieran funciones similares y que sus productos cooperasen en un proceso concreto del desarrollo. De esta manera, los genes y sus funciones se podían agrupar en programas concretos de desarrollo que controlan la formación de estructuras concretas.

Para sortear el «exceso» de genes a analizar se introdujeron dos innovaciones fundamentales. En primer lugar, escoger organismos de fácil cultivo y manejo para inducir y analizar mutantes. Entre ellos y por orden de aparición: la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*, el gusano nematodo *Caenorhabditis elegans* y la planta crucífera *Arabidopsis thaliana*. Son los denominados organismos-modelo en genética del desarrollo. En segundo lugar, se desarrollaron métodos de inducción y análisis masivos de mutantes, aplicados, eso sí, a un sólo proceso o estadio del desarrollo. A principio de la década de los ochenta se habían ya determinado los genes principales, con sus interacciones y re-

Figura 2



laciones, que intervienen en la segmentación antero-posterior y en el patrón dorsal-ventral de *Drosophila melanogaster* (Nüsslein-Volhard y Wieschaus, 1980). A ellos siguieron los implicados en el desarrollo de la vulva en *Caenorhabditis elegans*, en el desarrollo del endomesodermo del erizo de mar *Strongylocentrotus purpuratus* y en la formación del embrión y de los órganos florales en *Arabidopsis thaliana*. En la década de los noventa, se publicó un alud de trabajos sobre genes, bloques de genes y redes de genes implicados en la formación del mesodermo, sistema nervioso, musculatura, cresta neural, apéndices/extremidades, en organismos-modelo y en otros organismos.

La comparación entre estos «programas genéticos» reveló propiedades comunes tales como jerarquía (unos genes controlan a otros genes), combinatoria (son necesarios varios productos génicos para activar/reprimir un gen y, a su vez, cada gen puede regular a otros genes), autorregulación y/o regulación cruzada (*feedback*) positiva o negativa, efectos umbral de activación/represión y represión diferencial. La acción conjunta de los genes y sus propiedades confluye en las denominadas *Gene Regulatory Networks* (GRN o Redes de Genes Reguladores; Davidson, 2006), que comprenden el conjunto de genes (desde 10 o 20 hasta más de 500) con todas sus interconexiones que determinan estructuras morfológicas concretas.

La consecuencia más importante del análisis genético del desarrollo fue conectar, por vez primera, y en diversos sistemas y procesos embrionarios, la acción (activación/represión) de uno o más genes con el comportamiento celular (proliferación, diferenciación, cambios de forma, movimientos, interacciones celulares, etcétera) de las células, tejidos u órganos donde este gen o estos genes se expresan y, en consecuencia, con la morfología del embrión y del adulto. Así, la combinatoria de genes activados (básicamente genes reguladores o factores de transcripción) activaría diferencialmente a los denominados genes estructurales, responsables del control directo de estas propiedades celulares. Distintas combinaciones de genes o redes reguladoras activadas resultarían en combinaciones diversas de genes estructurales y, consecuentemente, en conjuntos distintos de propiedades celulares que generarían distintas morfolo-

gías. Lo que los embriólogos habían intuido residía en los genes y en un «programa» de actuación a lo largo del desarrollo, se concretaba ahora en genes del desarrollo específicos siguiendo un programa combinatorial de activación/represión que controlaba diferencialmente propiedades celulares diversas en tiempos y lugares distintos.

La unión entre desarrollo y evolución. La evo-devo. Problemas iniciales

La determinación de genes y redes génicas, que operan en la formación de morfologías concretas a lo largo del desarrollo, abrió de par en par las puertas a la unión entre desarrollo y evolución, vindicando uno de los argumentos más queridos por Darwin: la importancia del desarrollo comparado para demostrar y entender la evolución. Aunque un tanto genocéntrica, la conexión moderna entre evolución y desarrollo se plasmó inicialmente en un habilidoso argumento: si la evolución supone cambios en la morfología, ya que la morfología surge durante el desarrollo embrionario, y ya que el desarrollo está controlado por genes y redes de genes del desarrollo, entender cómo los genes del desarrollo cambian y evolucionan podría ser la clave para entender la evolución.

Este argumento tan lineal tenía en contra la opinión de la ortodoxia neodarwinista (derivada de la vigente teoría sintética de la evolución, elaborada entre 1930 y 1950) y, sorprendentemente, a todos los biólogos del desarrollo que opinaban sobre estos temas. Dos ejemplos bastan. El influyente evolucionista Ernst Mayr había advertido «de lo mucho que hemos aprendido sobre la fisiología de los genes, es más que evidente que la búsqueda de genes homólogos es inútil excepto entre especies próximas». En otras palabras, los genes serían, lógicamente, parecidos entre distintas especies de moscas pero no entre moscas y gusanos, y aún menos entre cada uno de estos dos y el ratón. Habida cuenta de las diferencias morfológicas entre

ellas, razón no parecía faltarle. Por añadidura, el también reconocido biólogo del desarrollo Gunther Stent afirmaba: «Los embriólogos nos enfrentamos a un conjunto de fenómenos únicos (...) y no esperamos descubrir una teoría general del desarrollo; por el contrario nos enfrentamos a una infinidad de particulares que habremos de solucionar caso a caso». En resumen, según la teoría neodarwinista basada mayormente en la genética de poblaciones, si comparásemos organismos morfológicamente dispares, el número, tipo, funcionalidad y expresión temporal y espacial entre sus genes serían muy distintos. Por añadidura, dado el desconocimiento de las regiones reguladoras de los genes, la mayoría de la variación genotípica resultaría de cambios (mutaciones, recombinación) en la zona que codifica para proteínas (ver Figuras 2 y 3).

Las paradojas de la genética del desarrollo y de la genómica comparada

Las décadas de 1970 y 1980 fueron un periodo muy fecundo en el desarrollo de técnicas para aislar, analizar y manipular genes y proteínas. Estas técnicas, de enumeración prolija aquí, permitieron identificar, aislar, clonar y secuenciar cualquier tipo de genes en cualquier tipo de organismos, relegando definitivamente el gen abstracto a la genética de la transmisión y a la genética de pobla-

ciones. Al tiempo, otras técnicas (hibridación in situ para detectar mARNs y anticuerpos para detectar proteínas, genes «reporter» o chivatos) permitieron visualizar cuándo y dónde se expresan los genes en organismos-modelo, e inducir la expresión fuera de tiempo y lugar de cualquier tipo de genes mediante genes quimera (una región codificadora unida a una región reguladora o promotora distinta a la suya) introducidos por transgénesis.

La aplicación de estas técnicas en organismos distintos a los organismos-modelo produjo uno de los resultados más sorprendentes e inesperados de la biología del siglo XX: la mayoría de genes del desarrollo identificados en organismos-modelo presentan genes homólogos (es decir, procedentes de un ancestro común que ya los tenía) en todos los organismos analizados, desde la humilde esponja al encumbrado ser humano. Sus secuencias codificadoras presentaban a menudo trechos casi idénticos y su expresión espacial y temporal era, a menudo, sorprendentemente similar. Los ejemplos iniciales y más señeros fueron los genes de la segmentación en *Drosophila*, detectados en el cribado genético de Nüsslein-Volhard y Wieschaus, y los denominados genes homeóticos de *Drosophila* (trabajo iniciado por E.B. Lewis). Lo que nadie había predicho se reveló con suma claridad: todos los organismos, poseen genes del desarrollo muy similares.

A este primer resultado se unió otro tan o más sorprendente. El número de genes de un organismo, supuestamente correlacionado con su complejidad estructural y funcional, era sorprendentemente similar desde esponjas a humanos. Las consecuencias de ambos resultados fueron intelectualmente devastadoras: la gran diversidad morfológica de animales y plantas no resultaría de la presencia de genes distintos, sino de cómo estos genes se combinan y relacionan entre sí en el espacio y en el tiempo durante el desarrollo embrionario. Es decir, la creación de nuevos genes o las duplicaciones de genes ya existentes, aunque obvias e importantes, no serían tan frecuentes como se creía. Sin embargo, es importante resaltar que entre el 10% y el 30% de los genes en cualquier organismo no tiene correlato en cualquier otro. Algunos de estos genes parecen relacionados con la determinación de estructuras concretas, propias incluso de gru-

Figura 3

| <u>CARACTERÍSTICA</u> | <u>TEORÍA CLÁSICA</u> | <u>EVO-DEVO</u> |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| <i>Número de genes</i> | distinto/muy distinto | similares |
| <i>Tipos de genes (¿homólogos?)</i> | no homólogos | homólogos |
| <i>Equivalencia funcional</i> | no equivalentes | equivalentes |
| <i>Expresión (espacio + tiempo)</i> | única y específica | múltiple |
| <i>Zona principal de variación</i> | zona codificante | zona reguladora |

Características básicas sobre genes y genomas según la teoría clásica de la evolución (neodarwinismo) y según la evo-devo y la genómica comparada.

pos taxonómicos superiores (hasta el nivel de filos; por ejemplo, los cnidocitos en cnidarios). Sin embargo, la mayoría estarían relacionados con la diversidad morfológica entre especies próximas (por ejemplo, drosófilidos) o con sistemas de respuesta tales como mecanismos de estrés y defensa.

Una tercera paradoja se sumó a las anteriores. Ya que la semejanza de los genes del desarrollo entre especies se debía, básicamente, a la conservación de trechos de ADN que codificaban para dominios proteicos que interactuaban con ADN u otras proteínas, era esperable que la región codificadora de una especie A pudiera «suplir» o «suplantar» a la región codificadora del gen homólogo de la especie B. El ejemplo más señero de ello, posible gracias a las nuevas técnicas de transgénesis (introducción de genes entre individuos de una especie o entre especies), fue introducir en *Drosophila* la región codificadora del gen *Pax-6* del ratón (implicado en la formación de sus ojos) bajo el control de un promotor (una secuencia reguladora, no codificante) de extremidad de *Drosophila*. El resultado fue que el gen del ratón indujo la formación de ommatidios (ojos de mosca) en las extremidades de la mosca, de la misma manera que lo hace el gen homólogo de mosca *Eyeless* (*ey*) bajo el control del promotor de extremidad de mosca. El experimento inverso funcionó igualmente. Otros experimentos parecidos entre genes de diversas especies, algunas evolutivamente muy alejadas unas de otras, dieron resultados similares apoyando el concepto de equivalencia funcional entre las regiones codificantes de genes homólogos.

La cuarta y última paradoja surgió al analizar a fondo la expresión de los genes del desarrollo. En genética clásica, el gen se suponía que tenía una expresión única en el tiempo y espacio embrionario. De aquí que los efectos pleiotrópicos (síndrome de efectos o alteraciones del fenotipo) de bastantes mutantes se explicaran, de acuerdo con la embriología vigente, como consecuencia de las interacciones de la región afectada por el gen mutante con otras regiones que dependían de ella para su correcto desarrollo, aunque dicho gen no se expresara en ellas (ver Figuras 3 y 4A). En contraposición a esta visión de la teoría clásica (ver Figura 3), la hibridación in situ y la inmunocitoquímica

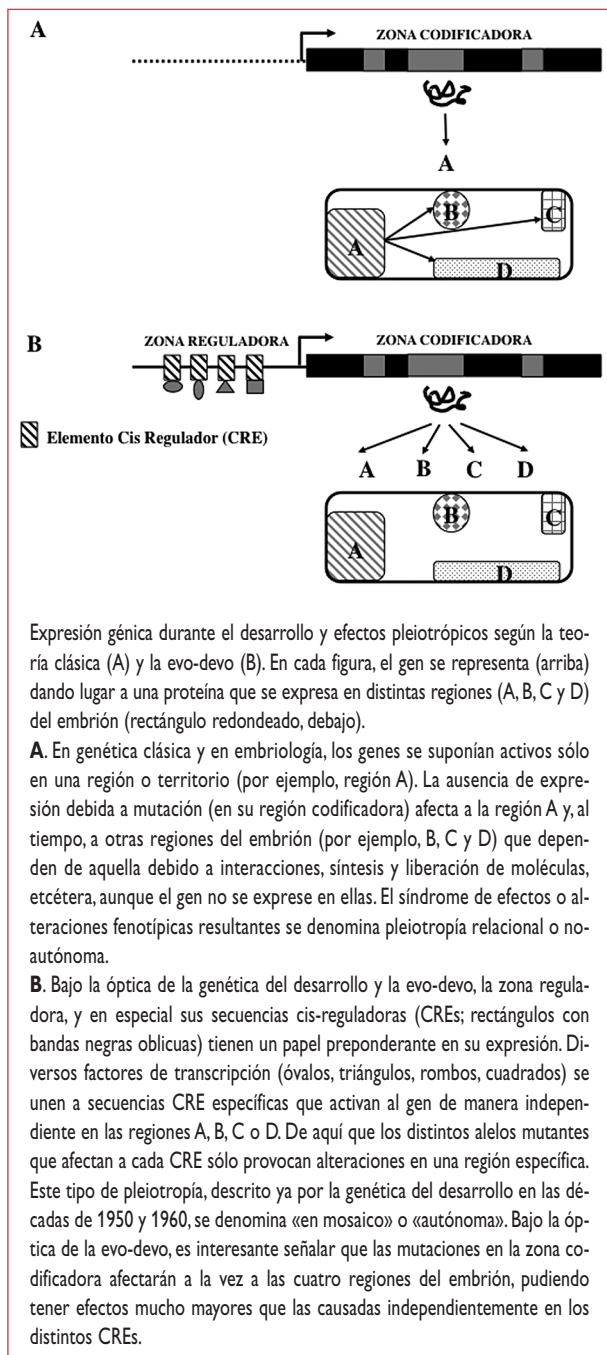
mostraron, primero en *Drosophila* y *Caenorhabditis elegans* y, más tarde, en todos los organismos testados, que muchos de los genes del desarrollo se expresan en múltiples lugares y en tiempos muy diversos a lo largo del desarrollo (ver Figura 4B).

La superparadoja: ¿Cómo genes tan similares dan lugar a morfologías tan diversas? La importancia de la estructura modular de la región reguladora de los genes

Aunando las cuatro paradojas se llegó al siguiente panorama: si el número y los tipos de genes son parecidos entre organismos muy dispares, y si su región codificadora parece bastante conservada y es funcionalmente equivalente entre taxones y, si a la vez, cada gen se expresa en lugares y en tiempos muy diversos del espacio/tiempo embrionario, la conclusión ineludible es una superparadoja. ¿Cómo genes tan similares producen formas tan diversas? La solución ineludible fue que la variación morfológica, animal y vegetal, resultaría de las diferencias en dónde y cuándo los genes se activan en cada una de las especies durante el desarrollo a lo largo de la evolución. Ello focalizaba el análisis de la variación morfológica en las diferencias existentes en las regiones reguladoras de los genes, regiones por aquel entonces prácticamente inexploradas.

Como otras ideas clave en biología, esta tenía también algunos precedentes. En 1975, King y Wilson postulan que dadas las escasas diferencias entre las regiones codificadoras de los genes de humanos y chimpancés, la razón de sus evidentes diferencias morfológicas había de buscarse en las regiones reguladoras. Al poco, François Jacob (1977) sugiere que la evolución no actúa creando estructuras y piezas *de novo* como un ingeniero, sino aprovechando lo que tiene a mano, como un latero o un *bricoleur*. Según Jacob, cambios a pequeña escala que modifican la distribución espacio-temporal de estructuras ya existentes son más que suficientes

Figura 4



para afectar en profundidad la forma, el funcionamiento y la conducta del producto final del desarrollo: el organismo adulto.

Estas ideas revitalizaron un concepto derivado de observaciones descritas por genéticos del desarrollo en las décadas de 1950 y 1960: la pleiotropía en mosaico. Por pleiotropía o síndrome de efectos, se entendía en embriología y genética clásica, la suma de alteraciones fenotípicas producidas por mutaciones en las regiones codificadoras de los genes, o por lesiones experimentales que, al alterar o eliminar un tejido, órgano o estructura concretos, provocaban a lo largo del desarrollo una cascada de efectos secundarios en otras estructuras dependientes de aquella. Este tipo de pleiotropía se denominó relacional o no-autónoma (ver Figura 4A). Por contra, la pleiotropía en mosaico o autónoma, surgió al observar mutaciones en genes concretos del desarrollo que afectaban independientemente a distintos tipos celulares, capas germinales o regiones corporales en distintos estadios del desarrollo. En este caso, cada alelo mutante afectaba sólo uno de estos componentes, con lo que las alteraciones producidas eran mucho menores que en la pleiotropía relacional. Se dedujo de ello que este tipo de mutaciones de efectos tan dispares e independientes se deberían, de alguna manera, a cambios en cómo los genes se regulan y no a cambios (mutaciones) en sus regiones codificadoras (ver Figura 4B).

La secuenciación de regiones reguladoras de genes del desarrollo en la década de 1990 validó esta hipótesis, al demostrar la presencia de múltiples secuencias de ADN (más tarde denominados CREs: Cis-Regulatory Elements) a las que se unían uno o varios factores de transcripción. De esta manera, la unión específica de estos factores a un CRE específico activaba la expresión del gen en una región y tiempo concretos del embrión en desarrollo. Así, el gen *decapentaplegic (dpp)* de *Drosophila*, del que se sabía su importancia para determinar, entre otros, el patrón dorsoventral del embrión, el patrón de la epidermis, la morfogénesis del intestino y los patrones de todos los apéndices y extremidades, tenía para cada una de ellos CREs distintos. Como era esperable, las regiones reguladoras abarcaban, a menudo, miles de kilobases de ADN que contenían decenas de CREs. Por contra, regiones equivalentes de genes implicados en

funciones generales (metabolismo, regulación celular) o en procesos de diferenciación celular terminal, eran comparativamente mucho menores (menos de 1 kilobase).

Ejemplos similares se multiplicaron. De todo ello se derivaron dos consecuencias de gran calado. En primer lugar, esta estructura modular implica que mutaciones, más o menos severas, en un CRE determinado tendrían efectos pleiotrópicos menores a los causados por mutaciones en la región codificadora, ya que estas últimas afectarían a un número mucho mayor de funciones. En segundo lugar, los CREs de cada uno de los genes del desarrollo pueden aumentar en número por duplicación, perderse por delección o recombinación desigual, aparecer *de novo* por mutación incorporando nuevos factores de transcripción o aumentar su afinidad por factores de transcripción ya conocidos, etcétera (ver Figura 5). En resumen, son capaces de generar una altísima gama de modificaciones en la expresión de los genes y, consecuentemente, de posibles cambios morfológicos.

La solución a la superparadoja suministró, por vez primera, una explicación coherente a por qué un número relativamente reducido y semejante de genes podía generar la enorme diversidad morfológica que va de las esponjas al ser humano. La respuesta era la gran modularidad de las regiones reguladoras de los genes del desarrollo y su capacidad de interactuar, vía factores de transcripción, con muchos otros genes. La modularidad, junto a la otra gran fuente potencial de variación, la duplicación génica (Ohno, 1970) y a las habituales mutación y recombinación, serían más que suficientes para dar cuenta de la variación morfológica pasada y presente.

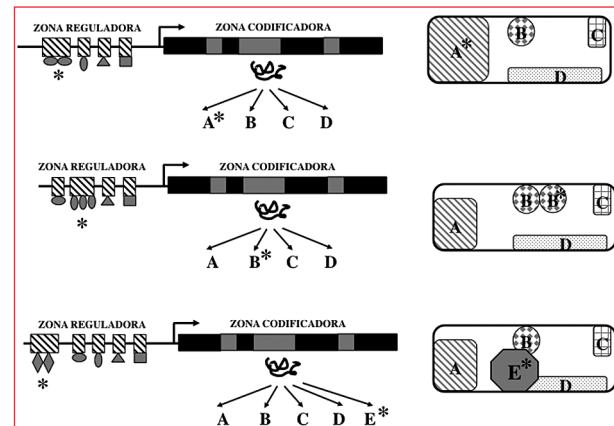
Genes del desarrollo y evolución de la forma. Algunos ejemplos

Los primeros datos sobre la relación entre genes del desarrollo y morfología se obtuvieron relacionando genes únicos con caracteres morfológicos específicos. La estrategia consistió en comparar simultáneamente las diferencias fenotípicas entre es-

pecies próximas con los patrones de expresión del gen en cuestión que controla este carácter. Un ejemplo interesante son las variaciones en la expresión de dos genes: el *bmp4* (*Bone Morphogenetic Protein 4*) y la *CaM* (calmodulina) en la regulación de la altura, anchura y longitud del pico de los famosos pinzones de las islas Galápagos, estudiados ya por Darwin. Los análisis revelaron que los picos más alargados (y a la vez estrechos y bajos), típicos de los pinzones de cactus, se correlacionaban con niveles altos de *CaM* y bajos de *bmp4* en los primordios del pico en embriones de pinzones, mientras lo inverso sucedía con los picos de los pinzones de semillas, más altos y anchos y no tan largos.

Sin embargo, dado que ello podía ser una mera correlación no causal, se realizaron experimentos en embriones de pollo a los que se inyectó, localmente por transgénesis, dosis elevadas de *bmp4* o *CaM* o de sus inhibidores en el primordio del pico. Los resultados mostraron que embriones de pollo sometidos a concentraciones mayores de *bmp4* desarrollaban, al igual que los

Figura 5



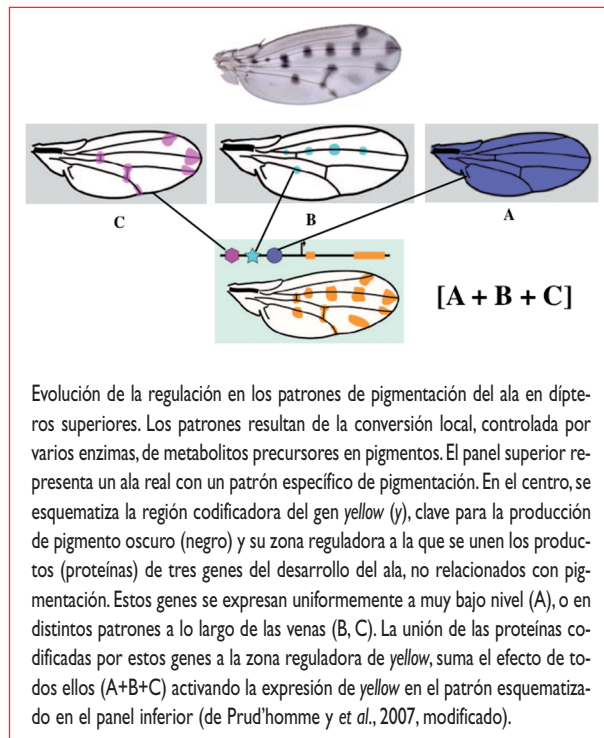
Ventajas de la modularidad de los CREs en la zona reguladora de los genes del desarrollo. De arriba a abajo se representan ejemplos de cambios en CREs (asteriscos) que dan lugar a que la región A se expanda (arriba), que la región B se duplique (en medio), y que, por mutación o por recombinación desigual, aparezca una nueva CRE que activa al gen en una nueva región E (debajo). Aunque en la mayoría de casos estos cambios serán más o menos deletéreos, es posible que puedan ser a menudo fuente de variaciones fenotípicas que sean positivamente seleccionadas.

pinzones de semilla, picos más anchos y altos, mientras que usando inhibidores de *bmp4*, el pico resultaba más bajo y estrecho (Abzhanov *et al.*, 2004). Aunque aún está por ver si estas diferencias de expresión entre especies de pinzones se deben a variaciones en las regiones reguladoras de ambos genes, o a cambios en genes reguladores de *bmp4* y *CaM* o por ellos regulados, este ejemplo es una buena muestra de cómo la genética del desarrollo permite abordar la conexión entre genes y morfología.

Un segundo ejemplo es la diversidad de patrones de coloración de las alas en insectos dípteros superiores, surgidos a lo largo de los últimos 70 millones de años de evolución. Estos patrones, algunos muy sofisticados, consisten en manchas, grupos de manchas, bandas e incluso celdillas de color más oscuro que el resto del ala, cuyo color es pálido o incoloro. Dado que los genes que intervienen en la deposición de los distintos pigmentos son bastante conocidos, se analizó uno de ellos: el gen *yellow* (*y*). La atención se centró en la zona reguladora de este gen en aquellas especies que presentaban patrones simples de coloración, como son manchas distales simples o manchas de pequeño tamaño distribuidas a lo largo de las venas alares. Los resultados revelaron la presencia de diversos CREs a los que se unían factores de transcripción de genes del desarrollo del ala cuyas funciones nada tenían que ver con la pigmentación. La combinatoria (activadora e inhibidora) de estos genes conformaba un «paisaje regulador» que, a través de la regulación diferencial del gen *yellow*, se trasladaba en patrones específicos de especie (ver Figura 6).

Aunque podríamos mencionar otros ejemplos, como la pérdida recurrente de placas y espinas laterales y pélvicas en los peces espinosos de agua dulce, respecto a ancestros marinos por inactivación de un CRE del gen *Pitx 1*, o la detección de un CRE específico en el gen *Prx1* de murciélago, que da cuenta de un porcentaje apreciable de la elongación de metacarpianos y dedos en su extremidad anterior (el ala) comparada con la del ratón, un ejemplo más en línea al tipo de cambios mayores (macroevolutivos) que el público en general espera del poder de la evolución por selección natural, lo constituye la red de genes implicados en la formación del corazón en *Drosophila* y prevertebrados, y su evolución a los corazones más complejos de vertebrados.

Figura 6



En los prevertebrados (anfioxo, tunicados), el corazón es meramente una estructura tubular que puede bombear bidireccionalmente. Por contra, los peces tienen ya dos cámaras (aurícula y ventrículo), los anfibios, tres (dos aurículas y un ventrículo) mientras que en amniotas (reptiles, aves y mamíferos) aparece el corazón de cuatro cámaras (dos aurículas y dos ventrículos). Estudios detallados de los genes implicados en la formación del corazón en *Drosophila*, han identificado una red génica básica de cinco genes conectados de manera muy precisa, activados por determinadas señales embrionarias, y que a su vez controlan a genes encargados de regular el patrón cardíaco y el crecimiento y diferenciación de las células cardíacas. En prevertebrados, esta red está básicamente conservada. En los peces, el tubo cardíaco simple se divide en dos regiones debido a la acción (en la futura aurícula) del ácido retinoico, y en anfibios se añadió una segunda aurícula. Estas variaciones fueron con toda seguridad facilitadas por la duplicación de la red básica ancestral, consecuencia de las dos duplicaciones del genoma que acaecieron en el

origen de los vertebrados. Posteriormente, estas duplicaciones facultaron que una de las copias de la red básica fuera cooptada mediante cambios en sus CREs por señales embrionarias distintas que la activaron en un segundo primordio cardíaco dando, junto al primero, el corazón con cuatro cámaras. Estadios intermedios del paso del corazón desde dos a tres y cuatro cámaras son visibles en el número de genes implicados y en su expresión cambiante en embriones de anfibios y reptiles.

Algunos problemas del enfoque actual de la evo-devo

La estructura modular de las regiones reguladoras y su extrema versatilidad y capacidad en integrarse en redes de regulación ha dado, junto a las duplicaciones génicas, respuestas satisfactorias a las paradojas planteadas por la genética del desarrollo y la genómica comparada. Al tiempo, parecen a priori ser suficientes también para dar cuenta de la mayor parte de la variación morfológica sujeta a selección. Sin embargo, su formulación actual no está exenta de problemas y polémicas. En primer lugar, la aparente exclusividad o preponderancia de la modularidad reguladora ha sido criticada por los que defienden el papel, clave en la evolución bajo la óptica de la genética de poblaciones, de las variaciones en las regiones codificadoras. Aunque la variación a este nivel es innegable, es importante resaltar que una parte substancial de estos cambios, o son de menor calado morfológico (por ejemplo, variaciones en pigmentación general), o refieren a variaciones fisiológicas (resistencia a insecticidas y plaguicidas, afinidades de la hemoglobina con el oxígeno) poco relacionadas con la forma. Es más que probable que la realidad sea al final una mezcla de los dos tipos de variaciones, aunque hay pruebas de que los cambios a nivel regulador predominan claramente en las diferencias interespecíficas o superiores a ella, mientras que los cambios a nivel codificante son prevalentes en las diferencias poblacionales o intraespecíficas.

Un segundo problema, de mucho mayor calado, es la persistente incapacidad en conectar adecuadamente genotipo y fenoti-

po. En otras palabras, entender cómo la información en el genoma se traduce en la formación de un organismo adulto. Este proceso, que no es otro que el desarrollo embrionario, implica procesos extremadamente complejos mediados por células y por moléculas codificadas en el genoma. Estos procesos han de entenderse a fondo para poder «leer» y entender un genoma. La secuenciación del genoma humano se ha comparado a menudo con la hazaña de enviar el hombre a la Luna. Sin embargo, como agudamente señala Brenner (2010), mandarlo fue la parte fácil; la difícil fue devolverlo sano y salvo a la Tierra.

De la misma manera, la secuenciación de genomas es la parte fácil, hoy en día casi trivial dados los avances técnicos; lo difícil es «leer» y «entender» lo que dicen. Y no basta, ni mucho menos, con las denominadas anotaciones (identificaciones) de los genes, ni con toda la parafernalia de las denominadas «ómicas» (transcriptómica, proteómica, metabolómica, etcétera). Lo necesario es referir todo el proceso a un nivel de abstracción que no sea tan críptico como el genoma ni tan evidente como son tejidos, órganos o el organismo entero. Según Brenner (2010), el nivel más adecuado sería el de la célula, ya que los genes son las unidades elementales, discretas, de todos los seres vivos. Es decir, entender cómo funciona una célula, determinar sus propiedades e inferir su comportamiento como resultado de una red de moléculas en interacción codificadas por un genoma. Y ello para cada uno de los tipos celulares y para las células en proceso de diferenciación. La estructura modular de los genes y la propia estructura celular en compartimentos intercomunicados (núcleo, membrana, mitocondrias, Golgi, lisosomas, etcétera) es probable que facilite la conexión mutua entre genoma y respuesta/comportamiento celular. Es esta una tarea futura de suma importancia.

Este enfoque celular es más adecuado para responder a las críticas, a menudo acertadas, más a menudo exageradas, de no pocos genéticos del desarrollo y científicos estructuralistas e internalistas, que postulan que la variación fenotípica, su plasticidad y los caminos que a ella conducen, son a la vez más plásticos (un genoma dando varios fenotipos) y más constreñidos (la variación fenotípica es finita y existen fenotipos prohibidos) que la supuesta variación al azar y los infinitos fenotipos

posibles que derivan de la interpretación canónica del neodarwinismo. Lo que estos autores postulan es que una parte substancial del cambio fenotípico no resulta necesariamente de cambios genéticos, sino que procede de la propia plasticidad fenotípica. Esta plasticidad derivaría de una feliz combinatoria de alelos resultante por recombinación y/o de la miríada de interacciones celulares y tisulares inducida por cambios ambientales, o por adaptaciones del propio desarrollo que, con posterioridad, serían fijadas por cambios genéticos (Gerhard y Kirschner, 2007). Sin negar que la selección natural tiene un papel importante en evolución, los internalistas/estructuralistas postulan que son más importantes las proposiciones genéricas que hacen los sistemas en desarrollo, dando lugar a cambios de forma, que el efecto, relativamente pasivo, de la propia selección natural actuando sobre las variaciones fenotípicas propuestas.

Volviendo a Darwin

La genética del desarrollo primero, la genómica comparada después y, finalmente, la evo-devo, han cambiado profundamente la manera de entender los mecanismos de producción de variación y de evolución morfológica. La «caja negra» entre genotipo y fenotipo, que Darwin intuyó pero no pudo entender, y que la síntesis neodarwiniana mantuvo en la penumbra, ha sido iluminada por la biología molecular, la genética del desarrollo y la evo-devo. Hoy en día entendemos que los CREs de los genes del desarrollo, y los factores de transcripción que se unen a ellos, configuran las unidades básicas de regulación para entender el cambio evolutivo, unidades más importantes que las regiones codificadoras. A la vez, estas unidades dan lugar a redes reguladoras de genes que determinan o controlan la formación de estructuras concretas, sean ejes corporales, primordios, tejidos, órganos o tipos celulares. Estas redes pueden usarse en lugares y tiempos distintos a lo largo del desarrollo y sus genes pueden participar, vía interacción CREs-factores de transcripción, en otras redes. A lo largo de la evolución, al tiempo que se han conservado redes básicas, otras han sido cooptadas en tiempos y lugares distintos. Esta es la profunda lección del concepto de modularidad que permite entender, aun-

que no todavía con suficiente profundidad, el porqué de la enorme diversidad de formas de vida en el planeta pudo producirse a partir de un número relativamente limitado de genes.

Curiosamente, esta nueva visión es más cercana a los dos conceptos básicos de Darwin que a los postulados de la teoría sintética de la evolución o neodarwinismo (ver Figura 7). Sin saber nada de herencia y de cómo se producía la variación, y muy poco de desarrollo (ver Figura 1B), Darwin postuló en su concepto de unidad de tipo (descendencia a partir de un ancestro) que algo profundo había de conservarse a lo largo de la evolución. En *El origen de las especies* (p. 484) Darwin escribe: «Sin embargo todos los seres vivos tienen mucho en común, en su composición química, sus vesículas germinales, su estructura celular y sus leyes de crecimiento y reproducción». Con la ventaja de los 150 años transcurridos desde *El origen de las especies*, sabemos que esta conservación la representa el ADN, el código genético, el dogma central, la gran conservación en el nombre y tipo de genes, y una estructura y propiedades celulares básicas. Al tiempo, su segundo concepto, condiciones de existencia (adaptación al entorno por modificación), la representa hoy en día la variación genética, desde la mutación y la recombinación que tanto afectan a regiones reguladoras como a codificadoras, junto a la modularidad repre-

Figura 7



sentada por los cambios en los CREs, las duplicaciones génicas y las redes de genes reguladores, junto a procesos de índole más macroscópica (celular), aún poco explorados, como la variación facilitada, la progresión correlacionada y los denominados *trade offs* (transacciones) entre caracteres. Todo ello ha representado y representa la fuente, durante el proceso de desarrollo a lo largo de innumerables generaciones, de la enorme variación sobre la que la selección natural ha actuado y actúa.

Una cautela final

Pese a su grandeza, no debemos sacralizar ni a Darwin ni al darwinismo. No sabemos aún cómo deducir la morfología final (el fenotipo) a partir del genotipo, ni tampoco sabemos cómo se produce, ni si existen reglas específicas de cómo se genera, la extensa gama de variación fenotípica a partir de genotipos concretos. Ni sabemos tampoco si el mecanismo propuesto por Darwin (y por Wallace), la selección natural actuando sobre pequeñas variaciones o modificaciones, aun siendo indiscutible, explica la totalidad de las morfologías surgidas a lo largo de la evolución. Ni sabemos tampoco si la especiación es un proceso gradual, como Darwin postuló, o es un proceso más discontinuo, más cuántico, no necesariamente relacionado con adaptación.

Conway-Morris (2010) señala que mientras la evolución es indiscutible, la teoría evolutiva, en lo referente a los mecanismos en que se basa, puede ser incompleta. En otras palabras, y al igual que le sucedió a la física de finales del siglo XIX, la biología del siglo XXI puede estar a la espera de su Einstein y su Planck.

Bibliografía

Abzhanov, A., Protas, M., Grant, B.R. y Tabin, C.J. (2004): «*Bmp4* and Morphological Variation of Beaks in Darwin's Finches», *Science* 305, 1462-1465.

- Brenner, S. (2010): «Sequences and Consequences», *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365, 207-212.
- Conway-Morris, S. (2010): «Evolution: Like Any Other Science It Is Predictable», *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365, 133-145.
- Darwin, C.R. (1859): *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, John Murray, Londres.
- Davidson, E.H. (2006): *The Regulatory Genome. Gene Regulatory Networks in Development and Evolution*, Elsevier, Amsterdam.
- Gerhart, J. y Kirschner, M. (2007): «The Theory of Facilitated Variation», *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 104, suppl 1, 8582-8589.
- Haeckel, E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen: Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*, 2 Vols., Georg Reimer, Berlin.
- Jacob, F. (1977): «Evolution and Tinkering», *Science* 196, 1161-1166.
- Jacob, F. and Monod, J. (1961): «Genetic Regulatory Mechanisms in the Synthesis of Proteins», *J. Mol. Biol.* 3, 318-356.
- King, M.C. y Wilson, A.C. (1975): «Evolution at Two Levels in Humans and Chimpanzees», *Science* 188, 107-116.
- Malthus, T.R. (1798): *An Essay on the Principle of Population* (reeditado por Oxford University Press, 2004).
- Mendel, G. (1866): «Versuche über Pflanzen-Hybriden», in *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn 1865*. IV, 3-47, Im Verlage des Vereines, Brünn.
- Nusslein-Volhard, C. y Wieschaus, E. (1980): «Mutations Affecting Segment Number and Polarity in *Drosophila*», *Nature* 287, 795-801.
- Ohno, S. (1970): *Evolution by Gene Duplication*, Springer-Verlag, New York.
- Olson, E.N. (2006): «Gene Regulatory Networks in the Evolution and Development of the Heart», *Science* 313, 1922-1927.
- Prud'homme, B., Gompel, N. y Carroll, S.A. (2007): «Emerging Principles of Regulatory Evolution», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104, suppl. 1, 8605-8612.
- Schwartz, J. (2008): *In Pursuit of the Gene. From Darwin to DNA*, Harvard University Press, Cambridge.
- Wallace A.R. (1858): «On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely from the Original Type», *J. Proc. Linn. Soc (Zool)* 3, 53-62.
- Watson, J.D. y Crick, F.H.C. (1953): «Molecular Structure of Nucleic Acids. A Structure of Deoxyribose Nucleic Acids», *Nature* 171, 964-966.

Los retos del darwinismo y la vigencia de la teoría de evolución por selección natural

Juan Moreno

Profesor del Departamento de Ecología Evolutiva
Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC

En este año en que celebramos, tanto el nacimiento de Charles Darwin como la publicación de su genial obra *El origen de las especies*, debemos hacer una profunda reflexión, no sólo sobre la importancia histórica del personaje y su obra, sino sobre la vigencia de su principal aportación a la ciencia actual, la teoría sobre la evolución por selección natural. La teoría fue planteada antes de que se conociera el sustrato de la herencia, y no depende por tanto de ninguna característica ni propiedad especial del material genético que determina la variación fenotípica de los organismos.

Darwin observó que existía una ingente variabilidad en el seno de cada población natural estudiada, que esta era heredable y que no todas las variantes eran igualmente exitosas en sus interacciones con el ambiente físico y biótico, y dedujo que la diversificación y modificación de los organismos era el simple producto de esta variabilidad y de la competencia por los recursos, operando a lo largo de dilatados periodos de tiempo.

El único requisito para que funcione la selección natural es que la variación genética espontánea y ajena a las necesidades de los organismos, que se produce continuamente, induzca el desarrollo de organismos ligeramente modificados respecto a sus ancestros, y que estos sean más o menos viables en su ambiente. Es decir, el gradualismo que implica la teoría de Darwin se basa en que la evolución es el resultado de diferencias en

éxito reproductor de organismos, más o menos parecidos, que coexisten en poblaciones naturales como ocurre hoy día, diferencias que siempre han existido. No requiere ninguna variación brusca, ningún salto, ninguna producción de organismos radicalmente distintos que serían totalmente inviables. Tampoco requiere una adaptación en vida de los organismos como suponía Lamarck. Es la composición de las poblaciones la que se modifica en el transcurso del tiempo, no los individuos que constituyen las poblaciones en cada momento. Igual que la deriva continental y la elevación de las cordilleras se produce continuamente por fenómenos cotidianos que se pueden registrar con aparatos de medición, la evolución por selección natural se produce cada día y en cada lugar de forma inevitable y se puede medir por cambios sutiles en frecuencias génicas. Es la integración de estos fenómenos cotidianos a lo largo de millones de años la que produce los cambios sobre la superficie del planeta y los cambios evolutivos dramáticos que se observan en el registro fósil. No hay nada especial que tenga que ocurrir para que se produzca evolución, ni colisiones con meteoritos, ni eventos simbiogénicos dramáticos, ni espontáneas cristalizaciones basadas en fuerzas naturales aún por descubrir.

Es por la generalidad de la teoría y por la ausencia de dependencia del mecanismo respecto a los detalles del funcionamiento de los genomas y su replicación, por lo que todos los

asertos sobre falta de vigencia del darwinismo, basados en nuevos descubrimientos en biología molecular, resultan falaces. Se creía que la biología del desarrollo iba a demostrar la producción de variantes drásticas no sujetas a selección natural, pero sólo ha revelado que la complejidad de la regulación génica conduce a plasticidad fenotípica y al desarrollo de nuevos fenotipos ligeramente modificados sobre los que opera la selección natural. Cualquier nuevo descubrimiento en genética siempre parece conllevar un clamor sobre rechazos del proceso darwiniano, pero al final resulta perfectamente asumible por la teoría pues sólo postula nuevas fuentes de variación genética. Los que claman por el fin del darwinismo nunca explican cómo se supone que viven y se reproducen esos organismos portadores de las nuevas variantes genéticas en su medio ambiente. Los que defienden que ciertas propiedades de los genomas han permitido cambios macroevolutivos no explican cómo funciona el proceso de generación en generación en poblaciones naturales.

Si retrocedemos en el tiempo de generación en generación desde cualquier organismo actual hasta el pasado remoto, rebasaremos sin duda muchos periodos en que se pierden determinadas estructuras o procesos clave y en que se trascienden umbrales macroevolutivos. Sólo hay dos formas de imaginar el paso de dichos umbrales, por modificaciones leves entre una generación y la anterior, o por un radical cambio al pasar de una generación a otra, lo que se llama saltacionismo, puntuacionismo, simbiogénesis o producción de «monstruos esperanzados». El gradualismo darwiniano postula que los cambios serán casi imperceptibles entre una generación y la anterior, pero dramáticos al contemplar centenares y miles de generaciones. Las duplicaciones de genes y genomas, la transferencia lateral de genes entre organismos distintos, las reestructuraciones cromosómicas, la cooptación de productos génicos para nuevas funciones, los cambios en redes regulatorias, el pedomorfismo, la hibridación y todos los mecanismos de producción de variantes en poblaciones naturales que se postulan como anti-téticos con la teoría de Darwin, han debido producir fenotipos viables que, debido a la plasticidad fenotípica inducida durante el desarrollo y a procesos básicos que facilitan la integración

de las distintas funciones del organismo, han implicado nuevas y ventajosas interacciones con el medio. Son los fenotipos los que interaccionan con el medio y de cuyo éxito depende el cambio genético.

Los nuevos descubrimientos en biología molecular sólo plantean nuevas formas de producir fenotipos viables sobre los que operará la selección natural en poblaciones naturales. La incapacidad por plantearse la necesidad ineludible de que los nuevos fenotipos sean viables en un complejo entramado ecológico es un obstáculo para cualquier comprensión de la evolución. Es indudable que dramáticos cambios genéticos apenas se detectan en los fenotipos debido a la complejidad de los procesos de regulación génica, a la compartimentación de los efectos, a la redundancia de las redes regulatorias y, en definitiva, a que el desarrollo es producto de un incesante selección a favor de producir fenotipos que funcionen. Los animales y plantas poliploides, por ejemplo, apenas se diferencian de sus congéneres diploides a pesar de contar con genomas mucho más grandes.

Muchas reestructuraciones cromosómicas radicales apenas se distinguen en los fenotipos portadores. La variación cariotípica no suele tener nada que ver con la variación fenotípica. La transferencia lateral de genes entre organismos distintos no debe ser tan importante cuando se pueden establecer filogenias moleculares. Es curioso que algunos investigadores en filogenias moleculares se muestren convencidos de la importancia de la transferencia lateral de genes, que si fuera importante invalidaría totalmente sus propios resultados. Al final de tanto clamor en vano, queda claro que describir nuevas formas de aparición de variación genética no explica su supervivencia en el transcurso de la generaciones, ni puede ir en contra de un mecanismo que no se basa en un tipo de variación genética concreta.

La biología molecular aspira a conquistar el trono de una teoría evolutiva nueva, pero no hace más que añadir datos y detalles al cuadro general que describió Darwin sin haberse puesto nunca una bata blanca. Es por esta falta de consonancia

entre lo que a los biólogos moleculares les parece importante y lo que realmente mueve al proceso evolutivo, por lo que un regreso a las fuentes de la biología y a la primacía de los organismos como fenotipos que interactúan con el ambiente es imprescindible para comprender la teoría de Darwin. Los científicos de bata blanca difícilmente pueden entender la evolución, que sólo detectan por cambios en algunas moléculas y en un marco totalmente ajeno a su contexto orgánico y ecológico. Aparte de crear nuevos monstruos en el laboratorio por manipulación genética, deben entender cómo sobreviven y se reproducen los organismos en su ambiente. Sólo la variación gradual tiene futuro y además, es la que se produce incesantemente en todas las poblaciones.

Otro problema añadido para la comprensión de la teoría es el raquítico marco temporal en que se basan suposiciones como los efectos de los impactos de cuerpos celestes sobre el cambio evolutivo. Muchos paleontólogos, como Gould, nos dicen que un millón de años es un instante evolutivo, pero lo describen como un instante de esos que marcan nuestros relojes cuando corremos a coger el autobús. Efectivamente, las especies tardan miles de años en formarse, las grandes extinciones duran centenares de miles de años, pero aunque en relación a toda la historia del planeta constituyan fracciones diminutas, estos procesos implican muchísimas generaciones de organismos, muchísimos cambios ambientales, muchísima evolución.

Una especiación puntuacionista puede haberse producido por cambios graduales a lo largo de muchas generaciones y sin embargo no poder vislumbrarse en el registro fósil. La falta de imaginación de los puntuacionistas que pasan sin darse cuenta del instante geológico al instante real y cotidiano resulta curiosa y hasta enternecedora. Al final parecen tomar literalmente lo del carácter «instantáneo» de la especiación y el cambio evolutivo durante las grandes extinciones. Como no pueden vislumbrar cambios graduales multigeneracionales en su in-

completo y grosero registro fósil, niegan dicha posibilidad alegando falta de tiempo, el mismo error cometido por los físicos contemporáneos de Darwin, pero mucho menos perdonable dado el avance del conocimiento científico. Durante centenares de miles de años hay tiempo para mucho cambio gradual y caben muchas generaciones de organismos. Al final se defienden con lo de la estasis, la falta de cambio, y alegan constricciones insalvables que sólo reflejan su irremediable platonismo y su búsqueda de esencias inmutables.

No tienen en cuenta que la selección natural impide y coarta la mayoría de los cambios, dado que producen pérdida de viabilidad de los fenotipos en su ambiente. Cualquier cambio en una proteína que modifique su conformación espacial será combatido sistemáticamente por la selección natural negativa, es decir, por aquella que conserva y no modifica. La selección negativa opera no sólo sobre proteínas sino sobre sus efectos fenotípicos generales y constriñe el cambio evolutivo posible. La estasis es, pues, una consecuencia ineludible de selección natural negativa, igual que el cambio evolutivo puntuado es en realidad gradual y se debe a selección positiva en un entorno ecológico cambiante. Es la ecología de los organismos la que puede experimentar cambios rápidos que inducirán modificaciones fenotípicas puntuadas para un paleontólogo, pero graduales para cualquiera que comprenda el carácter necesariamente multigeneracional de los procesos evolutivos.

En definitiva, las bases del antidarwinismo científico (no me refiero en absoluto al religioso o ideológico) son la incompreensión de la inevitable confrontación de los fenotipos con un ambiente ecológico hostil, y de la continua operación de selección natural, tanto negativa como positiva, sobre todos los fenotipos en todo momento aunque con intensidad variable. La selección natural es un proceso inevitable, dado el origen de la vida y su base en la continua multiplicación de fenotipos en un ambiente de recursos limitados.

Los virus de ARN y la evolución

Andrés Moya

Director del Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva
Universidad de Valencia

La individualidad genética y el éxito evolutivo

La biología siempre ha tenido por delante, cuando se ha enfrentado al problema de la explicación, el reto de la complejidad, especialmente la complejidad de formas o estructuras, sus interacciones y transformaciones. La complejidad de formas puede abordarse de manera numérica, simplemente evaluando el tipo y número de estructuras que aparecen dentro y entre diferentes niveles de organización biológica. Se trata de un interesante ejercicio que nos va a llevar a una conclusión relevante. Empezamos con las formas o estructuras más elementales, las bases nucleotídicas de los ácidos nucleicos. Existen cuatro nucleótidos y sesenta y cuatro codones para el código genético universal. Son constantes. La longitud de las secuencias nucleotídicas de los genes, en cambio, varía enormemente, desde apenas una centena hasta varios órdenes de magnitud mayores. También es variable el número de genes en los diferentes organismos, aunque el rango de variación no es tan elevado como en el caso anterior. El rango para el número de clases de células, tejidos y órganos no va más allá de uno a unos cientos. Cuando accedemos al rango en individuos nos encontramos desde especies con número mínimo a especies con cifras astronómicas. Lo mismo puede decirse del rango de variación del número de especies que, siendo menor que el rango de variación del anterior nivel, va desde pocas especies para grupos concretos, a grupos millonarios. Si seguimos con esca-

las superiores, encontramos que el número de categorías taxonómicas disminuye, así como el rango de variación de las mismas.

El ejercicio que mencionaba anteriormente es el de tomar los máximos correspondientes a los diferentes conjuntos establecidos para los diferentes niveles de organización biológica y compararlos. El resultado es el siguiente: si hacemos abstracción de las categorías para clasificar por niveles de organización y comparamos solamente los números máximos a que tales categorías nos han llevado, observamos el carácter preponderante, numéricamente hablando, que tienen los individuos. En comparación con ellos, hay pocas clases de nucleótidos, pocos codones, pocos genes, pocos tipos celulares, tejidos y órganos, pocas especies y categorías taxonómicas superiores. La forma de la distribución de este número no es necesariamente piramidal, pero el máximo de estos máximos es indudable que corresponde al individuo. Se puede argumentar que esta clasificación por máximos es falaz, atendiendo a que la introducción de nuevas categorías en la clasificación haría que el máximo correspondiera ahora a una nueva categoría. Por ejemplo, si introducimos la categoría de especie molecular, nos encontramos con que el máximo en un momento dado de una molécula concreta, relevante biológicamente, puede ser varios órdenes de magnitud mayor que la del número de individuos de la especie más numerosa. O también el número de células de un organismo, o el número de un tipo celular concreto.

Existe, no obstante, un criterio auxiliar para seguir haciendo preponderante el número de individuos de una especie. Se trata de cualificar el número de individuos o individualizar. De una especie molecular dada puede existir una cantidad astronómica en un momento dado, pero son formas de un tipo dado. Lo mismo puede decirse de, por ejemplo, el número de células de un tipo dado. Es otra cuestión decidir qué es eso de individualizar, y es motivo de preocupación de más de un biólogo¹. Parece el individuo un éxito evolutivo, una conquista, al menos numéricamente hablando. La teoría de la selección natural, aunque no exclusivamente ella, puede darnos cumplida respuesta a por qué las especies varían tanto numéricamente, y ello tiene que ver con el éxito relativo, en términos reproductivos, que tienen los individuos componentes de unas frente a otras². La individualidad biológica es, en buena medida, individualidad genética, formada por un conjunto de genes, con sus variantes alélicas más o menos particulares.

La individualidad es una propiedad de las entidades biológicas, y tiene nombres particulares dependiendo del nivel de organización biológica en el que nos movamos. Si atendemos a la individualidad genética, la forma de reproducción clonal, que asegura copias idénticas en los descendientes, puede hacernos suponer que especies con esa forma de reproducción carecen de la propiedad. Esto no es absolutamente cierto, pues los cambios mutacionales que acontecen en los descendientes hacen que, con el tiempo, exista diferenciación genética. El grado de individualidad genética de una especie se puede plantear teóricamente en términos de probabilidad, de forma tal que especies en las que dos de sus individuos, tomados al azar, son idénticos, son especies de individualidad genética nula, y especies en las que dos de sus individuos al azar son totalmente distintos constituirían especies de individualidad genética uno. Ambos extremos son difíciles de conseguir. La mutación o cualquier otra fuente de variación genética hacen distintos dos individuos que, por ejemplo, vienen clonalmente de un ances-

tro. Las relaciones de parentesco genético hacen que el otro extremo sea difícil también, pues un porcentaje de los genomas de dos individuos será idéntico al proceder de un ancestro común hace una cantidad dada de tiempo.

Los virus de ARN

Parece, por tanto, que el número de individuos, matizado con la individualidad genética, suponen un logro y definen el éxito evolutivo. Si nos atenemos a este doble criterio encontramos que los virus de ARN han tenido gran éxito evolutivo. Siguiendo el criterio de número, difícilmente vamos a encontrar concentraciones mayores de partículas por unidad de volumen que las que se estiman para este tipo de estructuras. El tamaño, puede pensarse, ha debido actuar negativamente en contra del criterio de número, pues, en general, grandes tamaños requieren grandes recursos, y pequeños tamaños recursos menores, de tal suerte que para la misma unidad de volumen de recursos podemos tener mayor número de los que son de menor tamaño. Pero parece cierto, también, que la individualidad genética, en general, acompaña más a los individuos de mayor tamaño, matizando apropiadamente el éxito numérico al que nos referíamos antes. Los virus de ARN constituyen estructuras de gran éxito en ambos sentidos: por su capacidad de generar grandes números en poco tiempo y espacio y, lo que puede ser más interesante, son de un elevado grado de individualidad genética.

De la primera propiedad no es necesario dar detalles. Sólo hay que mirar datos relativos a la productividad en los sistemas de producción clonal y asexual. Pero sí merece algún detalle ir en torno a la segunda propiedad. El elemento clave para entenderla es la tasa de mutación. Un virus de ARN tiene alrededor de 10 kilobases, con estructura y modo de reproducción variable, en cuyos detalles no entraré. Lo cierto es que, siendo conservadores, una nueva partícula viral tendrá al menos uno de cada 10.000 nucleótidos distinto del de la secuencia original. En otras palabras, la probabilidad de que dos

¹ Véase L. Buss, *The Evolution of Individuality*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1987.

² Véase G.C. Williams, *The Units of Selection*, Oxford University Press, Oxford, 1993.

nucleótidos, original y derivado, sean distintos es 10^{-4} . (Es importante hacer notar, no obstante, que hay estimaciones del orden de un cambio cada 100 nucleótidos y otras de un cambio cada 1000 nucleótidos).

Con arreglo a nuestro criterio, y teniendo en cuenta que es despreciable la probabilidad de que el nucleótido mutado sea el mismo en dos partículas virales descendientes, nos pone ante la situación de que si una partícula viral infecta una célula, las eventuales 100 partículas virales descendientes serán distintas en un nucleótido entre sí y con respecto a la partícula paterna. En otras palabras, tendremos un nivel 1 de individualidad genética en nuestra población. La razón que explica tan elevada tasa de mutación es que la polimerasa viral, la molécula encargada de la replicación del virus, no tiene un sistema de reparación de errores, como el de las polimerasas que replican ADN, que corrija la incorporación errónea de nucleótidos en la replicación de la cadena paterna. Un virus de ARN no puede llevar volúmenes de información muy superiores al número de kilobases antes mencionado. Su propia capacidad de generar mutaciones a alta frecuencia le llevaría a perder la capacidad de tener codificados eficazmente todos y cada uno de sus genes si tuviese tamaño mayor. Hay una conocida relación entre el tamaño máximo que puede tener un genoma y la tasa de mutación a la que está sometido. Es lo que se conoce como umbral de error³. Los virus de ARN, como posiblemente otras estructuras replicativas en las primeras fases de la evolución prebiótica, tienen unos límites de tamaño (no mayor de unas 15 kilobases) y, por tanto, de complejidad genética. De hecho, la existencia teórica de este umbral de error ha llevado al desarrollo de una nueva terapia antiviral conocida como mutagénesis letal, donde se emplean agentes mutagénicos específicos de ARN con objeto de obtener un incremento artificial en la tasa de mutación. Sin embargo, incluso esta estrategia antiviral presenta inconvenientes, ya que se ha observado que los virus pueden generar mecanismos potenciales de resistencia a la acción de compuestos mutagénicos, como, por ejemplo, un aumento en la fidelidad de la polimerasa viral.

³ Véase E.C. Holmes, *The Evolution and Emergence of RNA Viruses*, Oxford University Press, Oxford, 2009.

¿Por qué la individualidad genética es clave de éxito evolutivo?

Nada nuevo decimos que no esté enmarcado dentro del programa neodarwinista de investigación. Estudios clásicos en *Drosophila* han mostrado que la variabilidad genética, un parámetro estimable en las poblaciones, tiene un papel predominante en el éxito relativo de las mismas frente a situaciones que supongan nuevas adaptaciones. De hecho, el éxito de la relativamente más alta individualidad genética de una población o especie de *Drosophila* frente a otra se traduce en una mayor productividad de individuos por unidad de recurso. No obstante, el problema asociado a este tipo de trabajo con organismos es el de la nítida dilucidación de cuáles son los genes que están contribuyendo a que, genéricamente, exista tal incremento en la productividad relativa. Y segundo, de la presencia continua de tal variación se hace una extrapolación muy verosímil, que está avalada por infinidad de ejemplos tomados de la historia evolutiva, a saber: se puede llegar a nuevas situaciones biológicas, incluso nuevas especies. Sin embargo, dos cuestiones hacen siempre duro el programa neodarwinista: una es determinar cuáles son los cambios genéticos que se han producido y que implican mayor éxito selectivo, y la otra es demostrar que la acción continuada de la selección de una población frente a la otra, pueda tener relevancia evolutiva como la que, por otra parte, se observa cuando se mira la historia evolutiva misma, y que lleva a pensar de una manera muy consistente que, por ejemplo, la aparición de nuevas especies es producto de la acción positiva de la selección diferencial a favor de poblaciones más variadas genéticamente. Es el clásico problema de que no hay experimentador que pueda vivir los tiempos geológicos necesarios para asistir a la transformación explicable en los términos que supone la teoría de la selección natural.

El estudio de los virus de ARN puede ayudar en gran medida a la resolución de estos dos problemas. El primero, el de la complejidad genómica, queda reducida necesariamente, pues hay unos límites impuestos a la capacidad de los virus de ARN

de poder generar sistemas más complejos, en términos de longitud genómica. Pequeños genomas permiten abordar el problema de cartografiar qué cambios genéticos están determinando cambios en la capacidad reproductiva de una estructura viral, mejor que en genomas estructural y funcionalmente mucho más complejos, donde siempre se puede argumentar el papel desempeñado por la ontogenia (es decir, el desarrollo), así como la relevancia de la individualidad genética. Por tanto, el problema de las leyes de transformación que regulan el paso del genotipo al fenotipo, y que ponen de manifiesto que no se pueden hacer fáciles extrapolaciones de un espacio al otro sin conocer las citadas leyes⁴, queda sustancialmente mitigado con este tipo de organismos, puesto que, o bien la correspondencia es bastante biunívoca, y un cambio a nivel genotípico supone un cambio a nivel fenotípico, o es menos difícil la determinación de la relación entre ambos tipos de cambios que en organismos más complejos. De hecho, en virus de ARN hay que destacar la frecuente aparición de convergencias a nivel molecular en linajes independientes con dinámicas adaptativas similares. Esta aparición recurrente de un número relativamente reducido de mutaciones concretas evidencia el alto grado de restricción funcional presente en virus de ARN, en contraposición con su enorme variabilidad potencial.

La segunda cuestión es la de la experimentación. La individualidad genética de los virus de ARN es bastante general y esa propiedad es similar a la de organismos más complejos, aunque sea un logro evolutivamente convergente. La cuestión es si podemos probar los efectos evolutivos, en las poblaciones de virus de ARN, de la citada propiedad, por ejemplo disponiendo de poblaciones con diferente grado de individualidad (variabilidad genética). La cuestión se puede enfocar de otra manera y es recurriendo a la tasa de mutación y a la acumulación (fijación) de mutaciones con el tiempo. Un virus de ARN puede sufrir, en un periodo de un año natural, cambios genéticos equivalentes a los que sufriría un organismo de ADN en un millón de años.

El razonamiento es el siguiente. Entendemos por sustitución nucleotídica el proceso por el cual un cambio mutacional de un nucleótido se extiende o fija a toda la población o especie. La comparación de conjuntos de genes de un virus de ARN aislados en momentos diferentes proporciona estimaciones de sus tasas de sustitución nucleotídica del orden de 10^{-3} sustituciones por nucleótido y año (como se ve, del mismo orden también que la tasa de mutación; Kimura⁵ es una excelente referencia para entender la teoría neutral de la evolución molecular). La misma aproximación, llevada a cabo con grupos de genes de organismos de ADN de diferentes especies, aunque muy variables en sus tasas, provee valores de alrededor de 10^{-9} sustituciones por nucleótido y año⁶. A escala molecular la lección parece clara: los genomas de ARN consiguen transformaciones evolutivas en tiempos seis órdenes de magnitud más bajos que los genomas ADN. En otras palabras, un virus de ARN puede conseguir en un año los cambios que experimenta un organismo de ADN en un millón de años. La capacidad exploradora de un virus en el espacio de secuencias es un millón de veces mayor, para la misma unidad de tiempo, que la de un organismo de tipo ADN. Lo interesante en este caso es que la unidad de tiempo puede ser aceptable para un observador humano: podemos llegar a observar grandes acontecimientos evolutivos en el mundo de los virus de ARN.

Hay evidencias de la historia evolutiva de los virus de ARN que hacen verosímiles las cifras que estamos dando. En la actualidad la mayor parte de las patologías humanas, animales y vegetales que resisten con persistencia a los tratamientos con vacunas proceden de organismos de tipo ARN (gripe, hepatitis C, sida, fiebre aftosa, tristeza del naranjo, por poner algunos ejemplos). Incluso somos capaces de apreciar la supuesta aparición espontánea de nuevas patologías que, muchas veces, vienen asociadas con la identificación de un nuevo tipo viral (virus emergentes)⁷. En consecuencia, no resulta descabellado pensar

4 Véase R.C. Lewontin, *Las bases genéticas del proceso evolutivo*, Ediciones Omega, Barcelona, 1974.

5 Véase M. Kimura, *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

6 Véase M. Nei, *Molecular Evolutionary Genetics*, Columbia University Press, New York, 1987.

7 Véase E.C. Holmes, *The Evolution and Emergence of RNA Viruses*, Oxford University Press, Oxford, 2009.

que los virus de ARN, en especial si están desarrollando estrategias de resistencia frente al sistema inmune o sistemas de vacunación, lo que hacen es sondear en su espacio genotípico, a una velocidad mucho mayor que organismos tipo ADN. La lección evolutiva puede ser importante, y también su conexión con la génesis de novedades evolutivas, incluidas especies virales nuevas (si es que es definible en estos términos).

Tenemos unas entidades altamente individualizadas, que generan poblaciones muy heterogéneas desde el punto de vista genético. La lección que se extrae de la observación a corto plazo de los cambios genéticos de los virus de ARN es que la selección darwiniana parece tener un papel preponderante en la evolución de estas entidades, de tal manera que la fijación de mutaciones (sustitución nucleotídica de las que hablábamos antes) se produce como consecuencia de la superior ventaja selectiva de variantes que aparecen con cierta periodicidad. Su frecuencia, relativamente alta, hace difícil el camino de la investigación a aquellos grupos empeñados en el desarrollo de vacunas antivirales.

Nuevas entidades para viejos principios

Los virus de ARN parecen acomodarse bien a principios teóricamente bien establecidos en la genética de poblaciones, y que han tenido, o tienen, difícil contrastabilidad experimental en otros organismos. Uno de ellos es el conocido en inglés como *Muller's ratchet* y que nos permitimos traducir como «rueda dentada de Muller». El principio indica que una población finita de organismos con reproducción asexual, una vez que pierdan, como consecuencia de un cuello de botella, la clase de organismos con menos mutaciones, pasarán a formar una población con menos eficacia que la población original, precisamente porque la mayor parte de las mutaciones existentes son de tipo deletéreo. Cuando virus de ARN han sido sometidos a tal tipo de dinámicas experimentales, haciendo pasar a sus poblaciones por cuellos de botella periódicos, se ha observado una caída sis-

temática en la eficacia de las poblaciones, en una forma funcionalmente dependiente del tamaño efectivo de la población, parámetro muy sensible a la presencia de cuellos de botella.

El juego evolutivo no se ha acabado aquí. Esas mismas poblaciones, con una gran merma en su eficacia biológica, han sido sometidas, de nuevo, a grandes expansiones o crecimientos exponenciales, aprovechando en buena medida todo el potencial de los virus de ARN para generar variantes esporádicas con gran eficacia. En tales circunstancias se ha podido comprobar la recuperación de eficacia de las poblaciones. La recuperación ha sido tan rápida y espectacular como lo fue la pérdida. Y todo en intervalos de tiempo accesibles a un experimentador humano. Se ha podido comprobar, adicionalmente, que agrupados en clases, por su proximidad genética, los componentes de una población viral sufren incrementos progresivos en la eficacia de su adaptación al medio celular donde vive, con respecto a las clases de partida, en otras palabras, no sólo hay competencia viral, pues las clases difieren en eficacia entre ellas, sino que las clases en cuestión cambian más o menos a la par, y siempre en incremento, su eficacia, hasta el momento en que aparece una mutación de gran eficacia en una de ellas, que determina la desaparición rápida del resto de clases, simplemente porque son mucho menos efectivas en su capacidad de dejar réplicas. El incremento en eficacia de las clases virales de una forma paralela está conforme con la hipótesis de la Reina Roja, de gran trascendencia, por ejemplo, para la comprensión de la evolución de especies que compiten por recursos similares en los ecosistemas naturales. El hecho de que una clase viral desplace al resto está conformado con el principio de exclusión competitiva.

Contingencia y teoría evolutiva

La historia evolutiva es contingente. Cierto, no parece fácil encontrarse con regularidades o repeticiones en la historia evolutiva. Por ello no podemos garantizar que los mismos principios darwinistas que parecen controlar la evolución de los

virus de ARN sean aplicables a organismos más complejos. Pero tenemos una serie de observaciones que nos pueden llevar a una conclusión relevante, aunque sea por inducción. Así, si (1) disponemos de evidencia experimental de que los virus de ARN operan en forma darwiniana, de que son objeto de transformaciones evolutivas relevantes por selección natural; (2) tenemos evidencias, más difíciles de probar estadísticamente, de que la selección también opera en organismos basados en ADN; y (3) vemos que la numerosidad, junto con la individualidad genética, parecen ser propiedades comunes del éxito evolutivo en entidades tan alejadas como un virus de ARN, una bacteria, un protozoo, un insecto o la especie humana; enton-

ces, ¿por qué no podemos sostener inductivamente que la evolución por selección natural es la teoría más consistente para explicar el cambio biológico?

La observación (2) puede parecer muy reductiva al hacer poco énfasis en todo lo que se conoce sobre la evolución de las diferentes especies, especialmente las eucarióticas. Pero las observaciones (2) y (3) tomadas conjuntamente ponen de manifiesto que la individualidad es una propiedad óptima en biología, y que niveles inferiores o superiores al individuo en la jerarquía biológica han tenido menor éxito en su capacidad de generar novedad evolutiva.

Evolución del comportamiento altruista en humanos: Importancia del número de individuos que interaccionan

Manuel Soler

Catedrático de Biología Animal
Universidad de Granada

Introducción: Los comportamientos altruistas

Un comportamiento altruista se define como aquel que se ejecuta en beneficio de otros individuos (receptores) a la vez que supone un coste para el que lo hace (donante). Un verdadero acto altruista no reporta ningún beneficio al donante. Este tipo de comportamientos son muy frecuentes en la naturaleza y los más destacados son los que se dan en los insectos sociales. En estas especies los individuos viven en colonias, a veces muy numerosas, en las que la inmensa mayoría de ellos no se reproducen, pero trabajan encargándose de todas las tareas necesarias para el mantenimiento de la colonia y para sacar adelante a los hijos de los individuos reproductores. Estos comportamientos suponen un problema para la teoría de la evolución por selección natural, que parte de la base de que los individuos compiten entre sí por los recursos disponibles siempre intentando sobrevivir y dejar descendencia (Darwin, 1859). Charles Darwin fue consciente de este problema, de hecho, en su famoso libro *El origen de las especies* destacó que los insectos sociales suponían una dificultad aparentemente insuperable para su teoría (Darwin, 1859).

Modelos desarrollados para explicar los comportamientos altruistas

Hoy día sí existen diversos modelos que aportan explicaciones a la existencia y evolución de los comportamientos altruistas. El más importante es la teoría de la selección de parentesco (Hamilton, 1964) que sugiere que, puesto que la mayor parte de los comportamientos altruistas ocurren entre individuos estrechamente emparentados que comparten una elevada proporción de sus genes, los alelos responsables de los actos altruistas pasarían a la siguiente generación no sólo a través de los descendientes directos (hijos), sino también a través de los parientes próximos que contribuyan a criar con su ayuda altruista (Hamilton, 1964). Hamilton definió la «eficacia biológica inclusiva» como la suma de la «eficacia biológica indirecta» (la que se obtiene contribuyendo a la producción de hijos de un pariente próximo) más la «eficacia biológica directa» (la que se consigue criando a los propios hijos). Esta teoría de la selección de parentesco es el marco teórico en el que se han basado la mayor parte de los estudios sobre comportamientos altruistas, pero hay que destacar que estos actos altruistas realizados en beneficio de los parientes son altruistas desde el

punto de vista comportamental, pero son egoístas desde el punto de vista genético puesto que se obtiene un beneficio, ya que el donante está contribuyendo a pasar sus genes a la siguiente generación.

Si consideramos el conjunto de los animales, excluyendo a la especie humana, se puede decir que la mayoría de los actos altruistas que se encuentran son entre parientes, pero no siempre, algunas veces los individuos beneficiados no están emparentados con los donantes. Así, por ejemplo, en nuestro pariente más próximo, el chimpancé (*Pan troglodytes*), se ha encontrado que los machos prefieren asociarse y colaborar con sus hermanos maternos; sin embargo, los hermanos paternos no suelen asociarse (seguramente porque no pueden reconocerse) y, en general, las parejas de machos que colaboran estrechamente no están emparentados, o sólo lejanamente (Langergraber *et al.*, 2007).

Para explicar estos casos de colaboración entre no parientes (especialmente en humanos), Robert Trivers propuso lo que llamó «altruismo recíproco», y que, como el nombre indica, se trata de un intercambio de beneficios más o menos separado en el tiempo (Trivers, 1971). Por tanto, es evidente que tampoco se puede considerar un verdadero acto altruista, por lo que muchos autores prefieren utilizar el nombre de reciprocidad. De todas formas, hay que aclarar que, durante los últimos años, se está destacando el hecho de que la evidencia de la existencia de reciprocidad directa en animales no humanos es muy escasa (Clutton-Brock, 2002, 2009; West *et al.*, 2007). Recientemente, Clutton-Brock (2009) ha sugerido que la mayor parte de los ejemplos descritos de aparente cooperación entre individuos no emparentados son casos de mutualismo intra-específico (similares a los bien conocidos casos de mutualismo entre especies), o de manipulación, donde los individuos dominantes pueden «obligar» mediante diferentes tácticas a los subordinados a realizar tareas que, aunque suponen un costo para los subordinados, aportan beneficios a los dominantes (Clutton-Brock y Parker, 1995; Soler *et al.*, 1998; Cant y Johnstone, 2006).

El comportamiento altruista humano

Entre los humanos, aunque también es frecuente la cooperación entre parientes y compañeros habituales con los que nos relacionamos con asiduidad, resulta muy llamativo el hecho de que con mucha frecuencia se presta ayuda a individuos extraños con los que es muy improbable que volvamos a encontrarlos. En nuestra especie es normal que se ayude a quien lo necesita, aunque sea un desconocido en una ciudad de varios millones de habitantes. Aunque no siempre, con cierta frecuencia la ayuda que se presta a otras personas puede llegar a ser bastante costosa, e incluso, cuando es necesario, son muchas las personas dispuestas a arriesgar su vida por salvar la de un congénere, aunque no se le conozca de nada. Este tipo de cooperación, en la que el donante paga un elevado coste, constituye un enigma evolutivo, porque los modelos que explican los comportamientos altruistas en el resto de los animales (principalmente selección de parentesco y reciprocidad directa) no pueden ser aplicados en estos casos que, al menos aparentemente, parecen verdaderos comportamientos altruistas; es decir, suponen un coste y no se obtiene ningún beneficio a cambio, ni directo ni genético (Fehr y Gächter, 2002; Johnson *et al.*, 2003).

Explicar el enigma evolutivo que supone, al menos aparentemente, el comportamiento altruista humano, se ha convertido en uno de los temas estrella de la biología evolutiva. Durante la última década se han publicado multitud de artículos en las revistas científicas más prestigiosas. Se han propuesto varios modelos no excluyentes para explicar nuestro comportamiento altruista: además de la reciprocidad directa, a la que ya nos hemos referido, la reciprocidad indirecta, la reciprocidad generalizada, la reciprocidad reforzada y la selección de grupo (Fehr y Fischbacher, 2003; Nowak, 2006).

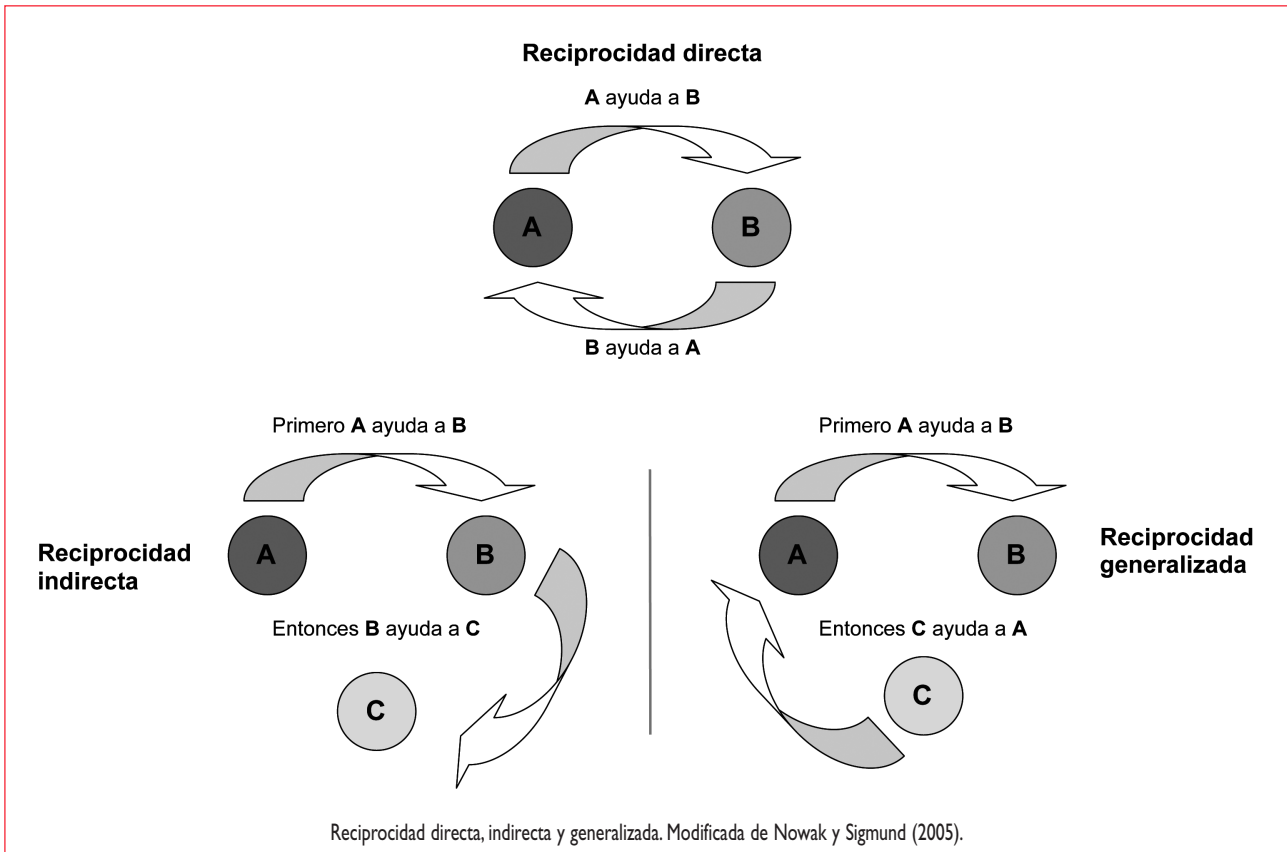
Es de destacar que la gran mayoría de los numerosos trabajos publicados durante los últimos años se han centrado en alguno de esos modelos propuestos para explicar el altruismo en humanos o en algunos de los factores que lo favorecen, lo cual

está contribuyendo a que se pierda la visión general del tema. Por esto, en esta revisión, después de describir los distintos modelos mencionados anteriormente, quiero destacar el hecho de que no todos los actos altruistas en humanos se realizan con personas a las que no conocemos de nada. La mayor parte de las colaboraciones tienen lugar entre parientes y entre personas que mantienen una relación bastante estrecha (son amigos o compañeros). Es decir, que no nos podemos olvidar de que la selección de parentesco y la reciprocidad directa también representan un papel importante. Pienso que es imprescindible considerar una visión de conjunto y ver las relaciones evolutivas que existen entre los distintos aspectos de los comportamientos altruistas en humanos porque todos están muy relacionados.

Reciprocidad directa, indirecta y generalizada

Además de la reciprocidad directa en la que el individuo A ayuda al individuo B y, posteriormente, el individuo B devuelve esa ayuda al individuo A, se han descrito otros dos tipos de reciprocidad más compleja. La reciprocidad indirecta, en la que el individuo que coopera recibe la devolución de la ayuda a través de terceros en lugar de a través del individuo al que ayudó; y la generalizada, en la que las personas deciden si ayudan no sólo dependiendo de que otros les hayan ayudado a ellos, sino, principalmente, de que otros ayuden a otros (ver Figura 1; Nowak y Sigmund, 2005).

Figura 1



La base de la reciprocidad indirecta y generalizada es la buena reputación que consiguen los individuos altruistas. Una persona que tiene fama de altruista puede obtener ayuda de otras personas a las que no ha ayudado nunca. Además, a nivel general, las sociedades humanas suelen premiar y favorecer a las personas cooperadoras y altruistas. Así, por ejemplo, el caso de la donación de sangre, que es uno de los más típicos comportamientos altruistas humanos, puesto que se está prestando una inestimable ayuda a personas desconocidas. Existe abundante evidencia empírica de que los donantes se prestan o no a donar sangre dependiendo de la relación costos-beneficios. Por ejemplo, si el centro hospitalario al que hay que desplazarse para donar sangre está lejos o el tiempo de espera para la donación es largo (un aumento de los costos), el número de donantes desciende considerablemente. Por el contrario, si los equipos de recolección de sangre se desplazan a los centros de trabajo (lo cual evita el desplazamiento y facilita el reconocimiento social, puesto que aumentan las probabilidades de que el donante sea observado por los demás), o se distribuye un *pin* o cualquier distintivo que lo acredite (lo que supone un aumento de los beneficios), incrementan las donaciones (Guillespie y Hillyer, 2002; Soler, 2009). Por otro lado, los donantes de sangre están bien considerados por la sociedad y disfrutan de una buena reputación de altruistas, lo que les permite ser beneficiados con preferencia por otras personas altruistas.

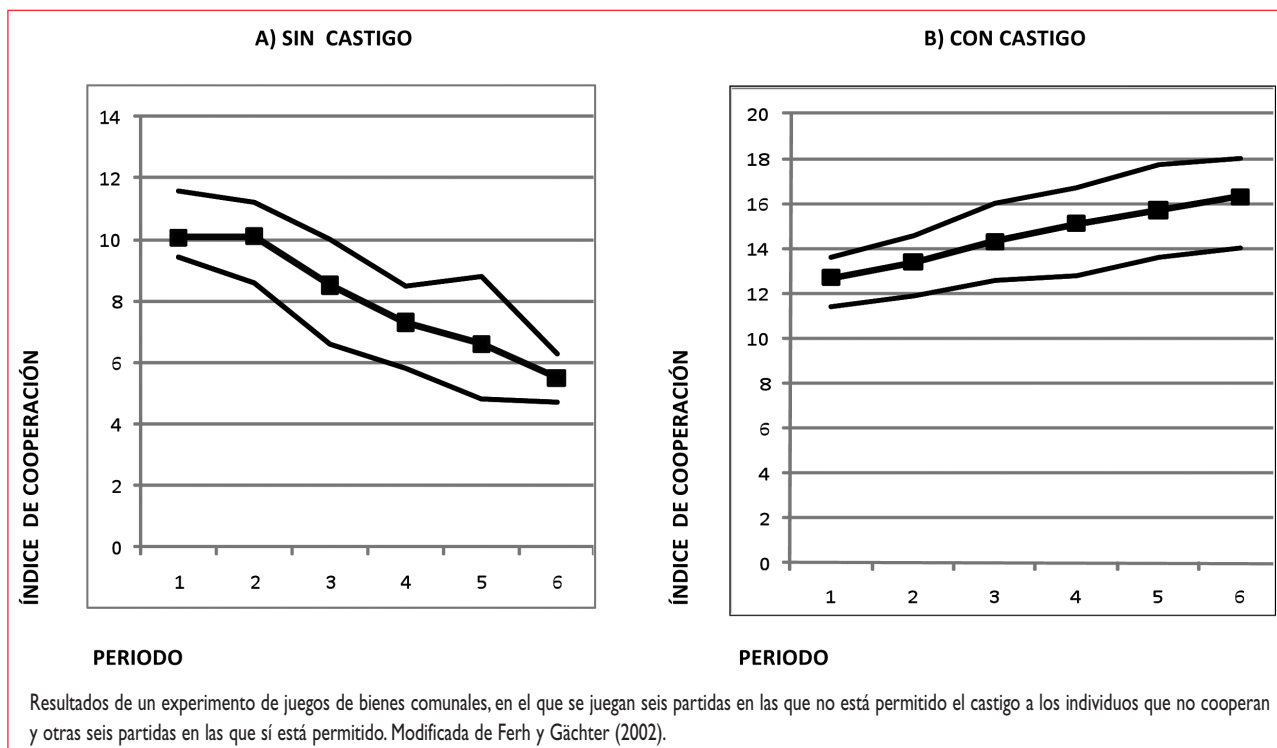
Los beneficios derivados de la buena reputación se han demostrado en numerosos estudios basados en experimentos de «juegos de bienes comunales»: los jugadores altruistas, que dedican más recursos al fondo común, son beneficiados por el resto de los jugadores. Incluso, se ha demostrado que el haber conseguido una buena reputación de individuo altruista es recompensado en el futuro, no sólo por los miembros de su grupo social (grupo de jugadores que participan en el experimento), sino también por individuos de otros grupos a los que ha trascendido su fama de altruista (Semmann et al., 2005).

El castigo altruista y la reciprocidad reforzada

Durante los primeros años del presente siglo se destacó el hecho de que conseguir una buena reputación no bastaba para explicar la evolución del comportamiento altruista humano. Entonces, tanto estudios teóricos basados en modelos matemáticos, como estudios experimentales basados en juegos de bienes comunales, pusieron de manifiesto que la cooperación funcionaba especialmente bien cuando se permitía el castigo de los individuos egoístas que no cooperan (Fehr y Gächter, 2002; Boyd et al., 2003; Fehr y Rockenbach, 2003). La importancia de este «castigo altruista», también conocido como «castigo social», se pone de manifiesto en el hecho de que en todas las culturas humanas se han promulgado leyes que regulan la convivencia y la cooperación imponiendo castigos. El castigo social se considera tan importante, que muchos autores defienden que sin él, promovido por las emociones negativas que nos inspiran los ventajistas que no cooperan con la sociedad en la que viven, no podría mantenerse (desde el punto de vista evolutivo) la cooperación humana. También se ha destacado que este castigo social es de gran importancia en la evolución de los comportamientos cooperativos, no sólo de otras especies de mamíferos (Young et al., 2006) y en concreto en primates (Chen y Hauser, 2005), sino incluso en los insectos sociales (Ratnieks y Wenseleers, 2007).

Uno de los mejores estudios que han puesto de manifiesto el papel protagonista del castigo altruista es un experimento de juegos de bienes comunales en el que los participantes tenían que disputar, en una primera parte, seis jugadas en las que no existía la posibilidad de castigar a los no cooperadores; y en la segunda parte, otras seis jugadas en las que sí disponían de esta posibilidad, aunque ejecutar el castigo les suponía un coste. Durante las seis jugadas sin castigo el porcentaje de recursos destinado a la cuenta comunal iba disminuyendo, mientras que, cuando se disponía de la posibilidad de castigar al que no colaborara, tras cada jugada iba aumentando ese porcentaje (ver Figura 2; Fehr y Gächter, 2002). La conclusión de este estudio

Figura 2



fue que en ausencia de castigo se busca la forma de explotar a los demás, mientras que si el castigo funciona, se «aprende» a ser cooperativo.

Este castigo altruista es la base de la reciprocidad reforzada. Es decir, la predisposición innata a cooperar, típica del ser humano, estaría reforzada por el hecho del castigo altruista, que aumenta los costos (o disminuye los beneficios) de no cooperar aprovechando los beneficios aportados por los individuos altruistas (Fehr y Rockenbach, 2003; Henrich *et al.*, 2006; Herrmann *et al.*, 2008). Aunque esta idea es reciente y ha sido criticada por algunos, existe abundante evidencia de que la reciprocidad reforzada sería una adaptación evolucionada como consecuencia de un proceso evolutivo en el que interaccionarían tanto factores genéticos como culturales. En este caso, como en muchos otros, la cultura podría haber contribuido a proveer de mecanismos que aporten soluciones más rápi-

das y eficaces a los problemas de cooperación en los grupos sociales.

Selección de grupo

Darwin fue el primero en proponer un argumento de selección de grupo para explicar el altruismo en humanos. Sugirió que las tribus constituidas por individuos cooperativos, leales y agradecidos, que estuvieran siempre dispuestos a ayudar y defender a sus compañeros, saldrían victoriosas en sus enfrentamientos con las tribus vecinas (Darwin, 1871).

Hoy día son bastantes los investigadores que piensan que los modelos basados en la obtención de beneficios a nivel individual no ofrecen una explicación completamente satisfactoria (a

pesar de que la reciprocidad reforzada supone un importante paso adelante). Estos autores defienden que los comportamientos altruistas en nuestra especie sólo pueden entenderse aceptando argumentos de selección de grupo. Aunque esta idea de la selección de grupo quedó muy desprestigiada a principios de los años setenta, hoy día ha surgido con fuerza una propuesta de selección de grupo menos ingenua, que podría funcionar siempre que la selección a nivel de grupo sea más fuerte que la que exista a nivel de individuos dentro del grupo (Soler, 2009). Este argumento está de acuerdo con la teoría de la selección multinivel, la cual defiende que la selección adaptativa puede ocurrir a cualquier nivel si, y sólo si, (1) existe reproducción diferencial entre las entidades en ese nivel; y (2), las características fenotípicas de las entidades son tan importantes en el éxito reproductor a ese nivel que consiguen que el efecto de otras características en cualquier otro nivel sea irrelevante (Brandon, 1990; Wilson, 1997).

La propuesta de selección de grupo, que está consiguiendo bastantes apoyos en la actualidad, está liderada por Samuel Bowles, y está basada en la asunción de que los enfrentamientos entre grupos serían muy frecuentes (Bowles; 2006, 2008). Hay bastante evidencia empírica de que los enfrentamientos entre grupos humanos han sido muy frecuentes a lo largo de toda la historia evolutiva de nuestra especie. Según datos aportados por el propio Bowles, el 13% de los esqueletos estudiados en diferentes yacimientos paleontológicos de la Edad de Piedra y el 15% de las personas que mueren en diversas etnias de cazadores-recolectores actuales muestran síntomas evidentes de que la muerte fue provocada por un arma. Estas cifras se califican como muy elevadas teniendo en cuenta que durante el siglo XX, a pesar de las dos guerras mundiales y de la multitud de conflictos bélicos que tuvieron lugar, el porcentaje de personas muertas de forma violenta no llega al 1%.

Las luchas entre grupos también han sido habituales en épocas más recientes. Por ejemplo, según Diamond (1992), entre 1492 y 1990 se produjeron en el mundo veintinueve genocidios masivos con, al menos, 10.000 personas asesinadas en cada uno de ellos, y en ocho se superó el millón de muertos. Algunos de

estos genocidios supusieron el exterminio completo de una etnia. En este escenario de frecuentes luchas entre distintas tribus o grupos humanos, la unión del altruismo (colaboración entre miembros del mismo grupo) y la xenofobia (hostilidad hacia los miembros de otros grupos) podría haber actuado favoreciendo los conflictos entre grupos y esto, a su vez, favorecería la evolución conjunta de ambas características (Choi y Bowles, 2007; Hauser et al., 2009). Puesto que la colaboración sería algo esencial (la historia militar nos demuestra que los grupos formados por soldados disciplinados y colaboradores eran más eficaces), podría haber evolucionado una predisposición a cooperar en grupos incluso a un costo considerable para el donante.

La importancia que tiene la competencia entre grupos en la evolución de los comportamientos evolutivos también se ha demostrado en estudios experimentales de juegos de bienes comunales. Por ejemplo, se ha puesto de manifiesto que la aportación de los participantes en el juego a la cuenta comunal era mucho mayor cuando había competencia con otros grupos que cuando no la había. La diferencia era muy clara a pesar de que el experimento se diseñó manteniendo el nivel de competencia entre grupos bastante bajo, igualado al nivel de competencia entre los individuos dentro de un mismo grupo (Puurtinen y Mappes, 2009).

De acuerdo con la teoría de la selección multinivel (ver más arriba), esta elevada competencia entre grupos favorecería la existencia de selección a nivel de grupo. Pero hay otra característica que también la favorecería: una disminución de la competencia dentro del grupo. Como destaca Bowles (2006, 2008), en las sociedades humanas se han desarrollado mecanismos sociales (normas culturales que se transmiten de generación en generación y que son variables entre culturas) que consiguen disminuir la competencia dentro del grupo. Entre los más importantes se pueden mencionar el reparto de alimento (compartir la carne conseguida en una cacería es algo muy común en las etnias de cazadores-recolectores) y la monogamia (un sistema de apareamiento que evita que unos pocos machos dominantes monopolicen a la mayor parte de las hembras,

como ocurre en la mayoría de las especies de mamíferos, incluidos los primates).

Por tanto, si existe una reducida competencia entre individuos (lo que disminuye la fuerza de la selección entre miembros del mismo grupo) y una elevada frecuencia de enfrentamientos entre grupos, lo cual implica una fuerte presión selectiva en este sentido, ya que los grupos más eficaces (con más individuos cooperativos) sobrevivirán y los menos eficaces se extinguirán, se cumplen las condiciones para que la selección de grupo pueda representar un papel importante en la evolución de la cooperación humana. No hay que interpretar esta selección de grupo como un modelo que compite con el de la selección de parentesco o con la reciprocidad, por el contrario, hay que verla como parte de un complejo sistema de adaptaciones en el que todas ellas habrían contribuido al diseño final del altruismo humano.

Una visión generalizada e integradora

Como hemos comentado anteriormente, la gran cantidad de artículos que se publican sobre aspectos concretos que contribuyen a explicar el comportamiento altruista humano está contribuyendo a que se pierda la visión de conjunto. Por esto, para finalizar esta revisión, quiero destacar el hecho de que el altruismo humano ha evolucionado como resultado de complejas interacciones entre numerosos factores que han tenido una importancia variable dependiendo del sistema social, la cultura y las características medioambientales en las que vivían los distintos grupos humanos. El hecho de que en numerosos estudios publicados durante la última década se haya puesto de manifiesto que factores como la buena reputación, el castigo altruista o la selección de grupo representan un papel muy importante en la explicación de la colaboración entre humanos en las grandes ciudades, donde las interacciones entre individuos que no se conocen y con pocas probabilidades de volverse a encontrar son frecuentes, no quiere decir ni que todos los

comportamientos altruistas tengan lugar entre desconocidos, ni que esos factores lo expliquen todo.

Lo cierto es que en todas las poblaciones y en todas las culturas, la mayor parte de los actos altruistas en humanos se realizan entre parientes y entre personas que mantienen una relación bastante estrecha (amigos o compañeros). Es decir, que no nos podemos olvidar de que la selección de parentesco y la reciprocidad directa también representan un papel importante. Las interacciones altruistas entre parientes o personas que interactúan con frecuencia sería la norma general durante gran parte de nuestra evolución, al igual que lo es hoy día en muchas poblaciones humanas donde una buena parte de los habitantes siguen viviendo en aldeas o pueblos pequeños.

Durante los últimos cinco millones de años, nuestros antepasados homínidos y nuestra propia especie *Homo sapiens*, vivieron en pequeños grupos en los que muchos individuos estaban emparentados y donde todos se conocían entre sí. Es evidente que durante este prolongado periodo los actos altruistas se podrían explicar por selección de parentesco y reciprocidad directa, aunque la selección de grupo también podría representar un papel significativo en un escenario en el que la competencia entre grupos humanos podría ser importante como hemos visto anteriormente. Fue sólo hace muy poco tiempo (unos 10.000 años) cuando, como consecuencia de la implantación de la agricultura, aparecieron las ciudades, y aquí sería cuando empezarían a tener importancia los otros modelos de reciprocidad más complejos (indirecta, generalizada y reforzada); pero sólo aquí, en aglomeraciones humanas donde la mayor parte de las personas no se conocieran entre sí. Probablemente, los factores que más influyeron en el aumento del número de habitantes de las ciudades y en la progresiva complejidad de las sociedades humanas, fueron la concentración en zonas más ricas en recursos, la ventaja de la especialización en el trabajo y la necesidad de defenderse frente a los ladrones y saqueadores.

Seguramente, los modelos de reciprocidad más compleja y la selección de grupo han evolucionado gracias a los mecanismos psicológicos que, como nuestras emociones, habrían evolucionado

como adaptaciones a nuestra compleja vida social. La religión, puesto que las creencias religiosas incrementan la solidaridad dentro de un grupo a la vez que aumentan el antagonismo entre grupos de distinta religión (Broom, 2003), también se puede considerar un factor que habrá contribuido de manera importante a la evolución del altruismo humano.

Evidentemente, la selección cultural ha debido jugar un papel muy importante en la evolución de estos mecanismos de reciprocidad compleja, hasta el punto de que es muy probable que nuestro lenguaje haya sido el principal artífice de esta evolución. La enorme capacidad de comunicación que nos aporta nuestro sistema de comunicación es lo que permite que se pueda conseguir la buena reputación, y que se puedan dar a conocer tanto esa buena reputación como los actos relacionados con el castigo altruista. Ambos factores constituyen la base de los comportamientos altruistas humanos que, por supuesto, como en el resto de los animales, tampoco son realmente altruistas, ya que se llevan a cabo (aunque casi siempre de manera subconsciente) por conseguir la buena reputación, por evitar el castigo altruista o por ambas cosas.

En resumen, podemos destacar que el altruismo humano es el resultado de un proceso coevolutivo entre genes y cultura, en el que los modelos de la selección de parentesco y la reciprocidad también son importantes puesto que los actos altruistas son especialmente frecuentes entre parientes. Durante la mayor parte del periodo de evolución de nuestra especie los actos altruistas se explicarían por selección de parentesco y reciprocidad, mientras que la reciprocidad reforzada y la selección de grupo comenzarían a tener importancia a partir del descubrimiento de la agricultura, que fue lo que originó la aparición de las grandes aglomeraciones humanas.

Agradecimientos

A Santiago Merino, por haberme invitado a preparar este capítulo para este libro publicado en conmemoración del «año Darwin». Eva Prados Arjona ha preparado las dos gráficas que se incluyen en este capítulo.

Bibliografía

- Bowles, S. (2006): «Group Competition, Reproductive Leveling and the Evolution of Human Altruism», *Science* 314: 1569-1572.
- Bowles, S. (2008): «Conflict: Altruism's Midwife», *Nature* 456: 326-327.
- Boyd, R., Gintis, H., Bowles, S. y Richerson, P.J. (2003): «The Evolution of Altruistic Punishment», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100: 3531-3535.
- Brandon, R. N. (1990): *Adaptations and Environment*, Princeton University Press, Princeton.
- Broom, D. M. (2003): *The Evolution of Morality and Religion*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cant, M.A. y Johnstone, R.A. (2006): «Self-serving Punishment and the Evolution of Cooperation», *Evol. Biol.* 19: 1383-1385.
- Chen, M. K. y Hauser, M. (2005): «Modeling Reciprocation and Cooperation in Primates: Evidence for a Punishing Strategy», *J. Theor. Biol.* 235: 5-12.
- Choi, J.-K. y Bowles, S. (2007): «The Coevolution of Parochial Altruism and War», *Science* 318: 636-640.
- Clutton-Brock, T. H. (2002): «Breeding Together: King Selection and Mutualism in Cooperative Vertebrates», *Science* 296: 69-72.
- Clutton-Brock, T. H. (2009): «Cooperation between Non-king in Animal Societies», *Nature* 462: 51-57.
- Clutton-Brock, T. H. y Parker, G. A. (1995): «Punishment in Animal Societies», *Nature* 373: 209-216.
- Darwin, C. (1859): *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, John Murray, London.
- Darwin, C. (1871): *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, John Murray, London.
- Diamond, J. (1992): *The Third Chimpanzee*, HarperCollins Publishers, New York.
- Fehr, E. y Fischbacher, U. (2003): «The Nature of Human Altruism», *Nature* 425: 785-791.
- Fehr, E. y Gächter, S. (2002): «Altruistic Punishment in Humans», *Nature* 415: 137-140.
- Fehr, E. y Rockenbach, B. (2003): «Detrimental Effects of Sanctions on Human Altruism», *Nature* 422: 137-140.
- Gillespie, T. W. y Hillyer, C. D. (2002): «Blood Donors and Factors Impacting the Blood Donation Decisions», *Trans. Med. Rev.* 16: 115-130.
- Hamilton, W. D. (1964): «The Genetical Evolution of Social Behaviour», *J. Theor. Biol.* 7: 1-51.

- Hauser, M., McAuliffe, K. y Blake, P. R. (2009): «Evolving the Ingredients for Reciprocity and Spite», *Phil. Trans. R. Soc. B* 364: 3255-3266.
- Henrich, J., McElreath, R., Barr, A., Ensminger, J., Barrett, C., Bolyanatz, A., Cardenas, L. C., Gurven, M., Gwako, E., Henrich, N., Lesorogol, C., Marlowe, F., Tracer, D. y Ziker, J. (2006): «Costly Punishment across Human Societies», *Science* 312: 1767-1770.
- Herrmann, B., Thöni, C. y Gächter, S. (2008): «Antisocial Punishment across Societies», *Science* 319: 1362-1367.
- Johnson, D.P., Stopka, P. y Knights, S. (2003): «The Puzzle of Human Cooperation», *Nature* 421: 911-912.
- Langergraber, K. E., Mitani, J. C. y Vigilant, L. (2007): «The Limited Impact of Kinship on Cooperation in Wild Chimpances», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104: 7786-7790.
- Nowak, M.A. (2006): «Five Rules for the Evolution of Cooperation», *Science* 314: 1560-1563.
- Nowak, M.A. y Sigmund, K. (2005): «Evolution of Indirect Reciprocity», *Nature* 437: 1291-1298.
- Puurttinen, M. y Mappes, T. (2009): «Between-group Competition and Human Cooperation», *Proc. R. Soc. Lond. B* 276: 355-360.
- Ratnieks, F. L. W. y Wenseleers, T. (2007): «Altruism in Insect Societies and Beyond: Voluntary or Enforced? », *Trends Ecol. Evol.* 23: 45-52.
- Semmann, D., Krambeck, H.-J. y Milinski, M. (2005): «Reputation Is a Valuable within and outside One's Own Social Group», *Behav. Ecol. Sociobiol.* 57: 611-616.
- Soler, J.-J., Møller, A. P. y Soler, M. (1998): «Mafia Behaviour and the Evolution of Facultative Virulence», *J. Theor. Biol.* 191: 267-277.
- Soler, M. (2009): *Adaptación del comportamiento: comprendiendo al animal humano*, Síntesis, Madrid.
- Trivers, R. L. (1971): «The Evolution of Reciprocal Altruism», *Q. Rev. Biol.* 46: 35-57.
- West, S.A., Griffin, A. S. y Gardner, A. (2007): «Evolutionary Explanations for Cooperation», *Curr. Biol.* 17: R661-R672.
- Wilson, D. S. (1997): «Introduction: Multilevel Selection Theory Comes of Age», *Am. Nat.* 150 (supplement): S1-S4.
- Young, A. J., Carlson, A. A., Monfort, S. L., Russell, A. F., Bennett, N. C. y Clutton-Brock, T. H. (2006): «Stress and the Suppression of Subordinate Reproduction in Cooperatively Breeding Meerkats», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103: 12005-12010.

El darwinismo y la sostenibilidad ecológica

Fernando Arribas

Profesor del Departamento de Historia e Instituciones Económicas y Filosofía Moral
Universidad Rey Juan Carlos

La relación entre la obra de Darwin y la noción de sostenibilidad es una cuestión compleja en la medida en que las ramificaciones del darwinismo son muy amplias. A ello se añade la tendencia a extraer conclusiones aventuradas, o sencillamente erróneas de la teoría darwiniana de la evolución por parte de muchos científicos y pensadores sociales que han asegurado seguir su estela. Para situarnos, creo que dicha relación puede contemplarse desde tres ángulos diferentes que a su vez remitirían a tres acepciones distintas del concepto de sostenibilidad. En primer lugar, podemos hablar de la influencia de la obra de Darwin sobre la ecología como disciplina científica. En segundo lugar, existe también un influjo en el plano filosófico que ha tomado forma en algunas corrientes del pensamiento verde y la ética ecológica. Por último, el darwinismo ha sido invocado con frecuencia con el fin de elaborar una teoría general que permita comprender la interrelación entre los fenómenos sociales y el entorno biofísico en el que se desarrollan, así como para romper el aislamiento mutuo entre las ciencias naturales y las ciencias sociales que ha caracterizado al pasado siglo.

La influencia del darwinismo en la ecología

La proyección de la obra de Darwin sobre la ecología es conocida y fácil de explorar. Por ejemplo, es bien sabido que el autor inglés puso de manifiesto las similitudes estructurales en

tre los seres humanos y los mamíferos superiores, especialmente los primates. Darwin también anticipó una idea central para construir una visión ecológica del mundo: la noción de que todas las especies están entrelazadas en una «trama de la vida».¹ Hay piezas clave de la teoría darwinista de la evolución, como la descendencia con modificación, el principio de la selección natural o la lucha por la supervivencia que determina la adaptación de los organismos, que serían inconcebibles sin un marco general que permita captar cómo interactúan las diferentes especies y sin una incipiente concepción de lo que posteriormente vendría a denominarse «ecosistema». Por tanto, podemos afirmar que el concepto de interdependencia y la primacía de las relaciones entre los organismos, elementos fundamentales del enfoque ecológico, ya estaban presentes en la obra de Darwin. De hecho, el término «ecología», acuñado por Ernst Haeckel en 1866, se inspiró en las ideas darwinistas sobre la lucha por la existencia y en la noción de «economía de la naturaleza». Haeckel, en una de sus definiciones, afirmó que la ecología era «el estudio de todas aquellas interrelaciones complejas a las que Darwin se refería como las condiciones de la lucha por la existencia», aunque a Darwin le desagradaba la inclinación de Haeckel por la invención de conceptos y nunca llegó a emplear el término en sus escritos. Con todo, un epígrafe del capítulo tercero de *El origen de las especies*, titulado «Las complejas relaciones mutuas de todos los animales y

¹ Véase F. Capra, *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*, Anagrama, Barcelona, 1998.

plantas en la lucha por la existencia», expresa claramente la idea ecológica de interdependencia. La noción de un sistema biótico en equilibrio dinámico, cuyas relaciones son de tal complejidad que difícilmente pueden ser captadas en su totalidad –y, por tanto, menos aún controladas o dominadas por la mente humana– quedó pues claramente establecida en la principal obra de nuestro autor.

Darwin llega también a una conclusión central para la epistemología contemporánea que, a día de hoy, continúa siendo incomprendida por aquellos que reclaman la «prueba definitiva» de problemas ecológicos como el calentamiento climático: a saber, que las leyes biológicas son indeterminadas si las comparamos con las leyes de la física o de la química, con lo que nuestra capacidad de predicción se reduce considerablemente como consecuencia de la enorme dificultad para aislar relaciones de causa-efecto en ese entramado complejo de relaciones que se establecen entre los organismos, aun los más insignificantes, y su entorno.²

También Darwin anticipó la importancia de la diversidad biológica para el equilibrio ecosistémico. Las diferentes especies, en la lucha por la existencia, pueden crear nuevos nichos de varias maneras, no sólo buscando un espacio vital para desarrollarse, sino también acomodándose a nuevas funciones o roles dentro del ecosistema. La lucha por la existencia, pues, no implica necesariamente un enfrentamiento entre las diversas especies, sino más bien una adaptación al entorno y, lo que es aún más importante, un incremento en el número y la complejidad de las funciones que caracterizan a los ecosistemas más desarrollados.³

2 Incertidumbre inherente al desempeño del ecólogo que puede percibirse, por ejemplo, en la siguiente reflexión: «Échese al aire un puñado de plumas, y todas caen al suelo, según leyes definidas; pero ¿qué sencillo es el problema de cómo caerá cada una comparado con el de la acción y reacción de las innumerables plantas y animales que han determinado en el transcurso de siglos los números proporcionales y las clases de árboles que crecen actualmente en las antiguas ruinas indias!» (Cf. C. Darwin, *El origen de las especies por medio de la selección natural*, Madrid, 1921, vol. I, p. 72, traducción de Antonio de Zulueta). Sobre esta cuestión, véase asimismo D. Pepper, *Modern environmentalism: An Introduction*, Routledge, Londres, 1996, p. 182.

3 *Ibid.*, p. 184.

La relación entre el darwinismo y la filosofía moral y política

Estas ideas que acabo de resumir son una muestra de la influencia del darwinismo en la ecología y, por tanto, en la construcción del concepto de sostenibilidad entendida como «equilibrio ecosistémico» o «capacidad de sustentación» de los ecosistemas. Sin embargo, hemos de tener en cuenta un segundo ángulo desde el cual contemplar la relación entre el darwinismo y la sostenibilidad. Este enfoque alternativo nos permite ver cómo la noción de sostenibilidad sobrepasa los límites de la disciplina científica para remitir, en última instancia, al ámbito de la filosofía moral y política, tal y como trataré de mostrar a continuación. En principio, cabe preguntarse si podríamos afirmar que las ideas recién mencionadas son postulados científicos valorativamente neutrales que carecen de implicaciones éticas y políticas. ¿No poseen acaso una *dimensión normativa*? Tomemos como ejemplo la idea antes mencionada de la similitud estructural entre los mamíferos superiores y el ser humano.

La existencia de antecesores comunes para casi todas las especies, ¿no significa que el ser humano se ve abocado a descender de la posición de privilegio en que la religión y la filosofía lo habían encumbrado durante siglos? Cabría a su vez aducir que, aun siendo importante esta «nivelación» de los humanos con respecto al resto de organismos vivos no habría de suponer necesariamente una nivelación *absoluta*, puesto que mostrar la existencia de un origen común no conlleva negar que se haya producido una gran diferenciación a través del proceso evolutivo, sobre todo en lo que concierne a la aparición de un lenguaje *moral*, lo que para Darwin era la marca distintiva de la especie humana.⁴

Pero, con todo, las facultades morales que caracterizan a los humanos no pueden permanecer ajenas a la constatación científica

4 Darwin sostenía esta idea en la primera frase del capítulo tercero de *The Descent of Man*. Cf. C. Darwin, *El origen del hombre*, Trilla y Serra, Barcelona, 1880, p. 59.

del origen biológico común y, por tanto, a la idea de un *destino* biológico común. Parece que la percepción de ese origen y destino comunes ha de propiciar alguna clase de transformación en los valores morales. También la *indeterminación* de las leyes biológicas y la *complejidad* ecosistémica parecen remitir a una dimensión normativa. Pues los obstáculos para el conocimiento humano y la incertidumbre inherente a los procesos ecológicos se convertirían en importantes razones para adoptar un «principio de prudencia» que guíe las acciones humanas, especialmente las relacionadas con la actividad económica.

Con esto se plantea un problema que viene acuciando a la filosofía verde, y a la ética ecológica en particular, desde sus inicios en las décadas de los sesenta y los setenta del siglo XX. Se trata de determinar hasta qué punto las obligaciones morales hacia la naturaleza se desprenden *por sí solas* de los argumentos científicos proporcionados por la ecología o más bien habrían de descansar en premisas independientes propiamente éticas. Esta es una cuestión que permanece abierta y que probablemente, como tantos problemas filosóficos, no tenga una respuesta definitiva. Para algunos, deducir prescripciones éticas a partir de las proposiciones descriptivas de la ciencia es un paso necesario, mientras que para otros supone transitar indebidamente desde la esfera del ser a la del deber incurriendo en la falacia naturalista, errores lógicos que fueron hace tiempo denunciados por David Hume y George Edward Moore.⁵

Sin pretender por mi parte resolver tan controvertida cuestión, sí querría remarcar que la noción de sostenibilidad se ha materializado en formulaciones esencialmente *normativas*, como la definición de «desarrollo sostenible» contenida en el *Informe Brundtland* encargado por las Naciones Unidas en 1987. Decía el informe que «el desarrollo sostenible es el

desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades»,⁶ lo que constituye un intento de prescribir objetiva y universalmente una concepción de la justicia intergeneracional, algo así como una ampliación de los derechos humanos a la luz de los problemas ecológicos. Esta concepción de la justicia entre generaciones reconoce que las oportunidades de los humanos del futuro para satisfacer sus necesidades dependen del legado que reciban de los humanos del presente. En este sentido, vemos cómo la idea de sostenibilidad *no deriva* de un postulado científico, sino que es la consecuencia lógica de un imperativo ético *anterior* a la aparición de los problemas ecológicos aunque, evidentemente, sólo cobra significado pleno y adquiere fuerza real si partimos de un contexto de escasez proporcionado por el postulado de los límites físicos al crecimiento, postulado, este sí, fundamentado en investigaciones científicas.

Hago estas precisiones respecto al concepto de sostenibilidad con el fin de mostrar que necesariamente nos dirige hacia la dimensión práctica de la razón. La sostenibilidad, entendida como un ideal social y político, no es una cuestión a la que la ciencia pueda responder de forma definitiva. Las ciencias naturales pueden alertar de la existencia de graves problemas ecológicos recurriendo a una noción de sostenibilidad entendida como «capacidad de sustentación» de los ecosistemas, pero no pueden prescribir soluciones éticas o políticas para esos problemas. Si los humanos decidimos algún día tomar en serio la cuestión de la sostenibilidad será porque hayamos encontrado un fundamento *propriadamente moral* para hacerlo y lo hayamos convertido en un deber (como, por ejemplo, la obligación de garantizar los derechos de las generaciones futuras), y no porque la ciencia haya encontrado una solución concluyente al dilema normativo. En este punto se plantea la inquietante conclusión de que podemos aceptar la existencia de los problemas *y a pesar de ello* continuar esquilmando el planeta, sencillamente porque nuestro sistema de valores no otorga prioridad al

5 Cf. D. Hume, *Tratado sobre la naturaleza humana*, Tecnos, Madrid, 2005, Libro III, Parte I, Sección I y G.E. Moore, *Principia Ethica*, Critica, Barcelona, 2002. Aunque con términos diferentes, ambos filósofos negaban la posibilidad lógica de deducir obligaciones morales a partir de los juicios de hecho proporcionados por el conocimiento científico, lo que ha venido a conocerse como «falacia naturalista». De este modo, los juicios éticos sólo podrían fundamentarse en valores últimos propiamente morales y las proposiciones científicas no serían suficientes para sustentarlos. Por ejemplo, los derechos humanos no se deducen necesariamente de las similitudes biológicas entre los seres humanos, aunque obviamente puedan verse reforzados por ellas, sino que derivan, en última instancia, del valor concedido a la vida, la libertad y la igualdad. Afirmaciones que incurren en la falacia naturalista pueden encontrarse más adelante en la nota 18.

6 Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, *Nuestro futuro común*, Alianza, Madrid, 1998, p. 67.

deber de protegerlo. Esto implica a su vez que la idea de sostenibilidad estará sujeta a una doble incertidumbre: por un lado, la incertidumbre científica, la relativa a la interacción de los organismos en los ecosistemas complejos; por otro lado, la incertidumbre social, la que es propia de las decisiones humanas y de sus impredecibles consecuencias, sometidas a diferentes tensiones éticas y políticas.

Cabe preguntarse entonces qué podría decirnos al respecto una teoría científica como la teoría de la evolución de Darwin. Asumiendo lo que acabo de decir, en principio el darwinismo no tendría por qué conducirnos necesariamente a un compromiso moral y político con el logro o, al menos, con la persecución de la sostenibilidad ecológica como un objetivo socialmente deseable, ni tampoco en sentido contrario. Pero a pesar de todo es posible que la teoría de la evolución tenga implicaciones importantes para las actuales concepciones normativas de la sostenibilidad; pues aunque la ciencia en sí misma no nos proporcione valores ni nos diga nada acerca de cuáles son los mejores o los más correctos, sí puede ayudarnos a comprender mejor el alcance de la adopción de determinados valores y a anticipar cuáles son las probables consecuencias de defenderlos y promoverlos. En este sentido, sí puede afirmarse que la teoría de la evolución ha permitido abrir caminos no sólo para la ecología científica, sino también para la filosofía y las ciencias sociales, caminos que resultarían inimaginables para el propio Darwin y para aquellos coetáneos suyos que jamás pudieron sospechar que la actividad humana llegaría a poner en peligro la vida sobre el planeta y que sería necesario crear un concepto como el de «sostenibilidad». Pero es preciso delimitar claramente cuál es el alcance de su influencia para evitar sobreestimarla y poder esquivar los problemas asociados a la falacia naturalista que se plantearían si nos empeñamos en extraer postulados éticos a partir de la teoría de la evolución.

Para comprender mejor el problema al que acabo de referirme, voy a centrar mi atención en las ideas de algunos filósofos ecocentristas que afirman haberse inspirado en la obra de Darwin. Estos autores dan por sentado que ciertas prescripciones morales se desprenden necesariamente de los postula-

dos de la ecología científica y, por tanto, han sido criticados en numerosas ocasiones por haber incurrido en la falacia naturalista. El término «ecocentrismo» se emplea para hacer referencia a concepciones filosóficas y éticas que otorgan alguna clase de valor moral a los ecosistemas naturales en su conjunto, y no sólo a los seres humanos y sus intereses –tal y como hacen las posiciones antropocéntricas– o a los seres vivos considerados individualmente –tal y como vienen haciendo las perspectivas denominadas biocéntricas.⁷ Asumiendo la gran influencia del pensamiento de Darwin en la ecología, el ecocentrismo trata de ir más allá elaborando un nuevo paradigma ético y político que supere los presupuestos metafísicos de las visiones antropocéntricas dominantes en la filosofía y la ciencia occidentales, visiones que conciben la relación entre el ser humano y la naturaleza desde un punto de vista meramente instrumental, algo que, según el ecocentrismo, les impide afrontar la cuestión ecológica.⁸ Entre las corrientes ecocéntricas destaca la «ética de la tierra», un enfoque que tuvo como antecesor al estadounidense Aldo Leopold y que se ha desarrollado posteriormente en la obra de sus compatriotas John Baird Callcott y Holmes Rolston III.⁹

Según Leopold, ha existido un lento pero sostenido desarrollo de la conciencia moral a lo largo de los últimos tres milenios, de modo que la esfera de lo que el filósofo Kenneth Goodpaster denominó la «consideración» o «relevancia» moral ha comprendido paulatinamente a un número mayor de seres y

7 Arne Naess, fundador de la llamada «ecología profunda», es quizá, junto con Aldo Leopold, el principal impulsor de la perspectiva ecocéntrica. Su obra más significativa sería *Ecology, Community and Lifestyle*, edición de David Rothenberg, Cambridge University Press, Cambridge, 1989. Entre la bibliografía biocéntrica, destacan las obras de R. Attfield, *The Ethics of Environmental Concern*, University of Georgia Press, Athens, Georgia, 1983 y de P.V. Taylor, *Respect for Nature: A Theory of Environmental Ethics*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1986.

8 Aunque más bien habría que decir que tales presupuestos son *antimetafísicos*, si tenemos en cuenta que la filosofía moral y política antropocéntrica contemporánea se fundamenta en un pluralismo valorativo que aspira a despojar a la ética de todo fundamento metafísico propiamente dicho. En este sentido, puede afirmarse que el ecocentrismo trataría de recuperar el fundamento metafísico para la ética que el antropocentrismo habría enterrado.

9 Han sido estos autores los que han dotado a la breve y poco académica obra de Leopold de un trasfondo filosófico. La obra más significativa de Holmes Rolston III es *Environmental Ethics. Duties to and Values in the Natural World*, Temple University Press, Filadelfia, 1988. Entre las de John Baird Callcott destacan: *In Defense of the Land Ethic: Essays in Environmental Philosophy*, SUNY Press, Nueva York, 1989 y *Beyond the Land Ethic. More Essays in Environmental Philosophy*, SUNY Press, Nueva York, 1999.

objetos.¹⁰ Así, mientras que la esclavitud era contemplada en el pasado como un fenómeno «natural» –recuérdese la argumentación de Aristóteles en el Libro I de la *Política*–, actualmente no podemos afirmar que lo sea, puesto que la expansión continua de la conciencia moral ha traído con el paso de los siglos los derechos humanos y ha integrado bajo su tutela a las mujeres, los niños, los individuos de otras razas, etcétera. Este progresivo ensanchamiento de la conciencia moral nos permite ahora ser conscientes de la esclavitud a la que hemos sometido a la naturaleza, tras haberlo sido recientemente respecto de las diferentes formas de explotación humana. Según Leopold, por tanto, el proceso de evolución biológica se encuentra indisolublemente unido a una suerte de *progreso moral*¹¹ consistente en la expansión de la comunidad ética hasta abarcar suelos, aguas, plantas, animales y ecosistemas. Con ello se afianza la convicción de que los humanos somos miembros de esa «comunidad de partes interdependientes» que es el ecosistema planetario.¹² Callicott recalca que el desarrollo de esta ética holista es, para Leopold, una «adaptación favorable» de la especie humana en el proceso de evolución biológica, lo que concuerda plenamente con la visión darwinista del origen de los sentimientos morales como rasgos que proporcionan al ser humano ventajas evolutivas.

Conviene dejar claro que esta idea no guarda relación alguna con el mal llamado «darwinismo social», corriente de pensamiento que consideraba que la «lucha por la supervivencia» entre los individuos era también el principio rector de la evolución social dando lugar a la «supervivencia del más apto». Herbert Spencer, a quien deberíamos adjudicar la paternidad del darwinismo social y pasar a denominarlo «spencerismo», tal y como propuso el antropólogo Marvin Harris, rechazaría

de plano la darwiniana convicción de que el altruismo aumenta las posibilidades de adaptación de los individuos y de las comunidades e insistiría en la mejor adaptabilidad de las conductas egoístas respecto de las altruistas. Para Darwin, la historia de la humanidad no confirmaría esta tesis; pues lejos de entorpecer la lucha por la existencia, el altruismo se encontraría en el origen de la sociedad misma, siendo las facultades morales rasgos adquiridos a través de la selección natural. Decía Darwin que en los animales existen «sentimientos instintivos» que los impulsan «a vivir en comunidad». En el caso del ser humano, las facultades sociales han sido adquiridas de una forma similar, lo que «implica cierto grado de simpatía, de fidelidad y de valor».¹³

Por tanto, según Darwin, y al contrario de lo que sostenía el spencerismo –un claro ejemplo de las consecuencias nefastas de dejarse seducir por la falacia naturalista– el proceso de selección natural no procede de igual modo en lo que atañe a la conducta moral, relacionada exclusivamente con el proceso de evolución social, que en lo referente a la transmisión de los rasgos biológicos, pues difícilmente la simpatía, la fidelidad o el valor podrían ser objeto de transmisión biológica hereditaria. En este sentido, Callicott vincula las tesis darwinistas acerca del origen de la moral presentes en la obra de Leopold con la ética de los filósofos David Hume y Adam Smith.¹⁴ Los individuos aprenderían, en primer lugar, que la ayuda mutua procura ventajas, lo que afianza la simpatía. Las relaciones paternofiliales, propias de los mamíferos, ponen los cimientos del altruismo, y la formación de grupos de parentesco constituye el germen de las facultades intelectuales necesarias para el desarrollo del lenguaje, que permite la expresión de la opinión común y la habituación a pautas de conducta beneficiosas para el grupo. Posteriormente, las virtudes sociales se extienden mediante la aprobación o la censura manifestada por nuestros semejantes. La ética propiamente dicha, según Darwin, perma-

10 Cf. K. Goodpaster, «On Being Morally Considerable», *Journal of Philosophy* 75, 1978, pp. 308-325.

11 Cf. A. Leopold, *Una ética de la tierra*, Los Libros de la Catarata, Madrid, 2000, p. 134 (edición a cargo de Jorge Riechmann): «Esta ampliación de la ética, hasta ahora estudiada sólo por los filósofos, es en realidad un proceso en la evolución ecológica. Sus pasos pueden describirse en términos tanto ecológicos como filosóficos. Desde el punto de vista ecológico, una ética consiste en cierta limitación de la libertad de acción en la lucha por la existencia. Filosóficamente, la ética consiste en cierta diferenciación entre conducta social y antisocial».

12 *Ibid.*, p. 135.

13 Cf. C. Darwin, *El origen del hombre*, *op. cit.*, p. 139.

14 J.B. Callicott, «The Conceptual Foundations of the Land Ethic», en *In Defense of the Land Ethic*, *op. cit.*, pp. 75-99 y «Holistic Environmental Ethics and the Problem of Ecofascism», en *Beyond the Land Ethic*, *op. cit.*, pp. 59-76.

necería entonces arraigada en los sentimientos morales o sociales que fueron, al igual que las facultades físicas, seleccionadas naturalmente debido a las ventajas que proporcionaron para la supervivencia del grupo. Ambas dimensiones de la conducta social, la aprobación y la censura, están en la base de la regla de oro de la moral: tratar a los demás como uno quiere que le traten. Así, afirmaba Darwin:

Lo que constituye en conjunto nuestro sentido moral o conciencia, es un sentimiento complicado, que nace de los instintos sociales; está principalmente dirigido por la aprobación de nuestros semejantes; lo reglamenta la razón, el interés, y en tiempos más recientes, los sentimientos religiosos profundos; y lo fortalece la instrucción y el hábito.¹⁵

La conexión entre Darwin y Leopold subrayada por Callicott es, por tanto, evidente. Si la conducta moral tiene su origen en la tendencia de individuos o grupos a desarrollar modos de cooperación, entonces toda ética descansa en una sola premisa: que el individuo es miembro de una comunidad de partes interdependientes. El desarrollo de la ética y el desarrollo de la comunidad son fenómenos correlativos.¹⁶ El proceso de selección natural actúa favoreciendo a aquellos grupos humanos más amplios y mejor cohesionados, de modo que cada ampliación del grupo –el paso del clan a la tribu, a la nación, a la república, a la humanidad en su conjunto– se corresponde con una expansión de la comunidad moral de referencia y por consiguiente del alcance de las obligaciones morales. Aquí se percibe claramente la influencia de Hume sobre Darwin, a juicio de Callicott, y de ambos, a su vez, sobre Leopold.

La idea clave, por tanto, es que los cambios sociales promueven cambios morales. Así, por ejemplo, el surgimiento de una comunidad global ha dado lugar a la ética de los derechos humanos. Desde la perspectiva evolucionista de Darwin, nos dice Callicott, el ideal de los derechos humanos sería una respues-

ta a la percepción de la existencia de una comunidad humana planetaria. El paso siguiente sería la ética de la tierra: un ideal de comunidad universal formada por el conjunto del planeta que se sigue necesariamente de la percepción de la interdependencia biótica proporcionada por la ecología científica. Así, afirma Callicott, «una vez que la tierra sea percibida popularmente como una comunidad biótica –tal y como es percibida profesionalmente por la ecología– emergerá una correlativa ética de la tierra en la conciencia cultural colectiva».¹⁷ De donde se sigue que el camino hacia la ética de la tierra no es otro que la promoción de la alfabetización ecológica.

La ética de la tierra, asegura Callicott, «está expresamente informada por la ecología y refleja una cosmovisión ecológica».¹⁸ Pero lo que esto significa es que la ética de la tierra se propone *derivar* principios morales a partir de postulados científicos o, en otras palabras, *deducir* juicios de valor a partir de juicios de hecho. En ocasiones, no se limita a invocar el evolucionismo darwinista para explicar *cómo se han formado* los valores morales, sino que trata de establecer *cómo deberían formarse*. No es extraño pues que las acusaciones de incurrir en la falacia naturalista hayan acompañado siempre al ecocentrismo. Así, la máxima citada por los seguidores de Leopold –«algo es correcto cuando tiende a preservar la integridad, estabilidad y belleza de la comunidad biótica. Es incorrecto cuando tiende a otra cosa»–¹⁹ ha sido a menudo interpretada como una formulación de dicha falacia.²⁰

17 J.B. Callicott, «The Conceptual Foundations of the Land Ethic», en *In Defense of the Land Ethic*, op. cit., pp. 81-82, traducción mía.

18 J.B. Callicott, «Holistic Environmental Ethics and the Problem of Ecofascism», en *Beyond the Land Ethic*, op. cit., p. 69. Afirmaciones similares las encontramos en la obra de Holmes Rolston III (cf. «Ética ambiental: valores en el mundo natural y deberes para con él», en Margarita Valdés (comp.), *Naturaleza y valor. Una aproximación a la ética ambiental*, UNAM-FCE, México D.F., 2004, pp. 82, 84 y 90): «Una especie existe; la especie debe existir. La ética ambiental debe hacer estas aseveraciones y pasar cautelosamente de la biología a la ética»; «La unidad idónea de sobrevivencia (sic) es el nivel apropiado para la importancia moral»; «El desafío es encontrar un modelo claro de comunidad y descubrir una ética para él; una mejor biología para una ética mejor».

19 A. Leopold, *Una ética de la tierra*, op. cit., p. 155.

20 Para ser justos con Leopold, habría que decir que no era un filósofo moral familiarizado con las disputas en torno a la falacia naturalista y que la máxima, fuera de su contexto, se presta fácilmente a ser malinterpretada. Da la impresión de que, para Leopold, el único criterio legítimo de corrección moral sería aquel que viniera derivado de las exigencias del equilibrio ecosistémico y que, en última instancia, habría de ser establecido por los científicos de la ecología. El riesgo de incurrir en la defensa de una ingeniería social en la que una casta de científicos determinaría lo

15 C. Darwin, *El origen del hombre*, op. cit., p. 142.

16 J.B. Callicott, «Holistic Environmental Ethics and the Problem of Ecofascism», en *Beyond the Land Ethic*, op. cit., pp. 64-66.

La consecuencia indeseada de una teoría ética construida sobre la falacia naturalista es que los diferentes criterios de valoración social —ecológicos, económicos, éticos y estéticos— quedan supeditados a una interpretación específica de la «corrección ecológica», lo que a su vez podría servir de sustento a una «ingeniería social» verde de tintes autoritarios. Los seguidores de Leopold no han hecho sino reforzar esta ambigüedad que, a buen seguro, es inherente a los planteamientos ecocéntricos, por cuanto en ellos los intereses de los ecosistemas se sitúan *por delante* de los intereses de los organismos particulares, incluidos los organismos humanos. El propio Callicott era consciente de ello cuando afirmaba que:

La principal fuerza de la ética de la tierra es su holismo, pero también es su principal desventaja. Recordemos que, según Leopold, la biología evolutiva y ecológica revela que «la tierra es una comunidad a la que pertenecemos», no «una mercancía que nos pertenezca», y que desde el punto de vista de una ética de la tierra, no somos sino «miembros de a pie y ciudadanos de la comunidad biótica». Parecería entonces que la máxima moral de la ética de la tierra ha de aplicarse al *Homo sapiens* en la misma medida que a otros miembros y ciudadanos de la comunidad biótica.²¹

Esto implicaría, por ejemplo, que la población humana habría de reducirse drásticamente, puesto que su volumen actual es una clara amenaza para la integridad, la belleza y la estabilidad de la comunidad biótica. Seguir la máxima de Leopold al pie de la letra, implicaría tomar con respecto a los seres humanos las mismas medidas de limitación y contención que tomamos con

que es moral y políticamente correcto planea entonces sobre la ética de la tierra, y de hecho ésta ha sido una acusación a la que Callicott ha tenido que hacer frente de continuo. Pero, como acabo de decir, si se lee la máxima en su contexto se advierte que Leopold sólo pretendía contrarrestar el predominio de los criterios de racionalidad económica en la relación del ser humano con la naturaleza. Integrar otros criterios —ecológicos, éticos y estéticos— en la valoración social del mundo no humano es la principal reivindicación del pensamiento verde en general y es, a pesar de que a menudo no se subraye lo suficiente, el significado normativo fundamental que subyace a la noción de sostenibilidad. Basta con leer las palabras que anteceden inmediatamente a la máxima para advertir que seguramente Leopold no era consciente de estar incurriendo en la falacia naturalista: «El pivote que hay que mover para poner en marcha el proceso de evolución que conduciría a una ética de la tierra es simplemente este: dejar de pensar que el uso adecuado de la tierra es sólo un problema económico. Examinar cada cuestión en términos de lo que es correcto desde el punto de vista ético y estético, además de lo que conviene económicamente».

21 J.B. Callicott, «Holistic Environmental Ethics and the Problem of Ecofascism», en *Beyond the Land Ethic*, op. cit., p. 70, traducción mía.

otros organismos, tal y como han reiterado los críticos de la ética de la tierra, quienes han definido con frecuencia a sus defensores como «fascistas ecológicos» por subordinar el bienestar y los derechos de los individuos al equilibrio de la comunidad biótica.

Callicott ha defendido la posición de Leopold afirmando que este en ningún momento trató de sustituir la ética de los derechos humanos por la ética de la tierra, sino que concebía esta como una ética *adicional*, un acrecentamiento de los deberes y obligaciones humanos hacia el mundo que nos rodea.²² Cumplir con las obligaciones hacia los ecosistemas no nos liberaría de cumplir con los deberes estipulados hacia nuestros semejantes. Ahora bien, es evidente que tales obligaciones pueden entrar en conflicto con relativa frecuencia y en ese caso la ética de la tierra debe explicitar cuál ha de ser el orden de prioridad de los diferentes criterios a la hora de tomar decisiones. Callicott se ha encargado de elaborar dos «principios de segundo orden» cuya finalidad es responder a los dilemas que pudieran surgir al respecto. El primero de tales principios establece que las obligaciones impuestas por la pertenencia a una comunidad más «venerable» o cercana al individuo (por ejemplo, los deberes familiares) preceden a las que se generan en las comunidades más impersonales o que se han formado posteriormente (por ejemplo, los deberes ciudadanos). El segundo prescribe que los intereses más fuertes dan lugar a deberes que tienen prioridad sobre los generados por intereses más débiles. Ambos principios han de combinarse de modo que «cuando los deberes ecológicos entren en conflicto con los deberes hacia los individuos humanos, y los intereses ecológicos en cuestión sean significativamente más fuertes que los intereses individuales humanos en juego, tengan prioridad los primeros».²³

Hay una segunda objeción al empleo del darwinismo por parte de la ética de la tierra, pues aunque pueda resultar un enfoque plausible para explicar el origen de las facultades morales

22 *Ibid.*, p. 71.

23 *Ibid.*, p. 76, traducción mía.

plantea serias dudas a la hora de hacer otro tanto con el *desarrollo* o el *progreso moral*. Pues si la expansión de la comunidad moral dependiera necesariamente de la «aprobación de nuestros semejantes» y el sentido moral se fortaleciera solamente mediante el «hábito», difícilmente habría llegado a producirse progreso alguno. Aun aceptando que la moral proporciona ventajas adaptativas, es evidente que las sucesivas ampliaciones de la comunidad moral han sido más bien fruto de la *disidencia* de individuos y grupos con respecto a la moral dominante, como puede comprobarse haciendo un repaso de la historia de la humanidad. ¿Se habrían producido las luchas sociales y políticas de los últimos dos siglos –las revoluciones burguesas, el movimiento obrero, los movimientos sufragistas, las reivindicaciones de derechos para las minorías raciales, los procesos de descolonización e incluso el propio movimiento ecologista– si tales grupos hubieran perseguido la «aprobación» de la comunidad?

Parece claro que tales movimientos no responden tan sólo a un impulso relacionado con la «simpatía» –el disidente suele resultar «antipático» para gran parte de los miembros de la comunidad– sino a un planteamiento *racional* de las cuestiones éticas, en el sentido del término que remite al ejercicio de una facultad *crítica*, cuya fuente última no es otra que la *conciencia individual*. Bien es cierto que el paso del tiempo puede convertir las convicciones del disidente minoritario en valores colectivos mayoritariamente aceptados. Pero si la moral proporciona cohesión y esta otorga a su vez ventajas adaptativas, la disidencia conflictiva, en primera instancia, sólo podría acarrear problemas de supervivencia para el grupo. El defensor de esta clase de evolucionismo social podría aún recurrir a un último ejercicio de funambulismo, argumentando que el ejercicio de la disidencia ideológica y moral constituye también un rasgo que posibilita una mejor adaptación evolutiva para los grupos que la adoptan y estimulan, pero entonces claramente nos encontraríamos ante una teoría que trata de explicar fenómenos contradictorios e incompatibles, es decir, una teoría que podría considerar cualquier resultado evolutivo como una «ventaja adaptativa».

El darwinismo generalizado y la idea de coevolución en la teoría social

La respuesta de Callicott a las críticas es una buena muestra de las complicaciones inherentes al naturalismo ético pues, a pesar de sus reformulaciones, la ética de la tierra no despeja la sospecha de que la identidad del sujeto moral quedaría preocupantemente diluida. Y si algo exige la noción de sostenibilidad ecológica es, precisamente, el reforzamiento del sujeto moral y este, aunque pese a los ecocentristas, será siempre el individuo humano (al menos mientras que la evolución biológica o el contacto con seres extraterrestres no nos permita reconocer otra clase de sujetos morales). Podríamos adaptar un viejo dicho y afirmar que para viajar hacia la sostenibilidad ecológica no precisamos de las alforjas del naturalismo ético ecocentrista, puesto que el compromiso moral con la sostenibilidad puede alcanzarse a través de argumentaciones de carácter antropocéntrico, como la ya citada obligación de respetar los derechos de las generaciones futuras. Es cierto que las ideas de Darwin acerca del origen y el desarrollo de las facultades sociales y morales se prestan a ambiguas interpretaciones pero, obviamente, no podemos afirmar que el autor británico sea responsable de ellas. Sucede, sencillamente, que hemos de ser cautos a la hora de *traducir* las consecuencias que tienen para la ética los principios de la teoría de la evolución, tal y como hemos podido comprobar al ocuparnos de la cuestión del progreso y el papel que en él desempeñan el individuo y la conciencia moral.

Así pues, más le valdría a la ética, como ha podido comprobarse en el pasado siglo, prescindir de los supuestos apoyos normativos que cree encontrar en el discurso científico y tratar de construir sus proposiciones sobre fundamentos propiamente morales. La aceptación de esta premisa no implica que tengamos que renunciar a una fructífera interacción disciplinar entre las ciencias naturales, las ciencias sociales y la filosofía que nos permita comprender mejor ciertos problemas, entre ellos los ecológicos. En este punto es importante destacar

una proyección reciente del evolucionismo darwinista, el denominado «darwinismo generalizado»,²⁴ un enfoque que aspira a edificar un modelo teórico general que facilite el reencontro de las ciencias naturales y las ciencias sociales, sometidas a un proceso gradual de «balcanización» durante el siglo XX y que no persigue, como el ecocentrismo, una refundación de la moral sobre presupuestos naturalistas. El darwinismo generalizado, tal y como es defendido por los economistas Hodgson y Knudsen, sostiene que tanto en la naturaleza como en las sociedades humanas encontramos sistemas evolutivos complejos y que los principios darwinistas de variación, selección y herencia son los únicos que pueden explicar la evolución de los sistemas y las instituciones sociales. Esto no significa que el darwinismo pueda explicarlo *todo* acerca de tales sistemas e instituciones. Simplemente, constituye un marco general dentro del cual pueden desarrollarse teorías más específicas del cambio social.

Un concepto central para el darwinismo generalizado es el de «coevolución». El término coevolución se emplea, de forma genérica, para hacer referencia a la interacción entre las instituciones humanas y el contexto biofísico en el que estas se desarrollan.²⁵ Más concretamente, la «coevolución darwinista» se aplica a sistemas complejos de población en los que distintos organismos luchan por la supervivencia frente a recursos escasos, entendiendo por escasez una falta de disponibilidad inmediata que exige esfuerzo por parte de los agentes y les impone costes. Dentro de los sistemas complejos, ya sean biológicos o sociales, encontramos una amplia variedad de entidades que interactúan con una limitada capacidad para absorber energía y materiales del entorno así como para procesar información. Esos procesos de interacción producen con frecuencia resultados no deseados y muestran propiedades que no se corresponden con las de las entidades individuales que forman el sistema.

La idea de coevolución no guarda relación alguna con el spencerismo anteriormente mencionado, pues los fenómenos socioeconómicos no pueden explicarse en términos puramente biológicos. Por ejemplo, el principio de variación en la evolución social no contempla mecanismos como la recombinación genética o las mutaciones. En los sistemas biológicos, las unidades básicas de la transmisión de información, regida por el principio de herencia, son los genes y el ADN. En los sistemas sociales, el proceso de transmisión de información y el principio de selección operan mediante la reduplicación de hábitos, normas y costumbres. Es importante tener en cuenta que los principios darwinistas no son «leyes» que puedan predecir la conducta real de los actores. Solamente proporcionan un marco teórico para comprender que las sociedades humanas están imbricadas en el mundo natural y que dependen de él para su supervivencia, desafiando con ello la convicción generalizada entre muchos científicos sociales de que los fenómenos sociales y biológicos son esencialmente diferentes, y por tanto deben analizarse separadamente.

Asimismo, hay que tener en cuenta que los resultados de los procesos de selección no son necesariamente morales o justos, ni óptimos o cercanos a lo óptimo, lo que significa que en el enfoque coevolucionista las nociones de evolución y progreso (esta última, como ya hemos visto, posee una importante carga moral) no se entremezclan. Los resultados de esos procesos pueden suponer un retroceso respecto a instituciones o pautas de conducta anteriores y conducir reiteradamente a errores sistemáticos. No hay, pues, una ciega teleología o, en términos hegelianos, una «astucia de la razón» que opere en la historia. Esto tiene una enorme importancia, puesto que una crítica habitual a los enfoques evolucionistas en ciencias sociales ha sido la incapacidad para afrontar la cuestión de la intencionalidad de la acción humana, la concepción un tanto «ciega» del proceso evolutivo (fijémonos en la trascendencia que esto tiene para el libre albedrío y, por tanto, para la ética). El darwinismo no excluye la conducta calculadora ni las disposiciones deliberativas de los seres humanos, tan sólo reclama para ellas una explicación causal.

²⁴ Cf. M. G. Hodgson y T. Knudsen, «Why We Need a Generalized Darwinism, and Why Generalized Darwinism Is Not Enough?», *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2006, vol. 61, pp. 1-19.

²⁵ G. M. Hodgson, «Darwinian Coevolution of Organizations and the Environment», *Ecological Economics*, 69, 4, 2010, pp. 700-706.

La «selección artificial» producida por los humanos es a su vez concebida como un producto de la evolución. Sucede que las diferentes instituciones o sociedades resultantes de ella también se ven sometidas a un proceso de selección que hace que, a menudo, y a pesar de las intenciones humanas, algunas instituciones sobrevivan y otras no puedan hacerlo. Los fenómenos naturales y otras fuerzas pueden influir en el resultado de esa selección. En otras palabras, también las acciones humanas intencionales, que podríamos considerar como «selección artificial», han de probarse en el entorno y entrar a formar parte de un proceso que, a su vez, generará nuevas acciones intencionales.²⁶

Conviene insistir en que la importancia del enfoque coevolucionista para la cuestión de la sostenibilidad reside en el hecho de que proporciona un marco para comprender mejor a qué nos enfrentamos, pero en ningún caso podemos *deducir a partir* de dicho marco postulados éticos. Estos son, en cierto sentido, *anteriores*: el enfoque puede ayudarnos a replantear el alcance de nuestros deberes en la medida en que permite debatir acerca de la forma de garantizar unos valores determinados. Por ejemplo, hasta hace poco tiempo casi nadie objetaba que la mejor forma de asegurar los derechos de las generaciones futuras era propiciar un rápido crecimiento económico, algo que ahora sí se pone en duda. Pero el respeto de tales derechos sigue siendo un objetivo irrenunciable. Así pues, el terreno donde el enfoque coevolucionista se muestra más fructífero es en el ámbito de la ciencia social, concretamente en la denominada economía ecológica. La teoría coevolucionista permite evaluar cómo las diferentes políticas que dan forma al proceso de evolución cultural –del

que forma parte la economía como disciplina científica– influyen en los procesos de evolución biológica y cómo ello afecta a su vez a los sistemas culturales actuales y futuros.²⁷

Teniendo en cuenta la afección sobre los procesos biológicos ejercida por la actividad económica en los últimos dos siglos, sobre la idea de coevolución se ha sustentado una crítica de los enfoques dominantes en la ciencia económica que señala las limitaciones de la concepción del ser humano y de la naturaleza en las que descansan. La visión neoclásica, por ejemplo, evalúa las políticas ambientales en términos de utilidad individual, traduciendo esta en valoraciones monetarias e ignorando la importancia de la educación de las personas así como el ajuste de valores y prioridades necesario para aproximarnos a la sostenibilidad. El criterio de la «soberanía del consumidor», basado en las preferencias existentes o «reveladas», no advierte que tales preferencias, así como los fines que los individuos persiguen, están moldeados por un contexto cultural e institucional más amplio, ignorando cuestiones morales fundamentales inherentes a los males ecológicos. Esto conduce a problemas de inconmensurabilidad derivados de la falta de una «métrica común» a la racionalidad económica y a la racionalidad ecológica que la primera tiende a desdeñar o a resolver con las herramientas inadecuadas. La concepción de los agentes humanos propia de la ciencia económica ha de ser, por tanto, consistente con nuestra comprensión de la evolución humana. La petición de explicaciones respecto del *origen* de las disposiciones, el pensamiento y la conducta humanas, específica del enfoque darwinista, acentúa aún más las insuficiencias del modelo del *Homo economicus* inscrito en la corriente dominante de la economía, puesto que las preferencias individuales no pueden ser tomadas sin más como «algo dado».

Otro punto clave en el que el enfoque darwinista de la coevolución muestra sus implicaciones para la ciencia económica tiene que ver con las cuestiones relativas al diseño institucional

26 Cf. G. M. Hodgson y T. Knudsen, «Why We Need a Generalized Darwinism, and Why Generalized Darwinism Is Not Enough?», *op. cit.*, p. 112, traducción mía: «La intencionalidad tendría poca consistencia a menos que estuviera guiada por el conocimiento y la experiencia anteriores que, a su vez, están necesariamente constituidos por los hábitos y los instintos individuales. Así, para explicar por qué quienes toman las decisiones persiguen determinados resultados, por qué a veces continúan persiguiéndolos a pesar de la retroalimentación negativa y por qué los errores sistemáticos a menudo continúan llevando a resultados inintencionados o indeseados, es importante entender cómo las intenciones se construyen sobre los hábitos y los instintos anteriores. En las ciencias sociales a menudo se da por sentado que la existencia de una intencionalidad humana es suficiente para explicar la acción, sin probar las causas que se encuentran tras las intenciones mismas. El darwinismo no niega la creencia, la elección, la conducta orientada a fines o la capacidad de previsión: simplemente afirma que todas ellas también están causadas y que merecen una explicación. En realidad, el darwinismo tiene un papel importante a la hora de explicar cómo los agentes formulan y revisan objetivos, cómo los agentes generan nuevas alternativas y por qué la conducta orientada a fines conduce a menudo al fracaso».

27 M. A. Gual y R. B. Norgaard, «Bridging Ecological and Social Systems Coevolution: A Review and Proposal», *Ecological Economics* 69, 4, 2010, pp. 707-717.

apropiado para establecer incentivos consistentes con objetivos ambientales y para tratar con alteraciones imprevistas. La *diversidad institucional* para afrontar desarrollos evolutivos complejos en sistemas naturales es igualmente fundamental, como muestran los trabajos de Elinor Ostrom acerca de la necesidad de revitalizar los regímenes de propiedad comunal y la insuficiencia de las soluciones privatizadoras de los recursos.²⁸

En definitiva, el darwinismo generalizado ha de servir para identificar los mecanismos de selección de los patrones de conducta humana, mecanismos sociales mediante los cuales se transmiten e imponen los incentivos que promueven ciertos rasgos culturales, desplazan otros y, por tanto, establecen jerar-

quías sociales de valores. Algunos rasgos culturales pueden ser deseables a corto plazo pero desastrosos a medio o largo plazo y el darwinismo generalizado puede desempeñar un papel decisivo para comprender cómo tales rasgos determinan nuestra relación con la naturaleza y para contemplar diferentes alternativas para modificarlos, que es lo que en última instancia nos plantea el desafío de la sostenibilidad. Pero la decisión final de afrontar tal desafío solamente puede apelar a valores que no vendrán proporcionados por ningún discurso científico, sino por un ejercicio de las facultades críticas de la razón práctica que nos permita fundamentar obligaciones hacia los seres humanos presentes y futuros y, subsidiariamente, hacia el resto de seres vivos y los ecosistemas.

²⁸ Cf. E. Ostrom, *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge, 1990.

Darwin y la ética. Implicaciones morales del evolucionismo

Paula Casal

Investigadora de ICREA
Universitat Pompeu Fabra

«My theory will lead to a new philosophy»
Charles Darwin, *Notebooks*, 1837

Introducción

El origen de las especies mediante la selección natural ha sido la obra en ciencias naturales que ha tenido un mayor impacto sobre las ciencias no naturales. Charles Darwin ha sido el científico más atacado y al que se han atribuido más implicaciones éticas y políticas, tanto de izquierda como de derechas. La primera mitad de este trabajo recoge las múltiples implicaciones ideológicas que se han atribuido al darwinismo. Mi conclusión es que ninguna tiene mucho fundamento y que el darwinismo no es de derechas, ni de izquierdas. Esto no significa, no obstante, que carezca de implicaciones éticas. Por ello, dedico la segunda parte al impacto que la perspectiva evolucionista está teniendo hoy en día en el desarrollo de la filosofía moral. La relevancia del darwinismo es quizá más evidente para el gran público en el terreno de la bioética, en el que se ha desarrollado, por ejemplo, el Proyecto Gran Simio. No obstante, el darwinismo también puede tener relevancia a nivel normativo, y más todavía, según algunos autores, a nivel metaético.

Implicaciones éticas que se han atribuido al darwinismo

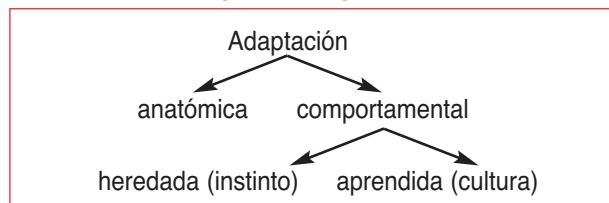
Darwin y Platón

Charles Darwin no sólo revolucionó la biología. Tuvo también una gran influencia en las ciencias no naturales, incluida la historia, la psicología, la antropología, la sociología, la economía y, por supuesto, la filosofía. Por ejemplo, su hallazgo de las leyes que explican la evolución alimentó el deseo (pre-existente) de encontrar leyes universales de desarrollo histórico; su análisis de la adaptación hizo que empezásemos a ver nuestro cerebro como un órgano adecuado para resolver los problemas de supervivencia de nuestros antepasados y desarrollásemos la psicología evolutiva; la idea de una diferenciación gradual que lleva a la incompatibilidad (entendida como imposibilidad de intercambio de información) se aplicó también al estudio de las lenguas; y su modelo de variación y filtro se empleó para estudiar la competencia entre empresas, entre rasgos culturales (memes) e innovaciones técnicas (temes). Naturalmente, la teoría se usó también

para estudiar la evolución de nuestra especie, no sólo desde el punto de vista anatómico, sino también cultural.

Darwin explicó cómo las especies se adaptan a su medio mediante transformaciones en su fisiología. Por ejemplo, desarrollan más pelo para resistir el frío o adquieren cierta pigmentación para camuflarse mejor. Los más abrigados y camuflados viven y se reproducen más, hasta que todos los miembros de la especie cuentan con suficiente abrigo y camuflaje como para sobrevivir y reproducirse. Las especies también pueden adaptarse sin cambiar anatómicamente, modificando su comportamiento. Por ejemplo, pueden volverse nocturnas o avanzar en fila. El comportamiento a su vez puede ser fruto de un instinto o troquelado y heredarse *genéticamente*, o puede ser aprendido, de las madres o del grupo, y ser transmitido *culturalmente*. Desde esta perspectiva, la cultura es una forma de adaptarse al medio, tanto como lo son el pelo o las manchas oscuras.

Figura 1.
Tipos de adaptación



Ya Platón, Aristóteles e Hipócrates habían relacionado el clima y la geografía con la cultura y la forma de gobierno de cada región. También Montesquieu relacionaba los factores geográficos con la religión en sus *Cartas persas*. Pero no fue hasta que surgió, por un lado, el marxismo y por otro el darwinismo, que las sociedades empezaron a estudiarse de forma sistemática como formas de adaptación a determinada zona del planeta.¹

Esta idea ha dado lugar a muchas escuelas en antropología, como la ecología cultural de Julian Steward de los años treinta

o el materialismo cultural contemporáneo de Marvin Harris. Esta perspectiva incluye trabajos que emplean términos marxistas, como el estudio de los pigmeos mbuti de Maurice Godelier, y análisis basados en los medidores ecológicos y calóricos propios de la ecología funcional, como el conocido estudio de los maring-tsembaga de Roy Rappaport.² Muchos de los trabajos desarrollados por algunas de estas escuelas —que a veces reciben el nombre colectivo de «antropología ecológica»— han sido acusadas de simplificar en exceso las culturas, que suelen contener elementos no funcionales.³ También se ha criticado su incapacidad de explicar por qué un grupo adopta una forma de sobrevivir concreta, cuando hay muchas formas posibles, compatibles con un mismo medio.⁴ Suele faltar también la explicación de un mecanismo mediante el cual aquello que permanece porque resulta funcional, surge por primera vez.⁵ El enfoque tiene sus limitaciones, pero no carece por ello de interés y plausibilidad. Las culturas que dependen de su capacidad de usar la selva sin destruirla, como los mbuti, suelen tener una ética que subraya la importancia de respetar la naturaleza. En cambio, otras culturas que no parecen inmediatamente por el hecho de destruir el medio ambiente, se caracterizan más bien por su falta de ética ecológica.⁶ Todos hemos comentado alguna vez el efecto del clima sobre el carácter de las personas o hemos visto la relación entre las distintas viviendas y el medio en que se construyen. Este es el tema del cuento infantil *The Little Boy and His House*, que fue el

¹ Véase P. Casal, «Determinismo tecnocológico» accesible en http://www.ucm.es/info/eurotheo/diccionario/D/determinismo_tecnoco.htm.

² Véase M. Godelier, *Perspectives in Marxist Anthropology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1977 y Roy Rappaport, *Cerdos para los antepasados*, Siglo XXI, Madrid, 1987.

³ Véase D. Hardesty, *Antropología ecológica*, Bellaterra, Barcelona, 1979 y A. P. Vayda y B. McCay, «New Directions in Ecology and Ecological Anthropology», *Annual Review of Anthropology* 4, 1975.

⁴ No hemos logrado siquiera explicar las culturas chimpancé a través de las diferencias en abundancia de población, agua, comida o algún otro factor ecológico. Véase R. Wrangham, W. C. McGrew, F. B. M. de Waal y P. G. Heltne, *Chimpanzee Cultures*, Harvard University Press, Cambridge, 1996, p. 10.

⁵ Por ejemplo, Harris ha explicado cómo en un país tan superpoblado y desigual como la India, el desarrollo de la industria cárnica sería ecológicamente desastroso. Pero no ha explicado cómo surgió el tabú de las vacas sagradas, que fue inventado por los militares para proteger a sus animales. Véase P. Diener, D. Nonini y E. E. Robkin, «The Dialectics of the Sacred Cow: Ecological Adaptation versus Political Appropriation in the Origins of India's Cattle Complex», *Dialectical Anthropology* 3, 1978.

⁶ Véase J. Diamond, *Collapse*, Viking Press, Nueva York, 2005.

favorito de G. A. Cohen en su infancia, inspirando su reconstrucción del materialismo histórico en forma de determinismo tecno-ecológico.⁷

Darwin y Hitler

Además de ser el científico natural con mayor impacto en las ciencias no naturales, Darwin ha sido también el más criticado y atacado. También ha sido el más defendido, pero sin duda es el científico al que se han atribuido más implicaciones morales o corrientes ideológicas, incluidas las más extremas y de signo contrario.

La apelación a lo que ocurre entre los animales salvajes para justificar el dominio de unas personas sobre otras debe ser tan antigua como la civilización. Antes de que se publicase *El origen*, ya sabíamos que los lobos no eran vegetarianos y ya se decían cosas como que «el pez grande se come al chico» o que «la naturaleza tiene rojos los dientes y las garras».⁸ Sin embargo, hay un empeño tremendo en atribuir exclusivamente a Darwin estas ideas.

Cuando Darwin era pequeño, ya existía, por ejemplo, la idea de que los niños nacían con tendencias heredadas al crimen o la santidad y que ello podía verse en su rostro —una teoría excelente para justificar el fracaso educativo y eximir a cualquiera de toda responsabilidad social. El mismo Darwin fue víctima de estas creencias. Como relata en su *Autobiografía*, a pesar de haber demostrado siempre más interés por los escarabajos que por las sagradas escrituras, fue enviado a la universidad para estudiar teología y hacerse sacerdote, entre otras cosas, porque un experto frenólogo dictaminó que tenía el «bultito de la devoción suficientemente desarrollado como para diez sacerdotes».⁹

Herbert Spencer, contemporáneo de Darwin, combinó los prejuicios de su tiempo con su interpretación de la selección natural como «la supervivencia del más fuerte» y empleó todo ello para justificar una política reaccionaria que recomendaba que se abandonase a los débiles a su suerte, porque había que dejar que la naturaleza siguiese su cauce, filtrase a los inservibles y mejorase la raza. Esta idea supone una correlación sistemática entre genes y pobreza que es muy improbable en sociedades profundamente estratificadas, con posiciones y fortunas hereditarias, discriminación y desempleo estructural. La aptitud es además siempre relativa a un sistema: un mal *wall streeter* puede resultar un exitoso *apparatchik*. Además puede que exista una correlación inversa entre riqueza y genes porque cuanto más rico es uno, más probable es que sobreviva y se reproduzca, pese a sus malos genes. Varias creencias anteriores a Darwin, y que este vino a padecer, no a defender, referentes a la primacía de lo heredado sobre lo aprendido o de lo fisiológico sobre lo comportamental confluyeron con el spencerismo dando lugar a nuevas malinterpretaciones. La misma expresión «la supervivencia del más fuerte», acuñada por Spencer, es una forma muy inexacta de referirse a «la supervivencia del *suficientemente adaptado* para sobrevivir» porque la supervivencia es una cuestión de mínimos, no de máximos, y porque la fortaleza sólo es *una* de las muchas estrategias mediante las que un individuo puede sobrevivir y tener éxito reproductivo, e incluso puede ser perjudicial. El virus o parásito más fuerte, por ejemplo, es el que mata a su víctima, y con ello reduce su propia probabilidad de sobrevivir y multiplicarse. Hay, además, estrategias como el apoyo mutuo y la cooperación, que como observó el propio Darwin, y luego Thomas Huxley en *Evolución y ética* (1893), y sobre todo Peter Kropotkin en *Ayuda mutua* (1902), son indispensables para explicar la evolución, que no responde sólo a la lucha y la competencia.¹⁰

Darwin rechazó las extrapolaciones de Spencer y aclaró repetidamente que una cosa era la biología y otra la ideología. Lo que Darwin descubrió es que las jirafas no han desarrollado su

⁷ Véase G.A. Cohen, «Restricted and Inclusive Historical Materialism», en *History, Labour and Freedom*, Clarendon Press, Oxford, 1988.

⁸ A. Tennyson, *In Memoriam* (o *The Way of the Soul*) 1850.

⁹ C. Darwin, *Autobiography*, párrafo 45, accesible en http://www.stephenjagould.org/library/darwin_autobiography.html.

¹⁰ P. Kropotkin, *Mutual Aid* (Londres: Hineman, 1902), cap. 1.

largo cuello a base de estirarlo. Lo que ha ocurrido es que las de cuello corto sobrevivieron y se reprodujeron menos que las que podían comer también las hojas altas. Los bebés de los atletas olímpicos no nacen ya con gruesos bíceps. Lo que hacen los padres –salvo en algún caso, como el del consumo de drogas– no incide directamente sobre su herencia genética. ¿Qué implicaciones tiene esto para nuestra conducta? Significa que los atletas que quieran tener hijos atléticos deberán tener mucho cuidado toda su vida con las drogas y animar a sus hijos a hacer ejercicio desde niños, porque el ejercicio que han hecho los padres no cuenta. No significa en absoluto que el atleta deba matar o abandonar al bebé que no nazca con «bíceps suficientes para diez atletas».

Darwin era consciente de que, como mantenía su primo Francis Galton, las sociedades que eliminan a todos los que padezcan enfermedades hereditarias, tendrán a la larga menos enfermedades hereditarias –como las que acabaron con la vida de tres hijos de Darwin. Pero Darwin pensaba que el mal que este comportamiento haría a la humanidad sería aún mayor¹¹ y de hecho colaboró con numerosas causas benéficas a lo largo de su vida.¹²

Como se ha explicado una y otra vez desde que Thomas Huxley escribió *Science and Morals* en 1886 hasta nuestros días, lo que Darwin hizo fue aclarar los mecanismos de la especiación, y nunca intentó explicar absolutamente todo, ni menos aún organizar los presupuestos generales del Estado.

Aun así, dos tipos de conservadores siguen insistiendo en asociar a Darwin con la derecha. Por un lado, está el conservador que sigue queriendo defender alguna versión del darwinismo social, hostil al pago de impuestos para mantener las ayudas sociales.¹³ Por otro, está el conservador que sabiendo-

se incapaz de defender el creacionismo en un debate científico, recurre a las asociaciones negativas, a fin de que los fieles empiecen a odiar tanto a Darwin, que dejen de atender a razones, a base de verlo repetidamente asociado con el nazismo y la eugenesia.¹⁴

Darwin y Marx

Además de asociar a Darwin con el conservadurismo y la extrema derecha, por si acaso, se le asocia también con el marxismo y la extrema izquierda. En ambos casos, la falta de fundamento es llamativa.

El apartado anterior contiene ya la escasa relación que Darwin tiene con los planes quinquenales de la Unión Soviética: algunas versiones del marxismo comparten con Platón y Montesquieu la idea de explicar fenómenos sociales y culturales a partir del medio natural en el que se desarrollan. La relación es muy indirecta porque esto no implica que la historia siga una serie de estadios, que haya una secuencia única e inevitable, que haya una última etapa, ni que esa etapa deba coincidir con lo poco que Marx dijo sobre el comunismo. De hecho, uno puede pensar que explicar la cultura a partir del medio material es más satisfactorio que no poder explicarla por nada ajeno a la propia cultura, y no tener, por ello, una preferencia determinada por un principio de justicia distributiva. La ética distributiva es una disciplina muy diferente e independiente de la historia o la antropología. Análogamente, uno puede pensar como Marx que las personas deberían contribuir a la sociedad en la medida de sus capacidades y recibir ayuda en la medida

do. Además, se puede establecer de golpe un régimen muy conservador y se puede establecer progresivamente un régimen muy progresista. Creo que es poco productivo discutir las reformas sociales a este nivel de generalidad. Véase L. Arnham, *Darwinian Conservatism*, Imprint Academic, Exeter, 2005; K. Blanchard (ed.) *Darwinian Conservatism. A Disputed Question*, Imprint Academic, Exeter, 2009; P. Singer, *Una izquierda darwiniana*, Crítica, Barcelona 2000; J. West, *Darwin's Conservatives: The Misguided Quest*, Discovery Institute, Seattle, 2006; C. Holloway, *The Right Darwin*: Spence Publishing Company, Dallas, 2008 y P. Cohen «A Split Merges as Conservatives Discuss Darwin», *New York Times*, 5.5.2007, accessible en <http://www.uu.blymiller.com/shaag/conservativedarwin.pdf>.

11 *El origen del hombre y la selección natural*, Edaf, Madrid, 1989, p. 135.

12 Véase M. Tafalla, «Darwin, Meville y el lugar del ser humano en la naturaleza» en A. Herrera (ed.) *De animales y hombres*, Biblioteca Nueva de la Universidad de Oviedo, Oviedo, 2007.

13 Si uno se empeña, se puede estirar la metáfora de la selección natural y recalcar (como Burke) la importancia el cambio gradual y la tradición, frente a los cambios revolucionarios. Pero también puede uno argumentar que Darwin enseña que hay que cambiar para permanecer adapta-

14 Una de las obras recientes que asocian a Darwin con el nazismo es R. Weickart, *From Darwin to Hitler*, Palgrave McMillan, London, 2004.

de sus necesidades, sin tener por ello ninguna confianza ni en las explicaciones materialistas, ni en los planes quinquenales. Se puede pensar que sería preferible reducir la desigualdad social y estar convencido de que es imposible saber cuántas agujas o cremalleras harán falta en el próximo lustro y que, por tanto, es más eficiente calcular la producción mediante mercados que mediante la planificación estatal.¹⁵ Esta última cuestión, que es la que ha dividido los regímenes políticos, es completamente independiente de la cuestión normativa relativa a cómo deberían distribuirse los recursos o de la cuestión histórica o antropológica relativa a qué explicaciones de la cultura son más satisfactorias.

Por otro lado, el marxismo, sobre todo el ortodoxo, no es tampoco una corriente que haya dado mucha importancia a la diversificación evolutiva de las especies, al medio ambiente o a la naturaleza en general. Al revés, ha tendido a minusvalorar los problemas ecológicos, atribuir el valor de los productos sólo a su contenido de trabajo humano, a celebrar el artificio, la industrialización, el dominio de la naturaleza, y la globalización; y a insistir en la ilimitada capacidad humana de dominar tanto la naturaleza salvaje como nuestra propia naturaleza.

Marx reconoció la importancia de los hallazgos de Darwin, pero criticó su «grosero método de exposición» e ironizó sobre la incapacidad de Darwin de darse cuenta de que su teoría no era sino la ideología de la sociedad burguesa. Además lo asoció siempre con Malthus, pensador al que detestaba:

Es muy llamativo como Darwin reconoce entre las bestias y las plantas a su sociedad inglesa, con su división del trabajo, su competencia, su apertura de nuevos mercados, sus «invenciones» y la maltusiana «lucha por la existencia».¹⁶

Sin embargo, se sigue repitiendo que las ideas de Marx proceden de Darwin, razón por la cual Marx quiso dedicar a su maestro el segundo volumen de *El capital*.¹⁷ En realidad, Marx publicó sus ideas antes que Darwin y la carta en que Darwin se refiere a una oferta de dedicatoria, no iba dirigida a Karl Marx. El que quiso dedicarle su libro, *A Student s Darwin* (1881), fue Aveling, el marido de la hija de Marx. Además, Darwin rechazó educadamente esta oferta, probablemente porque no quería que lo identificasen con el radicalismo anti-religioso de Aveling.¹⁸

En resumen, ni el darwinismo, ni la biología en general, tiene las implicaciones ético-políticas que se le han atribuido. ¿Por qué, entonces, este empeño? Una de las razones de que se hayan imputado a Darwin tantas ideologías es la idea, igualmente errónea, de que admitir su teoría supone negar a Dios. Añadiré por ello algunas aclaraciones más a este respecto, antes de abordar la cuestión de qué implicaciones éticas puede tener realmente *El origen de las especies*.

Darwin y Laplace

No se puede decir que la Iglesia no haya arremetido injustamente contra otros grandes científicos. No obstante, no es fácil comprender la razón por la que la reacción contra Darwin haya sido tan virulenta y se mantenga hasta nuestros días. Al fin y al cabo, Darwin sólo ha explicado (y sólo parcialmente, sobre todo hasta la llegada del monje Gregor Mendel) un mecanismo de especiación. No ha explicado el origen de la vida en el planeta, ni el origen del planeta, ni del sistema solar, ni del universo. Si el problema de las explicaciones científicas es que restan protagonismo a Dios, no sólo Newton, Laplace o Einstein, sino cualquier científico actual que intente explicar

¹⁵ A favor de la separación de estas cuestiones, véase A. Nove, *La economía del socialismo factible*, Siglo XXI, Madrid, 1987; en contra, véase S. Moore, *Marx on the Choice between Socialism and Communism*, Harvard University Press, Cambridge Mass., 1980.

¹⁶ D. Mc Lellan (ed.), *Karl Marx: Selected Writings*, Oxford University Press, Oxford, 1977, p. 526. En *Not in Our Genes*, R. Lewontin, S. Rose y L. Kamin lanzan un ataque contra la sociobiología y la psicología evolutiva explícitamente motivado por la creencia de que las explicaciones darwinistas de la conducta están en conflicto con la creación de una sociedad socialista.

¹⁷ Véase, por ejemplo, E. T. Oakes, «Darwin s Graveyards» en *Christianity Today*, accesible en <http://www.christianitytoday.com/bc/2006/novdec/15.35.html>.

¹⁸ Véase R. Colp, «The Myth of the Darwin-Marx Letter», *History of Political Economy* 14, 1982 y L. R. Feuer, «The Darwin-Marx Correspondence: A Correction and Revision», *Annals of Science* 33 1976.

las condiciones de la aparición de la vida en cualquier planeta o la creación de todo el universo, representa una amenaza mucho mayor.

Tomemos el caso de Laplace. Laplace explicó cómo el colapso gravitatorio de una nebulosa podría haber originado la formación de un sol, y como el material que estaba orbitando en torno al mismo podía haberse condensado dando lugar a los planetas. Su teoría aclaraba la razón por la que todas las orbitas están en el mismo plano y todos los planetas avanzan en la misma dirección. Herschel utilizó esta teoría para explicar la formación de todos los sistemas estelares recortando la autoría divina mucho más que Darwin.

En su *Tratado de mecánica celeste* (1799-1825) Laplace explica el movimiento de todos los planetas, incluidos Júpiter y Saturno, que Newton no había logrado explicar, y por tanto había tenido que atribuir a Dios. Al parecer, esta fue la razón por la que Napoleón preguntó a Laplace, «cómo había escrito este gran libro sobre el universo sin mencionar a su creador». Se dice que Laplace respondió simplemente que «nunca había necesitado esta hipótesis». «Pero Lagrange me dice que es una hipótesis muy bonita, que puede explicar muchas cosas» insistió Napoleón. «Sí, lo explica todo» se dice que contestó Laplace, «pero no permite predecir nada».

Laplace no sólo explicó la formación de las estrellas y los planetas, y por qué Júpiter no iba camino de estrellarse contra el Sol, Saturno de salir del sistema, ni la Luna de estrellarse contra la Tierra, sino que contribuyó a muchos otros avances de la matemática y la ciencia en general. Sin embargo, no ha sufrido una persecución comparable a la de Darwin, pese a que era ateo y defensor del determinismo causal, que es algo que sí tiene implicaciones muy profundas, por ejemplo, sobre la existencia del libre albedrío. Afirmar que nuestra conducta está determinada crea problemas gravísimos para la ética, la filosofía del derecho, la religión y todo lo relativo al castigo de seres supuestamente libres y responsables, ya sea mediante la cárcel o el infierno. Existe una salida llamada «compatibilismo», pero el problema está aún sin resolver.

Darwin y Dios

El trato tan dispar recibido por Darwin y Laplace es más llamativo cuando se tiene en cuenta que mientras que el determinismo de Laplace vino a crear un grave problema teológico, la selección natural vino a resolver los muchos problemas que planteaba la hipótesis de la creación deliberada y «a imagen y semejanza».

Por ejemplo, comparemos las dos opciones siguientes. La primera opción es decir que Dios puso en los machos humanos de forma deliberada una inclinación a la territorialidad y la violencia, que no puso en otras especies, así como una fuerte pulsión sexual. A las hembras les dio una capacidad de correr bípedamente impresionante, comparada con la de otros primates, pero calculada para que sean alcanzadas por los machos a los pocos metros. Dio sólo a los machos la capacidad de estrangular a las hembras fácilmente con sus propias manos y en cambio debilitó la musculatura de los brazos y los dedos de las hembras, de forma que ni siquiera sean capaces de defenderse o de salvar a sus hijos. Además, las diseñó para que, en contraste con otras especies, fuese fácil violarlas y dejarlas embarazadas contra su voluntad. Añadió a todo esto una gran memoria emocional a largo plazo, que les impida olvidar estos horrores el resto de su vida. Sumó a esto embarazos de alta peligrosidad y partos dolorosos con altos índices de muerte materno... El «diseño» será inteligente, pero supone un nivel de crueldad y retorcimiento, que ni los diseñadores informáticos de juegos de marcianos revelan un sadismo tan extremo.¹⁹

Dios pudo haber hecho a los hombres como los bonobos y tantas otras especies que no matan a sus congéneres, o como los gorilas, que defienden a sus familias, pero no sus territorios. Sin embargo, los hizo como los chimpancés: agresivos, territoriales e incluso genocidas. Podría al menos haber hecho que, como los gorilas o las hienas, no matasen a las hembras. Pero no, los hizo como los lobos y los chimpancés: lobos para otros hombres y también para las mujeres. Y dado que pueden matar incluso a la madre de sus hijos, podría al menos haber hecho a las crías

¹⁹ Nótese que este problema no se resuelve tampoco declarando a la selección natural responsable del cuerpo, y a Dios del alma, como han propuestos algunos.

capaces de defenderse por sí mismas en poco tiempo, como tantas otras especies. Pero no, hizo a las crías humanas enormemente prematuras, vulnerables y necesitadas, y a los adultos con tendencia al abandono y el engaño, en lugar de monógamos por naturaleza como los gibones, los tamarindos, los castores, los murciélagos y tantísimos pájaros. Realmente, si se tratase de algo deliberado, habría que concluir que el diseñador se ha ensañado a gusto. Todo esto es además bastante difícil de reconciliar con la idea de que nos hizo «a su imagen y semejanza».

La otra opción es decir que en lugar de decidir deliberadamente cada rasgo concreto, Dios creó unas leyes de asombrosa simplicidad que hicieron surgir de la más rudimentaria forma de vida, toda la fascinante variedad y complejidad que aún hoy podemos apreciar. Esto sí que es admirable. Y el propio Darwin concluyó *El origen* con esta idea:

Así, la cosa más elevada que somos capaces de concebir, o sea la producción de los animales superiores, resulta directamente de la guerra de la naturaleza, del hambre y de la muerte. Hay grandeza en esta concepción de que la vida, con sus diferentes fuerzas, ha sido alentada por el Creador en un corto número de formas o en una sola, y que, mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de la gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un principio tan sencillo, infinidad de formas, las más bellas y portentosas.²⁰

Concebir y poner en acción de golpe todas las leyes de la naturaleza, desde las leyes de Newton y de Mendel, hasta las de Boyle y Mariotte, requiere una inteligencia suprahumana, de modo que la segunda opción es preferible, ya sea desde una perspectiva científica o teológica.

La primera opción supone un cúmulo de problemas. Nos deja sin explicación para los órganos vestigiales, la correspondencia

genética y morfológica entre especies emparentadas o la conducta reproductiva de las especies. Además, el diseño de las especies es admirable si se tiene en cuenta las restricciones que impone el pasado de una especie. Sin embargo, si pensamos que el diseño se ha hecho sin ningún tipo de restricciones, no siempre es fácil admirar al diseñador. Ejemplos de diseño torpe, como el de la mano del panda o del sexo fingido entre las lagartijas partenogénicas, que son todas hembras, abundan en el reino animal, y desde luego, sobreamundan en el diseño de los «hijos predilectos».

Los científicos que han analizado la forma en que el ojo humano va de espaldas a la luz suelen ponerlo como ejemplo de cableado chapuza. Pero hay muchas otras cosas que saltan a la vista, incluso a la vista con ojos mal diseñados. Por ejemplo, mientras que otras hembras corretean como si nada llevando numerosos hijos dentro y se levantan de un parto múltiple como de una siesta, los embarazos humanos son problemáticos y peligrosos y el parto es infernal. Las madres humanas son demasiado pequeñas para sus bebés. El bebé gorila, por ejemplo, pesa sólo dos kilos, su madre noventa o cien. Por ésta y otras razones, es importantísimo que los bebés humanos estén bien situados para salir y, sin embargo, con frecuencia no lo están. El camino de salida no es recto, sino que el bebé debe girar la cabeza dos veces, y tomar un ángulo recto. Su cordón es muy largo, se enreda y a veces lo estrangula, y en cuestión de segundos, por el cordón, el meconio, el oxígeno o cualquier otro factor, el bebé puede morir o sufrir minusvalías.

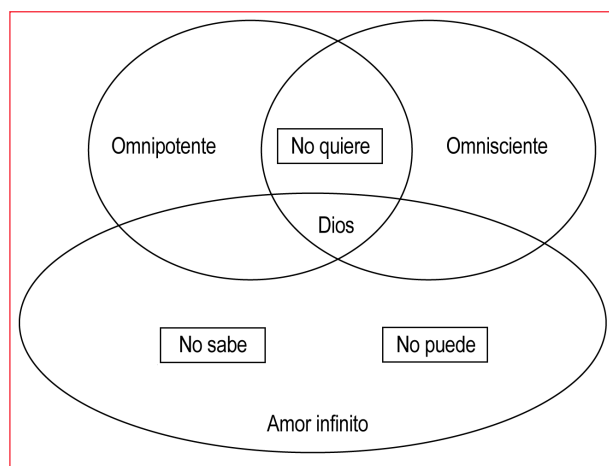
El embarazo dura casi un mes más que en otros simios y para entonces el cerebro es demasiado grande al nacer, sobre todo pasando por una pelvis en extraño ángulo por no haber evolucionado inicialmente para la postura bípeda. Podemos pensar sobre el difícil parto humano y aprender sobre nuestros orígenes o podemos decir que este desfase fue en realidad calculado por Dios a sabiendas del inmenso dolor que causaría a millones de madres de niños muertos o con minusvalías originadas en el parto. Esto parece más bien lo peor que se le puede decir a una madre si se quiere que sienta amor y admiración por Dios. Lo mismo ocurre si insistimos en que tantas

²⁰ Últimas palabras de *El origen de las especies*, accesible en <http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/13559620212026495222202/p0000016.htm#20>. Aquí Darwin usa el término «superior», aunque en otro lugar había anotado que no debería usar este término, porque la evolución no tiene dirección. Véase P. Bowler, *Charles Darwin. El hombre y su influencia*, Alianza, Madrid, 1995, p. 128. Sobre la diversidad morfológica, véase S. Carroll, «Endless Forms» en A. Rosenberg y R. Arp, *Philosophy of Biology*, Wiley-Blackwell, Oxford, 2010.

personas, sobre todo niños, se atragantan comiendo y mueren asfixiados, porque Dios quiso, sin ninguna necesidad, hacer coincidir parte del tubo respiratorio humano con el digestivo. Es difícil ver qué se gana insistiendo en que fue Dios directamente el que decidió que la orina y el semen saliesen por el mismo conducto, el que hizo a la próstata proclive a la inflamación y el que la colocó justo donde cualquier agrandamiento produjese un bloqueo del vital conducto. Es difícil ver qué se gana con atribuir a Dios todas estas grandes y pequeñas mezquindades. ¿Por qué pensar que lo ensalzan?

Es posible que al hombre primitivo le impresionase más la idea de la creación directa, porque tenía menos información y no era consciente de todo lo que no encajaba con este supuesto. Probablemente no suponía tampoco que Dios fuese omnipotente, omnisciente y nos profesase un amor infinito. La conjunción de los tres supuestos genera el llamado «problema del mal» del que se ocupa una amplia parte de la teología llamada «teodicea».

Figura 2.
El trilema del mal



La teodicea intenta reconciliar la existencia de Dios con la existencia del mal en el mundo. Esto puede hacerse admitiendo que Dios no tiene noticia de nuestro sufrimiento, que no puede hacer nada o que le es indiferente. Ante este trilema, la mayoría de los filósofos han preferido ceder en la cuestión de

la omnipotencia, o la omnisciencia, antes de considerar la posibilidad de recortar la bondad o la compasión divina –que es lo que hicieron los hombres primitivos, con sus divinidades vengativas e impacientes. La mejor solución es entender el mal como efecto inevitable de algo bueno o como sacrificio necesario para algo bueno. Esta opción es teológicamente preferible porque no requiere negar directamente uno de los tres atributos divinos (omnisciencia, omnipotencia y amor infinito). El problema es que es muy difícil encontrar explicaciones que no sean perogrulladas. Y esto es justamente lo que aporta Darwin: la posibilidad de una teodicea secular que explique racionalmente el mal en el mundo. Nos permite además explicar los más diversos males con una sola idea general: la evolución. Incluso los terremotos, que han sacudido la fe de tantos creyentes, tendrían su explicación en la geología de un planeta que aún está evolucionando.²¹

Darwin y Marcelina

Así pues, los hallazgos de Darwin deberían considerarse una bendición, no sólo para la ciencia, sino también para la teología. Si bien todas las teorías científicas hacen que «la hipótesis divina» sea superflua, no demuestran que sea falsa. Y la teoría de Darwin incluso puede hacer la hipótesis divina más atractiva, y hasta más coherente con la idea bíblica de que Dios no diseñó cada víscera y cada enfermedad, sino que creó todo más o menos de golpe y «después, descansó». No es justo por ello culpar a Darwin si la gente pierde la fe. Si nos fiamos de las estadísticas, lo que quita la fe no es estudiar a Darwin, sino estudiar en general. En todos los países, el menor número de creyentes se registra entre los premios Nobel, luego entre los científicos y los académicos, y es mayor entre los grupos de menor nivel educativo. Otros estudios afirman también que –con la notable excepción de Estados

²¹ Evidentemente el evolucionismo no resuelve el problema del mal. Un dios realmente omnipotente podría prescindir de la evolución y los terremotos, o al menos, avisarnos de los peores. No obstante, supone una mejora no sólo científica sino también teológica respecto al creacionismo, que no puede explicar los numerosos defectos del mundo, aunque pueda afirmar dogmáticamente que todos son necesarios.

Unidos, que es un país muy rico pero lleno de creacionistas—, hay más creyentes entre los pobres. Incluso hay estudios que vinculan la fe y el coeficiente intelectual.²² No parece haber, en cambio, una correlación inversa y clara entre religiosidad y darwinismo. En España, el 45% de las personas creen en Dios y en Darwin, mientras que en el Reino Unido, que es un país muy poco religioso, sólo un 25% cree que la evolución es un hecho y otro 25% cree que es probable.²³ Y lo más importante es que bien pudiera ser que la causalidad fuese a la inversa. Es decir, que sean los fundamentalistas religiosos los que alejan a la gente de Darwin, y no Darwin el que los aleje de la religión.

Y como rechazar a Darwin puede ser muy contraproducente para los fines de las iglesias, puede que desde ahora las cosas cambien, y las iglesias empiecen a defender el *Big Bang* y el darwinismo como la mejor forma de interpretar ese momento creador, después del cual «Dios descansó». Incluso puede que empiecen a perseguir a los creacionistas, que se están convirtiendo en un molesto incordio, insistiendo en que las creencias cristianas son incompatibles con la ciencia y repitiendo las declaraciones anti-darwinianas que la Iglesia católica hizo y ahora preferiría olvidar.²⁴

A veces cambios en el contexto histórico producen cambios en el significado ideológico de los textos. Por ejemplo, el cuento favorito de Hillel Steiner no era el de su amigo G.A. Cohen, sino *The Little Red Hen* (*La Gallina Marcelina*). Steiner observa que este

cuento, que sus padres le compraron en una librería anarco-socialista, está ahora en los catálogos tatcheristas, junto a las obras de Hayek y Friedman, sin que el texto haya cambiado. Marcelina es una gallina que encuentra unos granos de trigo, y ofrece al perro y al cerdo la opción de ayudarlo a plantar, a segar, a moler y a hacer un pan, invitación que estos siempre declinan. Ella responde «pues lo haré yo sola». Cuando finalmente les invita a comerse y ellos aceptan, ella repite: «pues lo haré yo sola». El perro y el cerdo han pasado de simbolizar a los parásitos capitalistas, a representar a los que reciben ayudas sociales.

Los ecologistas de hoy ya hemos crecido viendo al marxismo teórico ortodoxo y al marxismo real como una posición desarrollista, globalizadora, pro-nuclear, semejante a la posición conservadora en muchos aspectos (la jerarquía, la censura, la actitud ante la desobediencia civil...) que insiste en que la cuestión es llevar el desarrollo capitalista a todos los rincones del planeta, porque el desarrollo tecnológico y económico lo resuelve todo. Nuestros padres, en cambio, nunca hubieron asociado al marxismo con la derecha.

Teniendo en cuenta el número de veces que el darwinismo ha sido asociado con la derecha o con la izquierda, no sería de extrañar que se diese un nuevo giro a la cuestión. Llegado a este punto, es legítimo preguntarse si en realidad el darwinismo tiene alguna implicación ético-política, o si todo son alegaciones cambiantes e igualmente infundadas. La segunda parte de este artículo intenta responder a esta pregunta.

Implicaciones éticas que se podrían atribuir al darwinismo

Ética aplicada, normativa y metaética

El darwinismo no es una ideología, sino una teoría científica. Esto no significa que sea irrelevante en el campo de la ética. En primer lugar, Darwin ofreció una *teoría del origen del sentimiento moral*. En segundo lugar, la ética se ocupa de qué razones tenemos

22 Véase R. Attwood, «High IQ Turns Academics into Atheists», <http://www.timeshighereducation.co.uk/story.asp?sectioncode=26&storycode=402381> Tim y el video de R. Dawkins, [accessible en http://www.youtube.com/watch?v=4EWyD34Fxml](http://www.youtube.com/watch?v=4EWyD34Fxml).

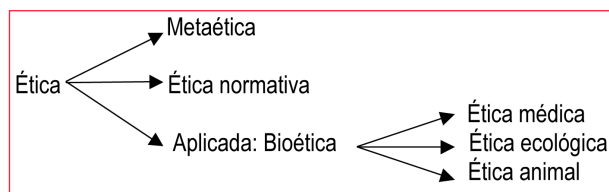
23 Véase R. Butt, «Half of Britons Do Not Believe in Evolution, Survey Finds», *Guardian*, 1.2., 2009. Véase también <http://www.britishcouncil.org/new/en/press-office/press-releases/Darwin-survey-shows-international-consensus-on-acceptance-of-evolution/> y http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/northern_ireland/7919180.stm El 42% de los estadounidenses son creacionistas. Véase <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/06/ciencia/1246900820.html> y <http://www.elmundo.es/especiales/2009/02/ciencia/darwin/seccion4/seccion43.html>.

24 En el congreso celebrado en el Vaticano con motivo del aniversario de Darwin, el Vaticano ya se presentó a la prensa como darwinista y afirmando que el creacionismo sólo se mencionaría muy marginalmente y como fenómeno cultural. http://www.laprensa.com.bo/noticias/05-03-09/05_03_09_socd2.php. El cambio es notable, si tenemos en cuenta que Wojtyła reconoció por primera vez que el darwinismo era «más que una hipótesis» en 1996. Véase <http://www.elmundo.es/especiales/2009/02/ciencia/darwin/seccion4/seccion44.html> y John Paul II, «Message to the Pontifical Academy of Sciences», *The Quarterly Review of Biology* 72.4, 1997, pp. 381-383.

para actuar de cierto modo, y entre esas razones se incluyen supuestos que pertenecen al legado darwinista. Las razones de prudencia se refieren al bien de uno mismo, las razones morales, al bien de los demás. La forma en que entendemos ese bien depende en parte de nuestra concepción de la naturaleza humana. Y la limitada plasticidad de esta naturaleza marca también el nivel de adhesión a ciertas normas morales que podemos esperar de los humanos. Es por ello que Rousseau empieza *El contrato social* hablando de «los hombres tal cual son, y las leyes como podría ser». La ética se ocupa de cómo debemos vivir los humanos, no los buenos bonobos, o los castos castores.

La ética suele dividirse en tres niveles: la metaética, la ética normativa y la ética aplicada. Esta división es algo artificial, porque entre los tres niveles hay mucha continuidad. El mayor nivel de abstracción corresponde a la metaética que se ocupa de cuestiones previas como si la moral es cuestión de opinión, o si existe el libre albedrío. El nivel intermedio es el de la ética normativa, que es el nivel al que discutimos, por ejemplo, si las normas morales deben evaluarse sólo por sus consecuencias y qué tipo de consecuencias son esas. Intentamos averiguar cuáles son las mejores explicaciones de por qué está mal aquello que creemos que está mal. Por ejemplo, uno puede estar de acuerdo en que no debemos raptar a la gente para emplearla como material de charcutería –como en la película *Delicatessen*– y pensar que esto se debe a que ello produciría más sufrimiento que felicidad, a que ello viola derechos fundamentales o a que ello implica utilizar a las personas meramente como medios. Por último, está la ética aplicada que, como su nombre indica, aplica las teorías generales a problemas concretos, como los relativos a las decisiones médicas (ética médica), a los problemas ecológicos (ética medioambiental) o a otras especies (ética animal). La filosofía política podría incluirse también en el campo de la ética aplicada no dedicada a estas otras ramas, que suelen englobarse bajo el rotulo de bioética, por estar todas ellas relacionadas con la vida. No obstante, gran parte de la filosofía política es normativa y discurre a un nivel de abstracción intermedio.²⁵

Figura 3.
Ramas de la ética



Pues bien, el darwinismo es más o menos indirectamente relevante a todos los niveles.²⁶ Por ejemplo, la ética ecológica se ocupa de cuestiones como el valor que tienen las especies y los ecosistemas que surgen de la selección natural, frente a los que surgen de la selección artificial. La ética médica se ocupa de temas como la clonación, la selección artificial de embriones, el efecto de la desigualdad social en la salud, o la cuestión de si debemos sólo intentar eliminar patologías o extender al máximo la vida o las capacidades de nuestra especie (*human enhancement*). Y la ética animal se ocupa de nuestras obligaciones con los miembros de otras especies, incluidos los grandes simios.

Empezaré hablando de los simios y del origen de la moral porque es mucho más complicado empezar hablando de metaética. En cambio, una vez que tenemos en mente una serie de cosas que sabemos sobre nuestros primos primates, es mucho más fácil entender qué cuestiones se plantean a partir de ahí, primero en bioética y luego en los otros niveles. Así que iré de la *aplicación* de las teorías, a la *formulación* de las teorías, y por último al *estatus* de las teorías. Evidentemente, no se puede explicar todo en unas páginas, así que daré sólo algunos ejemplos interesantes de cada cosa.

Los homínidos. Parentesco genético y comportamental

El término homínido o gran simio incluye a los póngidos (chimpancés, bonobos, gorilas y orangutanes) y los humanos, que descendemos de un antepasado común. El primero en separarse

²⁵ La filosofía política también entra a veces en el terreno de la metaética. Véase, por ejemplo, G.A. Cohen, *Rescuing Justice and Equality*, Harvard University Press, Cambridge, 2008.

²⁶ «El que entienda a los babuinos hará más por la metafísica que Locke.» escribió Darwin en su *Cuaderno de notas*. Citado en D. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea*, Penguin, Londres, 1995, p. 69.

fue el orangután que es el que sigue pareciéndose mucho a ese antepasado común, y también a los humanos. El segundo fue el gorila, y luego surgimos los humanos. Siempre se había pensado que éramos el último grito en evolución. Sin embargo, los chimpancés y los bonobos son más modernos que nosotros, porque han evolucionado más tras nuestra separación en líneas evolutivas diferentes.

Los homínidos somos grandes simios sin cola y con fórmula dental 2/2, 1/1, 2/2, 3/3 = 32, capaces de caminar bípedamente, que vivimos en grupos heterosexuales no monógamos, y dormimos en cuevas, nidos y cabañas arbóreas. Podría decirse que todos somos *Homo habilis*, en el sentido de que todos tenemos la habilidad de usar y fabricar herramientas. Este comportamiento es más frecuente en las orangutanas, las bonobos y las chimpancés. Los gorilas y los machos póngidos tienden a usar menos instrumentos, quizá porque pueden recurrir más frecuentemente a la fuerza bruta, o porque tienen menos necesidad de alimentar a otros. Pues bien, supongamos que en algún remoto lugar del mundo encontrásemos a un grupo de los homínidos de los que descendemos, viviendo en cuevas y usando herramientas rudimentarias. ¿Diríamos que como ya hay leyes autonómicas relativas a los animales agrícolas o de compañía no hace falta ninguna ley de homínidos que regule nuestra relación con los neandertales o los australopitecus? ¿Les encerraríamos en un zoológico para que nuestros hijos los contemplasen lamiendo un helado? ¿Les pondríamos un gorrito de lunares y les obligaríamos a entretenernos dando volteretas en un circo? ¿O les sacaríamos trozos de sus órganos internos para ver como han reaccionado a algún virus o veneno que les hemos inyectado? Probablemente nuestra sociedad condenaría todo esto. ¿Por qué entonces permitimos que esto se haga con los pocos homínidos que han logrado sobrevivir? Los grandes simios no son nuestros antepasados, son más bien nuestros primos, pero esto no puede justificar la asimetría en el trato.

Tanto si afirmamos como si negamos que el parentesco es fuente de obligaciones morales, esta asimetría es insostenible. Supongamos primero que sí lo es, como se ha mantenido tradicionalmente. San Francisco llamaba a otras especies «herma-

nos» y el darwinismo ha aportado la base científica de esta afirmación. El mismo gen que causa cierta ceguera en las moscas la causa en los humanos porque todos procedemos de un tronco común que nos impone limitaciones y semejanzas. Desde este punto de vista el trato que dispensamos a los simios es muy reprobable. Si los lazos familiares crean vínculos morales, lo hacen tanto con nuestro antepasados como con nuestros primos.

No obstante, no está claro que el mero parentesco genético imponga obligaciones morales. Tenemos las mismas obligaciones con una hija concebida con óvulos o esperma donados, que con una concebida con material genético propio. Y desde luego no debemos querer menos a nuestra madre por el hecho de que nos haya adoptado. Que tengamos un alto grado de parentesco con los simios no es moralmente relevante. De ser así, tendríamos más obligaciones con los chimpancés que con los gorilas, y con estos que con los orangutanes. Tener el 98,4% del genoma en común no proporciona una razón moral, como tampoco lo es el tener el 99,9% en común y pertenecer a la especie humana. Lo que proporciona es una razón científica para no quedarnos sorprendidos de los resultados obtenidos de forma independiente, y con anterioridad al recuento de los genomas, mediante estudios etológicos. Estos estudios del comportamiento simio indican como hipótesis más probable la posesión de una serie de rasgos que sí poseen relevancia moral, y la semejanza genética hace aún más probable esta hipótesis. Por ejemplo, si escuchamos a la gorila Koko sola en su cuarto, emitiendo gemidos semejantes a los del llanto infantil poco después de que le comunicasen la muerte de su gatito, y de que ella respondiese repitiendo los signos MAL, TRISTE, LLORAR y CEÑO FRUNCIDO no es descabellado decir que «está llorando por su gato».²⁷ La posibilidad de explicar esa conducta de otra forma y que concuerde con miles de observaciones etológicas adicionales de ese sujeto y sus semejantes es tan remota que es ciertamente pedante insistir en que quizá su cerebro sea como el de un cajero automático que suelta dinero o lágrimas o dice

²⁷ Véase este suceso en vídeo en <http://video.google.co.uk/videosearch?hl=es&q=koko%20and%20ball&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wv#>.

«gracias», cuando se introducen ciertos dígitos, y luego rechazar esa misma explicación digital del comportamiento de los niños que lloran cuando muere su gato. Hay quien insiste en que los primatólogos antropomorfizan a los simios. Pero lo que es realmente extraño es insistir en explicar todas las observaciones primatológicas con términos propios de los cajeros electrónicos, que es algo mucho más dispar y disparatado, y que no concuerda con las observaciones de la conducta simia mucho mejor que con las de la conducta humana.²⁸

La semejanza genética hace poco sorprendente la semejanza morfológica, que a su vez hace poco sorprendente que los otros homínidos también se reconozcan en un espejo; sepan ver las cosas desde la perspectiva de los demás; tengan planes y esperanzas de futuro; recuerden el pasado distante; resuelvan problemas complejos que requieran numerosos pasos; usen y fabriquen herramientas y medicinas; necesiten su cultura para sobrevivir;²⁹ tengan ciertas capacidades para la abstracción y la matemática; puedan aprender lenguaje de sordomudos cuando otro homínido se lo enseña, lenguajes humanos de oídas; y puedan traducir entre ambos, e inventar palabras, chistes, mentiras y fantasías.³⁰

Las homínidas. Esfuerzo materno y proto-moral

La combinación de estas capacidades intelectuales y las necesidades de la supervivencia han dado lugar, además, a lo que podríamos llamar el comportamiento proto-moral. Como los humanos, los homínidos se reconocen por la cara y leen intenciones y emociones en los rostros de los demás. Su comportamiento sugiere que tienen capacidad para sentir empatía y compasión, para consolar a los que se sienten mal y distraerles del dolor. Tienen también sentido de la reciprocidad y la

cooperación y no sólo intentan reconciliarse, sino que intentan que otros se reconcilien entre sí. Amonestan y castigan a los que rompen las normas y perjudican al grupo, y tienen gestos de sumisión tras una reprimenda y de súplica de ayuda o alimento. Los simios que han aprendido lenguaje de signos emplean con frecuencia y en contextos adecuados los términos «bueno» y «malo» para referirse a acciones propias o de los demás,³¹ dando muestras de haber comprendido correctamente el significado de estos términos. Los chimpancés han demostrado además y repetidamente tener sentido de lo que es «ir demasiado lejos». Frans de Waal ha descrito casos de chimpancés que se enfrentaron con aliados que se estaban sobrepasando con algún miembro de un grupo rival, y Jane Goodall les ha visto intentando reavivar y alimentar a quienes habían golpeado demasiado fuerte en un enfrentamiento territorial e incluso llevándose al enemigo caído en brazos para cuidarlo. Se ha observado también, sobre todo en *ellas*, un amplio repertorio de conductas altruistas, como adoptar huérfanos, correr riesgos por salvar a extraños, alejar a los amigos de un peligro o de otro que está de mal humor, defender del acoso, compartir el alimento con ancianos o deficientes y cuidar de otras especies.³²

Una conocida anécdota de la chimpancé Washoe ejemplifica parte de lo dicho. Kat, una de las cuidadoras que acudía regularmente al recinto, un día dejó de venir. Cuando regresó, Washoe demostró que estaba dolida por el abandono no viniendo a abrazarla como habitualmente. Entonces ella le explicó en lenguaje de señas que había perdido al bebé del que estaba embarazada. Washoe miró al suelo, luego a los ojos de Kat, y dijo CRY (llorar) tocándose la mejilla justo debajo del ojo. Luego no la dejaba marchar y decía PLEASE PERSON HUG (por favor, persona, abrazo) e insistía en que se quedase a jugar con ella más tiempo del habitual.³³

31 Véase P. Cavalieri y P. Singer, *ibid.*, capítulos. 4, 5 y 6.

32 Véase, por ejemplo, F. de Waal, *Our Inner Ape*, Granta Books, Londres, 2005; J. Goodall, *With Love*, J. Goodall Institute, Ridgefield, 1994; *Gorilla. Journal of the Gorilla Foundation* 15.2, 1992, p. 8; H. Terrace, *Nim*, Washington Square Press, Nueva York, 1979, p. 56-57 y 406; y Sy Montgomery, *Walking with the Great Apes*, Houghton Mifflin, Boston, 1991, p. 265.

33 Véase *ibid.* y el relato de K. Beach en el video de *National Geographic* http://video.google.co.uk/videosearch?hl=es&rlz=1R2GGLL_esES341&q=Washoe%2BKat&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=vw#.

28 Véase R. Fouts, *Next of Kin*, Avon Books, Nueva York, 1997, p. 275.

29 Véase, por ejemplo, R. W. Wrangham, et al. *Chimpanzee Cultures* o C. Boesch, «Teaching Among Wild Chimpanzees», *Animal Behaviour* 41, 1991, 530-32.

30 Véase, por ejemplo, P. Cavalieri y P. Singer (eds.), *El Proyecto Gran Simio*, Trotta, Madrid, 1998 y R. y D. Fouts, *ibid.*

Todas las simias sufrimos la muerte de un hijo. Se ha observado muchas veces a las simias –así como a algunos cetáceos– cargando con el cadáver de su hijo, besándolo y pellizcándolo para reanimarlo, incapaces de soltarlo y aceptar la muerte, a veces hasta que el olor resulta insoportable y otros miembros del grupo ayudan a la madre a distraerse del dolor y seguir adelante.³⁴ Quizá sea el mayor dolor que pueda sentir una persona. Pero este dolor, en la teodicea darwinista –o al menos mi versión de la misma– es una consecuencia inevitable de lo mejor que hay en el ser humano.

Todas las simias andamos con cuidado durante el embarazo, evitando el peligro, los centros de lucha política y las brusquedades. Tenemos muy pocos hijos a lo largo de nuestras vidas, generalmente uno de cada vez, y le prodigamos todo tipo de cuidados. Lo amantamos durante años, lo llevamos en brazos hasta que puede ir a nuestra espalda, lo ponemos a dormir a nuestro lado aunque ello impida que pasemos a las fases profundas de sueño, y lo educamos con paciencia. Hasta los ocho o diez años –según la especie– dependen de nosotras, material y emocionalmente y nos acompañan en cortos y largos desplazamientos. Esto es esencial para la supervivencia de los críos, que nacen muy prematuros y dependientes y tienen que aprender a hacer nidos, a saber qué se puede comer en cada estación, o qué plantas deben tomar cuando tengan ciertos síntomas. Al pertenecer a especies culturales, regidas sólo parcialmente por el instinto, tenemos muchísimo que aprender para poder sobrevivir. A fin de que desempeñemos todas estas funciones con dedicación y constancia, incluso cuando estamos cansadísimas o doloridas, la naturaleza nos ha diseñado para que sintamos un inmenso amor por nuestros hijos. Es algo tan intenso que se esparce por todo lo que se asemeja a nuestros hijos. Se nos van los ojos detrás de otros bebés y otros niños, vemos a un huérfano hambriento y a veces por un instante, otras para siempre, nos conmueve hasta el punto de querer adoptarlo. Incluso cualquier animalito cabezón de ojos grandes que avanza

tembloroso con pasos titubeantes nos parece adorable. Nos conmovemos cuando le vemos caminar tropezando y llamando a su madre, y terminamos conmoviéndonos ante todo ser necesitado y vulnerable. Así, decía Darwin, fuimos extendiendo nuestras simpatías «a los hombres de todas las razas, a los deficientes, los minusválidos, y otros miembros inútiles de la sociedad, y finalmente a los animales inferiores».³⁵

Así hizo la chimpancé Wahsoe que arriesgó su vida lanzándose a un cauce de agua para salvar a una joven recién llegada.³⁶ Así hizo la bonoba Kuni cuando vio un pajarito que se había estrellado contra el cristal. Lo recogió, lo puso sobre sus patas, estiró cuidadosamente sus alas, e intentó ayudarlo a que emprendiese de nuevo el vuelo. Se subió al árbol más alto con los pies, para poder sujetarlo sin aplastarlo con las manos y lo cuidó durante todo el día hasta que el pájaro logró volar.³⁷

Algo semejante parece ocurrir con la pulsión sexual en los machos, que no se dirige sólo a la pareja, ni a las hembras interesadas. Se orienta también hacia las no interesadas, las aterrorizadas, las niñas, los niños e incluso los animales.³⁸ Ellas se centran más en el cuidado intensivo de aquel bebé concreto, que en esparcir extensivamente los genes, y esta orientación hacia la calidad o la cantidad, tiene efectos morales muy diferentes.³⁹ La una tiende al altruismo y la comunicación, la otra a la competencia y la agresión. Sin duda, la forma en que ha evolucionado nuestra especie tiene consecuencias sobre las

³⁴ La gorila Ghana, por ejemplo, salió en los telediarios del mundo arrastrando varios días a su hijo muerto. Ahora tiene una hija a la que besueca constantemente. <http://www.dailymail.co.uk/news/worldnews/article-1204017/After-heartbreak-baby-dying-arms-Gana-gorilla-cradles-newborn.html>.

³⁵ Darwin, *El origen del hombre*, capítulo 5. La versión de Darwin del origen de la moral no está tan centrada en la maternidad. Doce años en el Proyecto Gran Simio me han llevado a ver así las cosas.

³⁶ R. y D. Fouts, «El uso del lenguaje de signos en los chimpancés», en P. Cavalieri y P. Singer, *ibid.*, p. 45.

³⁷ F. de Waal, *Our Inner Ape*, Granta Books, Londres, 2005, p. 2 y «Morality and the Social Instincts», *Tanner Lecture*, accesible en <http://www.tannerlectures.utah.edu/lectures/atoz.html#w>.

³⁸ Según el controvertido estudio de A. Kinsey, W. Pomeroy y C. Martin, *Sexual Behaviour in the Human Male*, 1948, citado en R. Thornhill y C. Palmer, *A Natural History of Rape*, MIT Press, Cambridge, 2001, p. 40, el 20% de los hombres rurales admitieron haber tenido relaciones con animales de granja.

³⁹ Digo «se centran más» porque se trata de una comparación entre la tendencia en las madres homínidas hacia una u otra estrategia. Sin duda hay también padres humanos, gorilas y de otras especies dispuestos a cuidar a sus hijos e incluso a morir por ellos. Véase, por ejemplo, J. Mason, *Padres y Padreros*, Ateles, Madrid, 2000.

heroicidades y las atrocidades de que somos capaces los humanos en la *práctica*. Lo que quisiera ilustrar ahora es la relevancia de Darwin para la *teoría* moral, en sus tres niveles, el aplicado, el normativo y el metaético.

Derechos homínidos. Intereses y capacidades

Una vez que sabemos cómo son los grandes simios no es de extrañar que haya una organización que pida que no se les mate, no se les torture y no se les encarcele arbitrariamente. Todos los homínidos somos longevos y tenemos vidas complejas e interesantes, fuertes lazos familiares y sociales, amistades, inventos, viajes, actividades lúdicas y creativas que enriquecen nuestras vidas. Todo esto hace que perder la vida sea una gran pérdida para nosotros. Si un mosquito pierde la vida, pierde sólo unos días de andar revoloteando por ahí y nadie llorará, ni notará su ausencia. De hecho, ni siquiera el mosquito sabrá que sigue vivo, ni que es un mosquito. O tomemos el caso de un pez de estanque. La mayoría viven sólo unos años, pero algunos pueden durar hasta cinco décadas. Ahora bien, si el mismo pez no sabe si es el mismo pez que estaba el verano pasado en ese estanque, no está claro que (moralmente) sea mejor que se trate del mismo pez (un pez que dura veinte años) o que haya dos peces que duren diez cada uno. Esto apunta a la importancia de un tercer factor. La muerte no sólo es mala según lo que perdamos al perder la vida, y lo que pierdan aquellos que nos aprecian, sino que hay algo más que hace la muerte especialmente mala: es nuestra contigüidad psicológica y nuestra conexión con el futuro. Si sólo tuviésemos en cuenta los dos primeros factores no sería fácil explicar por qué consideramos más trágica la muerte de un niño que la de un embrión o un recién nacido, si no hay una familia que sufra más lo uno que lo otro. El bebé, y más aún el embrión, es el que tiene más que perder, porque le quedan todavía más años por delante. El niño, sin embargo, tiene ya contigüidad psicológica y se prepara para el mañana. Quiere ser esto o lo otro, tiene planes y esperanzas. Una muerte prematura cortaría súbitamente ese vínculo que conecta al niño con su futuro y que a cierta edad empieza a ser tan intenso que nos lleva a sacrificarnos por ese futuro y a vivir ya mentalmente en él.

Esa contigüidad psicológica y capacidad de proyección en el tiempo no sólo es relevante para evaluar lo malo que es que nos maten, también hacen la tortura y el cautiverio mucho más insoportables. Si nos secuestran para experimentar en nosotros, los homínidos nos sobresaltaremos en la jaula ante cualquier ruido, temiendo siempre que vengan a por nosotros otra vez y nos despertemos maniatados en el quirófano. Sabremos que mañana nos dolerá el costurón y que van a seguir experimentando con nosotros y haciéndonos cicatrices hasta que alguien nos salve, si eso ocurre algún día.

El encarcelamiento se hace también mucho más doloroso cuando uno tiene conciencia del tiempo, planes de futuro y memoria a largo plazo. En contraste con el homínido, el pez no puede imaginar una vida distinta de la que tiene. Volverá a morder la piedrecilla que acaba de morder hace poco porque se le ha olvidado que no es comida, y cuando llegue nadando al fin del estanque lo verá como por primera vez. En cambio, si uno tiene la memoria y la inquietud mental del que ha nacido para aprender lo que otros saben por instinto, para viajar recorriendo grandes territorios, para inventar y para disfrutar creando, una pequeña celda vacía, sin ninguna distracción, es una auténtica pesadilla. Si uno es además intensamente social y afectivo, el aislamiento permanente es tan terrible como la absoluta inactividad. Es como ser enterrado en vida, que puede ser hasta peor que morir, por mucho que perdamos los homínidos al perder la vida.

El Proyecto Gran Simio no reclama para los póngidos los 33 artículos de la Declaración Universal de los Derechos Humanos. Sólo pide que no se les mate, ni se les torture, ni se les encarcele arbitrariamente, petición que ante lo que sabemos de ellos, está ampliamente justificada. Teniendo en cuenta cómo describió Darwin la inteligencia, la sociabilidad y el sentido moral de los simios y cómo se opuso al racismo, la vivisección y el maltrato a los animales, no cabe duda de que si estuviese aún vivo apoyaría este Proyecto.⁴⁰

⁴⁰ Véase J. Rachel, «Why Darwinians Should Support Equal Treatment for Other Great Apes», PGS, ch. 15.

Sujetos de derechos, personas y agentes

La reflexión sobre los simios y sus derechos ha llevado a su vez a temas que se adentran ya en el terreno de la ética normativa. Se ha tratado extensamente la cuestión de los derechos y quienes pueden tenerlos. Ha quedado claro que si los embriones, los niños, los discapacitados, los comatosos, los muertos y las generaciones futuras tienen derechos morales y legales, el caso de los simios no es especialmente problemático. No obstante, hay varias cuestiones relacionadas con las capacidades de un sujeto de derechos según ciertas teorías, que han llevado a nuevas reflexiones. Por ejemplo, Agnieszka Jaworska ha analizado los requisitos que debe cumplir un individuo para tener un estatus moral pleno (*full moral standing*), y ha llegado a la conclusión de que los póngidos las cumplen.⁴¹

Se ha escrito también sobre la diferencia entre ser «humano», que significa tener ADN de *Homo sapiens* y ser «persona». Una persona es un ser inteligente, pensante, auto-consciente que puede concebirse a sí mismo en distintos lugares y tiempos y que puede sufrir, disfrutar y tener una vida que vaya peor o mejor.⁴² Se han propuesto distintas combinaciones de rasgos definitorios de la persona, incluida una lista de 22 indicadores de humanidad,⁴³ y se han estudiados los datos que indican que los grandes simios las satisfacen.

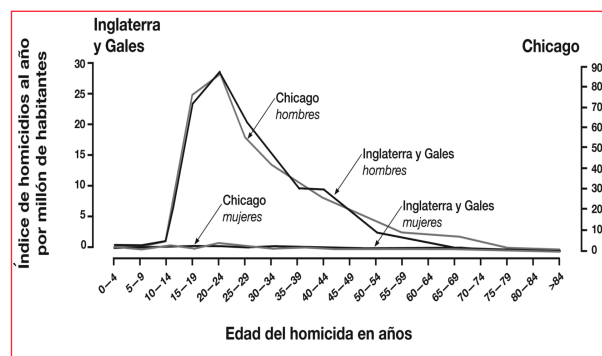
Asimismo, en vista del comportamiento de los simios y otros animales, se ha reconsiderado qué es exactamente «un acto» y qué animales pueden ser considerados «agentes».⁴⁴ Estos conceptos tienen siglos de antigüedad. El término «persona», por ejemplo, se ha venido utilizado desde antiguo en teología para reconciliar el monoteísmo con la existencia de las tres personas divinas, sólo

una de las cuales, «el hijo», tenía ADN de *Homo sapiens*.⁴⁵ No obstante, el interés en estos conceptos ha aumentado con el descubrimiento de la capacidad de los simios de satisfacer ciertas definiciones pensadas sólo para los humanos, los ángeles y los dioses.

Crímenes y castigos

Las diferencias de género de origen evolutivo plantean también numerosas cuestiones en cuanto al diseño de políticas igualitarias, no sólo de justicia distributiva sino también retributiva. Por ejemplo, el evolucionismo ofrece una explicación de que los hombres tengan una tendencia mayor que las mujeres a violar, a abusar de los menores, a matar a sus parejas actuales y anteriores, al genocidio y a pegarse por tonterías. En el Reino Unido, por ejemplo, sólo el 3% de los que están en la cárcel son mujeres, y su arresto suele estar relacionado con su condición de inmigrantes, prostitutas o drogadictas. Esta es la norma general en Europa y concuerda también con los datos del FBI.⁴⁶

Figura 4.
Comparación en los homicidios por sexo y edad del homicida en Inglaterra-Gales y Chicago⁴⁷



41 A. Jaworska, «Caring and Full Moral Standing», *Ethics* 117, 2007.

42 Esta es la definición que dio J. Locke en su *Ensayo sobre el entendimiento humano*, Libro II, capítulo 27, escrito en 1666, publicado tres años después y que sigue siendo la más frecuentemente citada en bioética.

43 J. F. Fletcher, «Indicators of Humanhood» en James Walter y T. Shannon, *Quality of Life*, Paulist Press, Nueva York, 1990. http://books.google.com/books?id=B2KbT7bvlsc&pg=PA11&lpg=PA11&dq=indicators+of+humanhood&source=bl&ots=a9HacrWORLD&sig=Q9OZG9I8CG4WZiHc8SmrWLFy1kM&hl=en&ei=VEBuStSRA-COjAeD08mnCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4.

44 La revista *Inquiry* dedica a este tema su número 53, 2009.

45 Hay otras religiones con dioses-padre, como Zeus, sin ADN de *Homo sapiens*, dioses-hijo, como Hércules o Gilgamesh que sí lo tienen, y una tercera persona, que puede ser una madre humana, u otra persona, como el Espíritu Santo, que ni es la madre, ni es de la misma especie. El término se empleó también para distinguir entre personas y esclavos, todos los cuales eran humanos.

46 A. Giddens, *Sociology, Polity*, Oxford, 1988, p. 140.

47 R. Wilkinson y K. Pickett, *The Spirit Level. Why More Equal Societies Almost Always Do Better*, Penguin, Londres, 2009. Obsérvese la coincidencia con los cambios hormonales y la pulsión sexual.

Estos datos tienen implicaciones diferentes según qué teorías adoptemos, por ejemplo, en relación a la responsabilidad individual o a la función del castigo. Un abogado defensor, por ejemplo, podría comparar la situación en que un individuo se ve repentinamente inundado de testosterona, con un individuo que recibe, contra su voluntad, la inyección de una droga que altera su comportamiento. Podría apelar así a una disminución en la responsabilidad, como atenuante, que haga más corta la pena. Algunas teorías de la responsabilidad valoran no sólo, o no tanto, si ciertas decisiones fueron voluntarias, como si el individuo se identifica con ciertos actos o los considera pulsiones (*cravings*) o desventajas (*handicaps*). Uno podría considerar la composición hormonal de un hombre joven como un *handicap*, que hace más difícil que evite la violencia. Hay también teorías de la responsabilidad que evalúan al individuo por referencia a su grupo. Así, por ejemplo, si alguien solicita cierto tratamiento médico y es fumador, se tendrá en cuenta si fumar es la norma en su grupo.⁴⁸ En este caso diríamos: «bueno, para tratarse de un hombre joven tampoco fue tan violento» y le evaluaríamos por referencia a su grupo, no a la humanidad. Otras teorías, en cambio, consideran que lo importante no es si una persona está bajo ciertas presiones, sino si tuvo suficiente oportunidad de evitar ciertos actos. Muchos insisten también, en que la función de las cárceles no es castigar al culpable en la medida que es culpable, sino solidarizarse con las víctimas, protegerlas, expresar rechazo social y disuadir. Está claro que las víctimas y otras mujeres estarán mucho más protegidas si los autores de crímenes violentos y sexuales permanecen en prisión, que la sociedad necesita enviar un mensaje contundente a este respecto, y que los hombres, sobre todo los jóvenes, son los que necesitan mayor disuasión. Así pues, la misma explicación evolutiva y los mismos datos sobre la tendencia masculina a la agresión pueden llevarnos a extender las penas en lugar de reducirlas, según sea nuestra teoría moral.

La segunda cuestión a resaltar aquí es que mientras que los biólogos no pueden decirnos cómo debemos reaccionar moralmente, si pueden decirnos qué medidas tienen más posibili-

dades de tener éxito, si aceptamos una interpretación darwinista de ciertos crímenes.

Randy Thornhill y Craig Palmer, por ejemplo, autores de *A Natural History of Rape*, aportan una interpretación darwinista de la violación que concuerda con una impresionante masa de datos. Analizan cómo el perfil del típico violador y la típica víctima concuerdan con lo que debemos esperar desde el punto de vista biológico, explican también por qué la violación es mucho más traumática para las víctimas que otros crímenes, y hacen varias recomendaciones para reducir el número de violaciones. Este tipo de investigación siempre se ha topado con un profundo rechazo, porque se ha considerado que la violación es un acto político, un acto de dominación, que no tiene nada que ver con el sexo. Esta concepción ha llevado a adoptar una serie de medidas muy diferentes y producir folletos educativos que, según estos autores, desinforman a las mujeres. En vista del poco éxito que hemos tenido en nuestros intentos de erradicar este tipo de crimen, deberíamos dar una oportunidad a los análisis darwinistas, ver qué es lo que tienen que decir los autores de una investigación biológica bien documentada y poner a disposición pública la información que según estos autores podría ayudar a las mujeres a protegerse.

El especismo

Consideremos por último –antes de pasar a la metaética– la cuestión de la especie. Darwin explicó cómo dos sub-especies pueden irse diferenciando hasta que, si llegasen a aparearse, no darían lugar a individuos fértiles. Parece sencillo, pero distinguir especies es muy complicado. Por ejemplo, porque la fertilidad de los híbridos puede ser cuestión de grado y porque a veces las especies no coinciden en el espacio o el tiempo y no sabemos qué habría ocurrido si lo hiciesen. Por esta y otras razones, los científicos aún carecen de una definición exacta del término y en la práctica tienen en cuenta varios factores, como la semejanza genética y morfológica.⁴⁹ ¿Y cómo debemos responder los filósofos morales ante

⁴⁸ Véase, por ejemplo, J. Roemer, «Equality and Responsibility», *Boston Review*, abril/mayo 1995. <http://www.bostonreview.net/BR20.2/roemer.html>.

⁴⁹ De hecho, todavía no hay un acuerdo acerca de cuál es la mejor definición. Véase J. Coyne y A. Orr, «Speciation: A Catalogue and Critique of Species Concepts», en A. Rosenberg y R. Arp, *Philosophy of Biology*.

este concepto? ¿Es la especie sólo una convención adoptada por conveniencia taxonómica que carece de relevancia moral?

Richard Ryder acuñó el término *especismo* para referirse a un vicio moral comparable al racismo en un folleto publicado en 1970 en el que argumentaba que una vez que Darwin había demostrado la continuidad física entre las especies, no había razón para mantener una discontinuidad moral entre las mismas. Peter Singer escribió *Liberación animal* en torno a este concepto y una caja de materiales que también heredó de Ryder y volvió a definir el especismo como una forma de racismo y a condenarlo por juzgar a un individuo por su pertenencia a un grupo. Desde entonces, se ha dado por sentado que los especistas aceptan el maltrato animal, y los defensores de los animales consideran la especie irrelevante.

No obstante, las cosas son más complicadas. En primer lugar, uno puede pensar que la especie tiene relevancia moral, y preocuparse enormemente por los animales. Uno puede ser como el filósofo John McTaggart que trabajaba sobre una silla mientras su gato dormitaba en el sofá, porque mientras que McTaggart podía disfrutar de sus libros, por ejemplo, el gato, el pobre, «no era más que un gato» y no podía aspirar a nada mejor.⁵⁰

En segundo lugar, uno puede justificar el dispensar un trato peor a los animales alegando alguna característica no genética que sólo tengan los humanos. T. M. Scanlon, por ejemplo, reconoce obligaciones morales con otros agentes morales y sus descendientes.⁵¹ En la práctica, esto viene siendo como el que afirma que no tiene nada contra las mujeres, pero no quiere contratar a nadie sin barba. Aunque la explicación sea menos arbitraria y no se refiera al ADN, las consecuencias para los animales pueden ser las mismas.

Además, si negamos toda relevancia a la especie, es más difícil defender el concepto de «derechos humanos» o «derechos simios» que da igual trato y prioridad a todos los miembros de

un grupo. Podríamos terminar con una especie de fila de individuos, el primero de los cuales sería el humano con mayor prioridad, luego el segundo, y cuando hubiésemos terminado con las filas de primates y cetáceos y llegásemos a las vacas o a las gallinas, el grado de importancia moral del individuo fuese ya insignificante.

Por último, si negamos la importancia moral de la pertenencia a una especie, ¿por qué luchar contra la extinción de una especie determinada? ¿Por qué empeñarnos en salvar a los bonobos o los orangutanes? ¿No deberíamos ser indiferentes entre su salvación y la sustitución de todos ellos por un número equivalente de humanos de limitadas capacidades? Hay también muchos animalistas y ecologistas que luchan contra la generación artificial de nuevas especies, como las gallinas ciegas y sin plumas. ¿Es racista defender a la gallina de toda la vida? Y esforzarse por desarrollar las capacidades de un niño-lobo o de un niño que no sobrepase el nivel de un chimpancé, pero no hacer lo mismo con un chimpancé ¿sería mero prejuicio?

En las últimas cuatro décadas, mientras se ha generalizado el uso del término especista como insulto, se han desarrollado sofisticadas teorías de la justicia que defienden la igualdad de bienestar, de recursos o de capacidades básicas. Recientemente nos hemos dado cuenta de que combinando estas teorías con el anti-especismo, deberíamos entregar todos nuestros recursos a los animales cuyas capacidades, recursos o bienestar son inferiores a las nuestras.⁵² Resulta chocante, pero aún no hemos acordado cómo evitar esta implicación.

Creo que estos problemas son solubles, pero no tengo aquí espacio para emprender esta tarea. Además, lo que me interesa resaltar aquí es que hemos sido tan profundamente especistas tanto tiempo, que ahora nos cuesta mucho desmontar nuestro sistema moral y montarlo sobre presupuestos no especistas sin que ello nos genere problemas. Derek Parfit termina *Reasons and Persons* con un apéndice titulado «Cómo la historia de

⁵⁰ Véase <http://www.petercave.dsl.pipex.com/petercat.html>.

⁵¹ T. Scanlon, *What we Owe to Each Other*, Harvard University Press, Cambridge, 2000.

⁵² Véase P. Vallentyne, «Of Mice and Men», N. Holtung and K. Lippert Rasmussen (eds.), *Egalitarianism*, Oxford University Press, 2007.

la ética no ha hecho más que empezar» y esta observación resulta especialmente acertada cuando interviene el concepto de especie. No obstante, es probable que seamos tendenciosos en muchos otros sentidos, a causa de la utilidad adaptativa que esos errores morales han tenido para nuestros antepasados, que es el último tema que nos queda por tratar.

Las hormigas

Como decía en la primera sección, ya Darwin se dio cuenta de que una especie se puede adaptar al entorno cambiando su comportamiento. Es más, atribuyó emociones y sentimientos a los animales, y recogió en sus cuadernos ejemplos de comportamiento compasivo y altruista, como el de un pelícano ciego que moriría de hambre si no fuese alimentado por sus congéneres.

Estos aspectos de la obra de Darwin fueron relegados a un segundo plano y –probablemente por motivos ideológicos– la atención se centró en la competencia y la lucha por la vida. Kropotkin, en cambio, se interesó desde el principio por el otro Darwin, y documentó numerosos ejemplos de ayuda mutua intra e inter-específica. Las hormigas, por ejemplo, sin haber leído ningún manual de ética, no sólo trabajan ordenadamente por el bien común –observaba Kropotkin–, sino que tienen un código de conducta para relacionarse con cualquier hormiga individual con que se encuentren por el camino. Si son de distintas especies o colonias, simplemente se evitarán, sin atacarse ni robarse el alimento. Si son de la misma colonia se comunicarán por medio de sus antenas y si una está hambrienta o sedienta y la otra lleva el buche lleno, la hambrienta le pedirá ayuda. La hormiga satisfecha nunca se la negará: abrirá bien sus mandíbulas, se pondrá en la posición adecuada y devolverá una gota de líquido transparente a la hormiga hambrienta o moribunda. Si la donante se niega será castigada y si esto ocurriese en periodo de guerra, se volverían sobre ella con más firmeza que contra un enemigo. Asimismo, si una hormiga ayuda a otra de otra colonia, esa colonia la tratará como amiga.⁵³ Si refle-

xionamos sobre esto, concluía, veremos que todo lo que llamamos «malo» es malo para la especie, y todo lo que llamamos «bueno», es bueno para la especie.⁵⁴

Las hormigas representan la norma seguida por instinto, sin mediación de la cultura ni las emociones. En los homínidos, intervienen ambos elementos. Es fácil imaginar casos en los que intervienen los sentimientos (los maternos, por ejemplo), pero no hay mediación cultural. En cambio, es más difícil imaginar un comportamiento de ayuda transmitido culturalmente, pero sin mediación de los sentimientos.⁵⁵ En cualquier caso, es posible que incluso en los humanos no todas las normas o aversiones sean adquiridas culturalmente mediante un proceso de aprendizaje mediado por las emociones. Puede que haya algunas aversiones que sean innatas o incluso que nuestra capacidad para hacer juicios morales sea innata, igual que, según Noam Chomsky, lo es nuestra capacidad lingüística.⁵⁶ Sea cual fuere la forma de transmisión, está claro que en la especie humana el comportamiento moral sigue parámetros evolutivos muy semejantes al del comportamiento proto-moral de otras especies, como el dar generalmente prioridad a nuestra familia inmediata, luego a los parientes, luego a los de nuestro grupo y dar siempre una prioridad casi absoluta a los de nuestra especie.⁵⁷

Prohibiciones adaptativas

Llegado a este punto debemos preguntarnos por qué creemos que algo es inmoral. Puede que nuestra evolución nos haya llevado a desarrollar una serie de capacidades intelectuales y emocionales que nos permiten comprender que ciertos actos inmorales

⁵⁴ Véase el famoso texto de Kropotkin sobre las hormigas con imágenes de la BBC en <http://www.youtube.com/watch?v=hnlUzQLqgw>.

⁵⁵ Véase J. Mason, *Cuando lloran los elefantes*, Martínez Roca, Barcelona, 1998.

⁵⁶ Como mantiene, por ejemplo, M. Hauser en *Moral Minds*, Abacus, Londres, 2006.

⁵⁷ El mismo M. Sahlin, que reaccionó contra la sociobiología con su *Uso y abuso de la biología*, Siglo XXI, Madrid, 1982, comprobó que la práctica del regalo y la expectativa de que reportase beneficios estaba directamente relacionada con el grado de parentesco. Véase «On the Sociology of Primitive Exchange» en M. Baton (ed.) *The Relevance of Models for Social Anthropology*, Tavistock, Londres, 1965.

⁵³ Darwin consideraba a las himenópteras (hormigas, abejas y avispas) como un problema para su teoría porque no sabía que la mayoría eran hembras, con un 75% de los genes en común.

son inmorales. También puede que nos haya llevado a rechazar determinados actos porque no eran adaptativos. Tomemos el siguiente ejemplo. La inmensa mayoría de la gente condena la zoofilia. Cuando este tema sale a debate, los alumnos suele rechazarlo firmemente. Cuando les pido razones, se refieren, por ejemplo, a que los animales no pueden consentir, o a que estas relaciones se dan sólo en un contexto de cautiverio, dependencia o violencia. Pregunto entonces si son todos vegetarianos, ya que ser convertido en salchichas es mucho peor para los animales, algo a lo que tampoco consenten, y algo que ocurre tras una relación previa de explotación, dominio y cautiverio. La mayoría de los alumnos se sienten desconcertados y frustrados porque no son capaces de explicar sus reacciones, pero pocos re-establecen la coherencia aceptando la zoofilia o haciéndose vegetarianos.

Esta repulsa es claramente adaptativa. Los miembros de otras especies hacen lo mismo. Intentan aparearse con sus congéneres y no con los miembros de otras especies. Incluso parece que hay mayor inclinación al apareamiento entre congéneres genéticamente cercanos. Esta actitud probablemente favorece la preservación de los genes propios y puede que haya acelerado la especiación.⁵⁸ No hubiese sido adaptativo que nuestros antepasados se dedicasen a perseguir amorosamente a otras especies.

Nuestra condición de omnívoros, en cambio, nos ha venido muy bien. Jared Diamond piensa que posiblemente «las prácticas depredadoras del *Homo erectus* fuesen directamente responsables» de la desaparición de sus parientes.⁵⁹ Es decir, *Homo erectus* se los comió. La caza, además, parece estar relacionada con el desarrollo de varias facultades mentales, así como con la cooperación y la práctica de compartir el alimento de forma igualitaria.⁶⁰ Podríamos habernos desarrollado de

forma que nuestro amor a las crías y nuestra incipiente moralidad dificultase nuestra disposición a degollar crías de otras especies. Sin embargo, las ventajas adaptativas de la dieta omnívora hicieron que suprimiésemos estos sentimientos naturales de aprehensión y aplastásemos el cráneo de cualquier animal que se nos pusiese a tiro.

Pensemos ahora en el tabú del incesto, que se supone que es el tabú más universal. La ausencia de este tabú hubiese sido desastrosa para nuestra especie, y al existir una fuerte pulsión sexual en los machos, el tabú tenía también que ser absoluto, y prohibir incluso la más tenue manifestación de tan nociva tendencia.

Ahora hay en la cárcel personas adoptadas que se encontraron a alguien muy parecido, y se enamoraron perdidamente sin saber que eran hermanos o hermanastros.⁶¹ No hay entre ellos desigualdad, ni peligro para la descendencia porque ya han pasado la edad fértil. Sin embargo, el Estado les obliga a que se olviden el uno del otro, y les trata como criminales, aunque jamás hayan hecho daño a nadie. Este extremo no parece justo ni racional, y no sabemos si tendrá algún efecto disuasorio sobre los pederastas con hijos menores. Pero es posible que una condena absoluta e indiscriminada tenga mejores consecuencias que una que acepte ciertos casos y es muy probable que este rechazo tan general y visceral tenga un origen evolutivo.⁶²

Ficciones útiles

El rechazo tan fuerte y universal del incesto y la zoofilia, y la aceptación, igualmente universal, del especismo, sugiere la posibilidad de que al menos algunas de nuestras intuiciones se expliquen por razones evolutivas. Puede que sean simplemente mentiras útiles. ¿Cómo desenmascararlas? ¿Cómo impedir

58 Véase B. and D. Charlesworth, *Evolution*, Oxford University Press, Oxford, 2003, p. 92 y ss.

59 *El tercer chimpancé*, p. 55.

60 Sobre la relación entre la caza, la inteligencia y la cooperación, véase por ejemplo, F. de Waal, *Good Nature*, Harvard University Press, Cambridge y Londres, 1996, p. 136 y ss. Con la caza, la suerte se reparte muy desigualmente, la carne se estropea pronto, y tiene tantas proteínas que un poquito puede salvar una vida. Repartir la suerte es por tanto muy ventajoso. En el juego del ultimátum, por ejemplo, los cazadores hicieron y aceptaron repartos más igualitarios que los agricultores. Véase Hauser, *Moral Minds*, p. 91.

61 Los estudios de Joseph Shepher en los kibutzin muestran que tendemos a excluir como posibles parejas a las personas con las que crecimos, independientemente de nuestra relación genética. Véase *Incest: The Biosocial View*, Academic Press, Londres, 1983. Una niña china y un niño etiope adoptados por una familia española no se atraerán, por mucho que difieran genéticamente.

62 Al parecer los bonobos también tienen tabú del incesto. Los hijos varones se quedan a vivir con sus madres, formando un vínculo muy fuerte. Pero no se ha observado ningún caso de incesto.

que vicien nuestro razonamiento? La respuesta más habitual es apelar a algún método de razonamiento moral como el *equilibrio reflexivo* que filtre los errores.⁶³ Pero incluso si practicamos meticulosamente algún método análogo al de los científicos, y perseguimos la armonía entre las normas generales y nuestras intuiciones, podemos equivocarnos por entero, si nuestras intuiciones están «viciadas» por las necesidades de la selección natural: buscar la armonía con creencias erróneas puede incluso empeorar las cosas. Y es posible que muchas de nuestras creencias sean como el especismo, universales y profundamente arraigadas, adaptativas y tan falsas como el racismo, que antes mantuvimos con la misma universalidad. Incluso pudiese ser, como pensó Nietzsche, que «la verdad mata».

Alguien podría argumentar que esto también ocurre en las ciencias naturales. Pero aunque tengamos una concepción muy parcial e imperfecta de la realidad, el nivel de error no puede ser completo. No sería adaptativo estar completamente equivocados acerca del mundo exterior, y las cosas no se encenderían al darle al botón. En ética no tiene por qué haber una correspondencia entre lo adaptativo y lo acertado. Evidentemente hay una forma muy sencilla de resolver este problema. Siguiendo a Kropotkin, podemos definir lo bueno como lo bueno para la especie, y lo malo, como lo malo para la especie. No obstante, aparte de que hablar de beneficios para la especie está prohibido en biología, esto no es lo que queremos decir cuando decimos que algo es justo o injusto, moral o inmoral.

No puedo hacer aquí una taxonomía completa de todas las posiciones metaéticas, que son muchas y no siempre se definen del mismo modo. Haré sólo un boceto de algunas disputas metaéticas para dar una idea aproximada de la relevancia que puede tener el darwinismo en este campo.

Las opciones

Una de las principales preguntas que se hacen los metaéticos es la de si cuando decimos «esto es inmoral» estamos haciendo una aseveración y expresando una creencia susceptible de ser verdadera o falsa. Los *cognitivistas* contestan que «sí», los *no-cognitivistas*, «no». Una forma sui generis de no-cognitivismo es el *prescriptivismo* de R. M. Hare. Hare sostiene que los juicios morales son órdenes o imperativos como «no matarás», que no es una proposición verdadera o falsa. Más populares son las variantes *emotivistas* del no-cognitivismo, como las de A. J. Ayer y C. L. Stevenson, que ven las afirmaciones morales como expresiones de sentimientos o emociones (como «¡buuh!» y «¡hurra!»), que no aspiran a la verdad. Estas posiciones no se ven amenazadas por el evolucionismo y algunos han desarrollado defensas darwinistas de su posición.⁶⁴

Los que si podemos inquietarnos somos los filósofos y la gente de la calle que (1) somos *cognitivistas* porque pensamos que los juicios morales expresan creencias que aspiran a la verdad, y pensamos también que (2) al menos algunos juicios son verdaderos. Hay *cognitivistas* que niegan (2). Es decir, están de acuerdo en que los juicios morales aspiran a la verdad, pero creen que nunca la alcanzan. El principal representante de esta escuela –la *teoría del error*– ha sido hasta ahora John Mackie. Mackie mantiene que los juicios morales aspiran a la verdad, pero no pueden alcanzarla, porque no hay ningún valor moral objetivo que alcanzar. Más recientemente, Michael Ruse y Richard Joyce han intentado ofrecer una teoría darwinista del error. Estos autores apelan a la idea de que podemos explicar la moral por su valor adaptativo, como un truco de la naturaleza para que mejorar el éxito reproductivo, que no refleje ninguna verdad.⁶⁵ Otros autores, como Robert Richards, Richmond Campbell, Daniel Dennett, William Casebeer o Peter Carruthers han reaccionado ante el darwinismo de forma con-

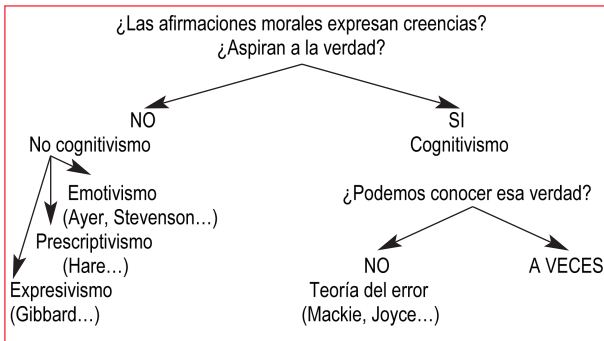
⁶³ Véase por ejemplo N. Daniels «Reflective Equilibrium» accesible en <http://plato.stanford.edu/entries/reflective-equilibrium/>. La solución sería sumar la adaptación a las fuentes de sesgo que este método ya tiene en cuenta.

⁶⁴ Véase A. Gibbard, *Wise Choices, Apt Feelings*, Oxford University Press, Cambridge MA, 1992 y A. Rosemberg, «Darwinism in Moral Philosophy and Social Theory», en *Philosophy of Biology*, que discute el darwinismo emotivista de Gibbard en pp. 326 y ss.

⁶⁵ R. Joyce, *The Evolution of Morality*, MIT Press, Cambridge, 2006, p. 223.

traria, formulando reivindicaciones darwinistas de la moral. Otros, posiblemente la mayoría, piensan que las teorías darwinistas del error son un error, pero no se suscriben tampoco a alguna teoría darwinista «del acierto» o que reivindique la moral. ¿Cómo defender esta posición?

Figura 5.
Algunas disputas metaéticas



En primer lugar, hay que distinguir el origen de una creencia y sus condiciones de verdad. Los creyentes saben que tienen las creencias religiosas que tienen porque se las han inculcado de niños. Si hubiesen crecido en otras condiciones tendrían creencias diferentes. Pero ello no demuestra que sus creencias sean necesariamente falsas. Algunas de las creencias que nos inculcan de niños –por ejemplo, sobre la peligrosidad de los enchufes– son verdaderas. El hecho de que el sentimiento moral se haya desarrollado en los homínidos según han ido evolucionando, no establece que nuestras creencias morales tengan que ser sólo ficciones útiles. El desarrollo del sentimiento moral no es además incompatible con el desarrollo de las capacidades necesarias para distinguir lo verdadero de lo falso.

Tomemos el ejemplo de las matemáticas. Los miembros de ciertas especies tenemos habilidades matemáticas porque nos resultaron útiles. Darwin comenta en *El origen del hombre* que la adopción del sistema decimal está probablemente relacionada con el hecho de que tengamos diez dedos y que el cinco en números

romanos representa una mano, el seis, una mano y un dedo, etc.⁶⁶ Pero hoy sabemos hacer matemáticas con números árabes y con sistemas no decimales, y hemos desarrollado la matemática más allá de nuestras necesidades adaptativas. Hay algunas áreas de las matemáticas sobre las que hay algunos desacuerdos, y aún se discute si las matemáticas se inventan o se descubren, o si una parte se inventa y otra se descubre. Pero esto no significa que en matemáticas no haya errores, aciertos, demostraciones y criterios de corrección universales y objetivos.

Esta visión de la ética es compatible con la idea de que hay un sentido moral *innato*, semejante al sentido lingüístico –al parecer también hay un sentido matemático innato. Esta visión es también compatible con una teoría del error no metaética, sino *normativa*, que nos lleve a cuestionar muchas creencias adaptativas no justificadas, como las que nos conducen al espezismo o el nepotismo, pero sin afirmar que nada es realmente injusto o inmoral.

La evolución ha desarrollado nuestras facultades mentales hasta el punto en que podemos volvernos sobre nuestras creencias y analizarlas racionalmente, pero también ha marcado profundamente nuestro sentido moral. Condenamos a quien deja a un niño morir a su lado cuando podría salvarlo con poco esfuerzo, pero no al que deja morir cada día a muchísimos niños, que podría salvar con aún menos esfuerzo, sólo porque están más lejos. Reaccionamos ante el que dice «ay» más que ante el que nos hace saber a través de un mensaje de texto que le hemos hecho sufrir, y numerosos detalles moralmente irrelevantes producen en nosotros reacciones muy diferentes.⁶⁷ Ahora que estamos en guardia y podemos reflexionar sobre la forma en que las necesidades adaptativas de nuestros antepasados han dejado en nosotros fuentes de error y parcialidad, estamos en mejores condiciones de auto-corregirnos, reflexionando sobre las condiciones

⁶⁶ *El origen del hombre*, cap. 5.

⁶⁷ Varios experimentos muestran los detalles moralmente irrelevantes, pero fundamentales en la vida moral de nuestros antepasados, como ver un rostro con dolor, que nos hacen comportarnos de forma diferente. Véase, por ejemplo, A. Rovira, D. Swapp, B. Spanlang y M. Slater, «The Use of Virtual Reality in the Study of People's Responses to Violent Incidents», en prensa en *Frontiers in Behavioural Neuroscience*, M. Cheetham, A. Pedroni, A. Antley, M. Slater y L. Jancke, «Virtual Milgram», <http://frontiersin.org/humanneuroscience/paper/10.3389/fneuro.09/029.2009/>.

en que desarrollamos algunas de nuestras reacciones morales y pensando en lo inadaptadas que están al mundo actual.

Tecnológicamente nos hemos desarrollado mucho. Nuestras armas y herramientas son mucho más complicadas y eficaces que las de nuestros antepasados. Nuestra ciencia deja atrás a los conocimientos de farmacia o geografía de otros animales. Sin embargo, seguimos matando y dejando morir a decenas de miles de inocentes solamente porque no les vemos la cara y seguimos siendo unos tiranos con otras especies y con nuestro

planeta. Tenemos más medios que nunca pero, moralmente, seguimos siendo unos trogloditas.⁶⁸ Aprovechemos pues las enseñanzas de Darwin, no para afirmar que la idea de que debemos intentar reducir el sufrimiento no es más que una mentira útil, sino para estar atentos a las formas en que tendemos a equivocarnos, para adoptar una actitud correcta con nuestros congéneres, con las demás especies y con el planeta. La historia de la ética no ha hecho más que empezar y el darwinismo, en lugar de llevar al nihilismo, quizá pueda darle el empujón evolutivo que necesita, antes de que sea demasiado tarde.⁶⁹

⁶⁸ El desfase entre nuestro desarrollo científico y nuestro desarrollo moral es tal, que algunos filósofos piensan que mientras no logremos mejorar también moralmente, es demasiado peligroso permitir el incremento, mediante métodos químicos, por ejemplo, de nuestra capacidad intelectual. Véase I. Persons y J. Savulescu, *Journal of Applied Philosophy* 25, 2008.

⁶⁹ He preparado esta conferencia porque mis compañeros del Proyecto Gran Simio me pidieron que representase al Proyecto en el aniversario de Darwin. Ha sido un trabajo extra para el que no me quedaba mucho tiempo y pido disculpas si han quedado errores y erratas en el texto. Agradezco mucho el repaso general que ha hecho Santiago Merino y el que ha hecho Max Köbel de la sección metaética así como varias conversaciones con Andrew Williams, Marta Tafalla y, cuando era estudiante, con José Luis García García.

Darwin y el diseño inteligente*

Francisco Ayala

Profesor del Departamento de Ecología y Biología Evolutiva
Universidad de California

Charles Robert Darwin (1809-1882) nació el 12 de febrero de 1809 en Shrewsbury (Inglaterra). *El origen de las especies*, el libro por el que Darwin es mejor conocido fue publicado en inglés en 1859. El año de 2009 es ocasión para celebrar dos aniversarios importantes de Darwin: el segundo centenario de su nacimiento el 12 de febrero, y el sesquicentenario de la publicación de *El origen* el 24 de noviembre.

Darwin ocupa un lugar preeminente en la historia de las ideas, siendo justamente reconocido como el autor original de la teoría de la evolución. En *El origen de las especies*, publicado en 1859, acumuló pruebas que demostraban la evolución de los organismos. Pero Darwin logró algo mucho más importante para la historia intelectual que demostrar la evolución. De hecho, acumular pruebas de la descendencia común con diversificación fue un objetivo subsidiario de la obra maestra de Darwin. *El origen de las especies* es, primero y ante todo, un esfuerzo sostenido por resolver el problema de cómo explicar de manera científica el diseño de los organismos. Darwin trata de explicar las adaptaciones de los organismos, su complejidad, diversidad y maravillosos ingenios como resultado de procesos naturales. La evidencia de la evolución surge porque la evolución es una consecuencia necesaria de la teoría del diseño de Darwin.

El argumento más convincente escrito a favor del diseño inteligente es el libro *Natural Theology* (Teología natural, 1802) de William Paley, basado en conocimientos biológicos, tan amplios y precisos como era posible en la época. Paley expone, por ejemplo, el argumento de que el ojo humano es un aparato tan complejo como un reloj o un telescopio, con varias partes que deben ajustarse de forma precisa para lograr la visión. Paley explora la diversidad de órganos y miembros en toda clase de organismos, diseñados con precisión para desempeñar sus funciones. Paley veía además, que las relaciones entre machos y hembras de cada especie, las relaciones entre animales de diferentes especies, y entre los organismos y sus entornos, daban prueba de haber sido diseñados de forma precisa por un Creador omnipotente.

El viaje del Beagle

Charles Darwin fue hijo y nieto de médicos. Se matriculó como estudiante de medicina en la Universidad de Edimburgo. Sin embargo, después de dos años abandonó Edimburgo y se trasladó a la Universidad de Cambridge para proseguir sus estudios y prepararse para ser clérigo. No fue un estudiante excepcional, pero estaba profundamente interesado en la historia natural. El 27 de diciembre de 1831, unos meses después de su graduación en la Universidad de Cambridge, Darwin zarpó, como naturalista, a bordo del *HMS Beagle* en un viaje

* Ensayo basado en una conferencia con el mismo título dictada el 12 de mayo de 2009 en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. Las mismas ideas están ampliadas, detalladas y documentadas en mi libro, *Darwin y el diseño inteligente: creacionismo, cristianismo y evolución*, Alianza Editorial, Madrid, 2007.

alrededor del mundo que duró hasta octubre de 1836. Con frecuencia desembarcaba en las costas para realizar viajes prolongados al interior con el objeto de recoger especímenes de plantas y animales. El descubrimiento de huesos fósiles pertenecientes a grandes mamíferos extinguidos en Argentina y la observación de numerosas especies de pájaros pinzones en las islas Galápagos estuvieron entre los acontecimientos que se considera estimularon el interés de Darwin en cómo se originan las especies.

Las observaciones que efectuó en las islas Galápagos quizá fueron las que tuvieron más influencia sobre el pensamiento de Darwin. Las islas, en el ecuador a 900 kilómetros de la costa oeste de Sudamérica, habían sido llamadas Galápagos por los descubridores españoles debido a la abundancia de tortugas gigantes, distintas en diversas islas y diferentes de las conocidas en cualquier otro lugar del mundo. Las tortugas se movían perezosamente con un ruido metálico, alimentándose de la vegetación y buscando las escasas charcas de agua fresca existentes. Habrían sido vulnerables a los depredadores, pero estos brillaban por su ausencia en las islas. En las Galápagos, Darwin encontró grandes lagartos, que a diferencia de otros ejemplares de su especie se alimentaban de algas y sinsontes, bastante diferentes de los hallados en el continente sudamericano. Los pinzones variaban de una isla a otra en diversas características, notables sus picos distintivos, adaptados para hábitos alimentarios dispares: cascar nueces, sondear en busca de insectos, atrapar gusanos.

Además de *El origen de las especies* (1859), Darwin publicó numerosos libros, en especial *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex* (1871), que extiende la teoría de la selección natural a la evolución humana.

El diseño inteligente

El argumento de Paley sobre el diseño inteligente ha sido recientemente resucitado en Estados Unidos y se está exten-

diendo a través del mundo. Siguiendo a Paley, propone este movimiento que los organismos son muy complejos y eso muestra que han sido «diseñados», de la misma manera que la complejidad de un reloj muestra haber sido diseñado por un relojero. Dicen sus proponentes que el azar no puede dar una explicación satisfactoria del ojo, claramente diseñado para ver, o de las alas, obviamente diseñadas para volar, o de las agallas, específicamente diseñadas para respirar en el agua. Sólo el gran «Diseñador Inteligente» (implícitamente, Dios) puede dar cuenta de la organización funcional de los seres vivos. Creyentes de buena voluntad aceptan estas ideas porque parecen ser prueba de la existencia de Dios y su acción creadora.

Sin embargo, las implicaciones del diseño inteligente son radicalmente contrarias a lo que sus proponentes (que característicamente no son ni científicos ni teólogos) arguyen. El mundo de la vida está lleno de imperfecciones, defectos, sufrimiento, crueldad y aun sadismo. La espina dorsal humana está mal diseñada, los depredadores devoran cruelmente sus presas, los parásitos sólo pueden vivir si destruyen a sus huéspedes, quinientos millones de personas sufren de la malaria y un millón y medio de niños mueren por su causa cada año. No me parece apropiado atribuir los defectos, la miseria y la crueldad que predominan en el mundo viviente al diseño específico del Creador.

Consideremos un ejemplo. El 20% de todos los embarazos abortan espontáneamente durante los dos primeros meses de la preñez. El número sube a veinte millones de abortos en el mundo cada año. Los proponentes del diseño inteligente implícitamente atribuyen este desastre al diseño (incompetente) del Creador, con lo cual le convierten en un abortista de magnitud gigantesca. La teoría de la evolución explica esta calamidad como consecuencia de la selección natural, proceso torpe y azaroso. El Dios de la revelación y la fe cristiana es un Dios de amor, misericordia y sabiduría. La teoría de la evolución es compatible con la fe, mientras que el diseño inteligente no lo es.

Diseño sin diseñador

A consecuencia de la selección natural, los organismos exhiben «diseño», esto es, exhiben órganos y funciones adaptativas. Pero el diseño de los organismos tal como estos existen en la naturaleza no es «diseño inteligente»; más bien, es el resultado de un proceso natural de selección, que fomenta la adaptación de los organismos a sus entornos. Así es como funciona la selección natural: los individuos que tienen variaciones beneficiosas, es decir, variaciones que mejoran su probabilidad de supervivencia y reproducción, dejan más descendientes que los individuos de la misma especie que tienen menos variaciones beneficiosas. En consecuencia, las variaciones beneficiosas se incrementarán en frecuencia a lo largo de las generaciones; las variaciones menos beneficiosas o perjudiciales serán eliminadas de la especie. Con el paso del tiempo, todos los individuos de la especie poseerán las características beneficiosas; nuevas características continuarán acumulándose durante eones de tiempo.

Si la explicación de Darwin de la organización adaptativa de los seres vivos es correcta, la evolución necesariamente es una consecuencia de que los organismos se adapten a diversos entornos en distintos lugares, y de las condiciones siempre cambiantes del entorno a lo largo del tiempo, y de que las variaciones hereditarias estén disponibles en un momento determinado y mejoren las oportunidades de los organismos de sobrevivir y reproducirse. La evidencia de la evolución biológica de *El origen* se halla en el centro de la explicación que Darwin da del «diseño» porque esta explicación implica que la evolución biológica ocurre. Pero el cambio evolutivo no lo fomenta directamente la selección natural y, por tanto, no es su consecuencia necesaria. De hecho, como afirma Darwin en *El origen*, algunas especies pueden permanecer sin cambios durante largos periodos de tiempo, como los *Nautilus*, *Lingula* y otros llamados «fósiles vivos», organismos que han permanecido inalterados en su aspecto durante millones de años.

Un proceso creativo: selección natural

A veces se tiene la idea de que la selección natural es un proceso puramente negativo, la eliminación de mutaciones perjudiciales. Pero la selección natural es mucho más que eso, pues es capaz de generar novedad al incrementar la probabilidad de combinaciones genéticas que de otro modo serían extremadamente improbables. La selección natural es pues un proceso creativo. No «crea» las entidades componentes sobre las cuales opera (las mutaciones genéticas), pero produce combinaciones adaptativas que no podrían haber existido de otro modo; en cierto sentido, «crea» las adaptaciones de los organismos, da cuenta de sus órganos complejos y de su integración funcional en cada organismo.

La combinación de unidades genéticas que porta la información hereditaria responsable de la formación del ojo de los vertebrados no se hubiera producido jamás por un mero proceso aleatorio. Ni siquiera aunque tengamos en cuenta los más de tres mil millones de años durante los cuales ha existido la vida sobre la Tierra. Pero la evolución no es un proceso gobernado por acontecimientos fortuitos. La complicada anatomía del ojo, al igual que el exacto funcionamiento del riñón, son el resultado de un proceso no azaroso: la selección natural.

La selección natural produce combinaciones de genes que, de lo contrario, serían muy improbables porque es un proceso que avanza por etapas. El ojo humano no apareció súbitamente en toda su perfección actual. Nuestros antepasados tuvieron desde hace más de quinientos millones de años cierta clase de órganos sensibles a la luz. La percepción de luz, y más tarde la visión, eran importantes para la supervivencia de estos organismos y su éxito reproductivo. En consecuencia, la selección natural favoreció los genes y las combinaciones genéticas que aumentaban la eficacia funcional del ojo. Dichas unidades genéticas se acumularon de forma gradual, conduciendo finalmente al ojo de los vertebrados, de alta complejidad y eficacia. La selección natural es un proceso creativo, aunque no

crea los materiales en bruto –las mutaciones genéticas– sobre las cuales actúa.

Un ingeniero tiene una preconcepción de lo que quiere diseñar, y escogerá los materiales adecuados y modificará el diseño de modo que cumpla la función pretendida. Por el contrario, la selección natural no tiene previsión, ni opera de acuerdo a un plan preconcebido. Se trata de un proceso puramente natural que resulta de las propiedades interactivas de entidades fisicoquímicas y biológicas. La selección natural es sencillamente una consecuencia del diferencial de supervivencia y reproducción de los seres vivos, como ya se dijo. Posee cierta apariencia de propósito porque está condicionada por el entorno: qué organismos sobreviven y se reproducen de forma más eficaz depende de qué variaciones posean que sean útiles o beneficiosas para ellos en el lugar y en el momento en que viven dichos organismos.

Evolución y extinción

Pero la selección natural no se anticipa a los medio ambientes del futuro; los cambios medioambientales drásticos podrían ser insuperables para organismos que anteriormente estuvieran bien adaptados. Por ello, la extinción de especies es un resultado habitual del proceso evolutivo. Las especies hoy existentes representan el equilibrio entre la aparición de nuevas especies y su eventual extinción. El inventario disponible de especies vivas ha descrito casi dos millones de especies, aunque se calcula que ahora hay en existencia al menos diez millones. Pero sabemos que más del 99% de todas las especies que jamás han vivido sobre la Tierra se han extinguido sin dejar descendencia. Así, desde el comienzo de la vida sobre la Tierra hace tres mil quinientos millones de años, el número de especies diferentes que han vivido sobre nuestro planeta probablemente supere los mil millones.

El registro fósil muestra que la vida ha evolucionado de una forma azarosa. Las radiaciones de algunos grupos de organis-

mos; las expansiones numéricas y territoriales de otros grupos; los relevos de una forma por otra; la ocasional pero irregular ocurrencia de tendencias hacia un incremento del tamaño u otras formas de cambio; y las siempre presentes extinciones, se explican por la selección natural de los organismos sometidos a los caprichos de la mutación genética, el desafío medioambiental y la historia pasada. El relato científico de estos acontecimientos no necesita recurrir a un plan predeterminado, ya sea impreso desde el principio o a través de sucesivas intervenciones por un Diseñador omnisciente y todopoderoso. La evolución biológica difiere de una pintura o un artefacto en que no es el resultado de un diseño preconcebido. El diseño de los organismos no es inteligente, sino imperfecto y, a veces, completamente disfuncional.

Los argumentos de los defensores del diseño inteligente contra la increíble improbabilidad de una explicación aleatoria de las adaptaciones de los organismos son irrelevantes porque la evolución no está gobernada por mutaciones fortuitas. Más bien, hay un proceso natural (es decir, una selección natural) que no es aleatorio, sino orientado y capaz de generar orden y «crear». Los rasgos que los organismos adquieren en sus historias evolutivas no son fortuitos, sino que están determinados por su utilidad funcional para los organismos, diseñados, por así decirlo, para servir a sus necesidades vitales.

Sin embargo, el azar es una parte integral del proceso evolutivo. Las mutaciones que producen las variaciones hereditarias disponibles para la selección natural surgen al azar. Las mutaciones son aleatorias o acontecimientos casuales porque (1) son raras excepciones a la fidelidad del proceso de la replicación de ADN, y (2) porque no hay forma de saber qué gen mutará en una célula particular o en un individuo particular. Pero el significado de «azaroso» que es más importante para comprender el proceso evolutivo es que (3) las mutaciones no están orientadas con respecto a la evolución; ocurren de forma independiente de si son beneficiosas o perjudiciales para los organismos. Algunas son benéficas, la mayoría no lo son, pero sólo las benéficas se incorporan a los organismos a través de la selección natural.

La aleatoriedad adaptativa del proceso de mutación (así como los caprichos de otros procesos que intervienen en el gran teatro de la vida) es contrapesada por la selección natural, que preserva lo que es útil y elimina lo perjudicial. Sin mutaciones hereditarias, la evolución no podría tener lugar, porque no habría variaciones que pudieran ser transmitidas de manera diferenciada de una a otra generación. Pero sin selección natural, el proceso de mutación produciría desorganización y extinción porque la mayoría de las mutaciones son desventajas.

Diversidad y complejidad

El punto que merece la pena subrayar es que la evolución no es el resultado de procesos aleatorios, sino que hay un proceso selectivo, que «escoge» combinaciones adaptativas porque estas se reproducen de manera más eficaz y así llegan a predominar en las poblaciones de organismos. Las combinaciones adaptativas constituyen, a su vez, nuevos niveles de organización sobre los cuales vuelven a operar los procesos de mutación (aleatoria) más selección (no aleatoria o direccional). La complejidad de organización de los animales y las plantas ha surgido como consecuencia de la selección natural y su lento y progresivo avance, a lo largo de eones de tiempo.

Varios cientos de millones de generaciones separan a los animales modernos de los primeros animales del periodo geológico Cámbrico (hace 542 millones de años). El número de mutaciones que pueden ocurrir, y las finalmente seleccionadas, en millones de individuos a lo largo de millones de generaciones es difícil de comprender para una mente humana. Pero podemos entender fácilmente que la acumulación de millones de pequeños cambios funcionalmente ventajosos pudo producir órganos adaptativos de notable complejidad, como el ojo. Paleontólogos y biólogos han acumulado evidencia de la evolución gradual del ojo, como de otros órganos y, también, organismos.

Un punto crítico es que la evolución por selección natural es un proceso incremental, que actúa a lo largo del tiempo y pro-

duce organismos más capaces de sobrevivir y reproducirse que otros, que de forma característica difieren entre sí en cualquier época sólo en pequeños aspectos; por ejemplo, la diferencia entre poseer o no una enzima capaz de sintetizar el aminoácido histidina, o el tener más o menos células pigmentadas que reaccionan a la luz.

A lo largo de eones de tiempo, multitudes de organismos complejos han aparecido sobre la Tierra. La complejidad aumentada no es una consecuencia necesaria de la selección natural, pero aparece de forma ocasional como un resultado estadístico. Ocasionalmente, una mutación que aumenta la complejidad será favorecida por la selección natural, por encima de las mutaciones que no incrementan la complejidad. Mutaciones que incrementan la complejidad se acumulan así con el paso del tiempo. Las clases de organismos más longevas que hay sobre la Tierra son las bacterias microscópicas que han existido de forma continuada en nuestro planeta durante tres mil millones y medio de años y sin embargo no muestran mayor complejidad que sus antiguos antepasados. Organismos más complejos aparecieron mucho después, sin la eliminación de sus antepasados más simples. Por ejemplo, los primates aparecieron sobre la tierra sólo hace cincuenta millones de años; nuestra especie, el *Homo sapiens*, apareció hace menos de doscientos mil años.

En la evolución no hay ninguna entidad o persona que seleccione las combinaciones adaptativas. Estas se seleccionan a sí mismas porque los organismos que las poseen se reproducen de modo más eficaz que los que tienen variaciones menos adaptativas. La selección natural no persigue producir organismos de una clase predeterminada, sino sólo aquellos que se adaptan a sus entornos actuales. Qué características serán seleccionadas dependerá de las variaciones que estén casualmente presentes en un momento y en un lugar dados. Esto a su vez depende del aleatorio proceso de mutación, así como de la historia previa de los organismos (es decir, de la constitución genética que tengan como consecuencia de su evolución anterior). La selección natural es un proceso «oportunistas», que aumenta la «creatividad» del proceso de evolución, tal

como se expresa en la multiplicidad y diversidad de las especies. Como se ha dicho, las variables que determinan en qué dirección procederá la selección natural son el medio ambiente, la constitución preexistente de los organismos y las mutaciones que surjan azarosamente.

Por tanto, la adaptación a un hábitat dado puede ocurrir en una diversidad de formas distintas. Un ejemplo podría tomarse de las adaptaciones de la vida vegetal al clima del desierto. La adaptación fundamental es a la condición de sequedad, que implica el riesgo de desecación. Durante una gran parte del año, a veces durante varios años seguidos, no hay lluvia. Las plantas han cumplido la urgente necesidad de ahorrar agua de diversas maneras. Los cactus han transformado sus hojas en espinas, tras convertir sus troncos en depósitos para almacenar una reserva de agua; la fotosíntesis se realiza en la superficie del tronco en vez de en las hojas. Otras plantas carecen de hojas durante la estación seca, pero en cuanto llueve, estallan en hojas y flores y rápidamente producen semillas. Un tercer modo de adaptación es el de las plantas efímeras, que germinan a partir de semillas, crecen, florecen y producen semillas: todo en el espacio de las pocas semanas en que disponen de agua de lluvia; el resto del año las semillas yacen inactivas en el suelo.

La teoría de la evolución manifiesta la casualidad y la necesidad entrelazadas en el meollo de la vida; el azar y el determinismo enzarzados en un proceso natural que ha producido las más complejas, diversas y hermosas entidades del universo: los organismos que habitan la Tierra, entre ellos los seres humanos que piensan y aman, dotados de libre albedrío y de poder creativo, y capaces de analizar el proceso mismo de la evolución que les dio existencia. Este es el descubrimiento fundamental de Darwin, que hay un proceso que es creativo aunque no sea consciente, que el diseño de los organismos se puede explicar como el resultado de procesos naturales gobernados por leyes naturales. La selección natural, descubierta por Darwin, representa una visión fundamental que ha transformado para siempre la manera como la humanidad se percibe a sí misma y su lugar en el universo.

El párrafo final de la segunda edición de *El origen* concluye: «Hay grandeza en esta concepción de que la vida, con sus diferentes fuerzas, ha sido alentada por el Creador en un corto número de formas o en una sola, y que, mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de la gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un principio tan sencillo, infinidad de formas más bellas y portentosas».

En 1859 Darwin publica *El origen de las especies*, que pronto alcanza un éxito notable, convirtiéndose en el texto fundamental del evolucionismo moderno. En esta obra se expone, aportando una enorme cantidad de datos científicos, una de las ideas centrales de la teoría de la evolución: la variedad de especies existentes en la actualidad procede de un tronco común. El darwinismo suscitó, desde el principio, una gran controversia pues supone una nueva visión de la interpretación literal del pasaje bíblico relativo al origen del ser humano. Fue, por esta misma razón, acogido con entusiasmo por aquellos científicos que consideraron sus tesis como la expresión de un pensamiento opuesto a toda teoría antropocéntrica. Este Cuaderno de Sostenibilidad y Patrimonio Natural recoge los textos del ciclo de conferencias que en 2009 organizó, con la colaboración de la Fundación Banco Santander, el Museo Nacional de Ciencias Naturales para conmemorar el bicentenario del nacimiento de uno de los más ilustres fundadores del evolucionismo biológico, Charles Darwin.

SOSTENIBILIDAD

ISBN 978-84-92543-27-4

