

Deusto Forum

Francisco J. Ayala

Evolución, ética y religión

Diego Bermejo (ed.)



Evolución, ética y religión

Francisco J. Ayala

Evolución, ética y religión

Edición a cargo de Diego Bermejo

2013
Universidad de Deusto
Bilbao

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Lan honen berregintza, banaketa, komunikazio publiko edo moldaketaren bat egiteko, ezinbestekoa da egileen baimena izatea, legeak ezarritako salbuespenetan izan ezik. Lan honen atalen bat fotokopiatu edo eskaneatu behar izanez gero, jo ezazu CEDROra (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org).

Imagen de portada: Charles Darwin (1809-1882), hacia 1854
Fotografía de un grabado de G. Kruell. Cortesía de G. Evelyn Hutchinson

© Publicaciones de la Universidad de Deusto

Deustuko Unibertsitatea Argitalpenak

Apartado 1 - 48080 Bilbao

e-mail: publicaciones@deusto.es

ISBN: 978-84-15759-03-4

Deusto Forum, enraizado en el mundo del saber y vivir propio de una Universidad, abre sus puertas a una actividad que no le debe ser ajena: hablar de y dialogar sobre la vida socio-política y cultural, que es acercarse a la vida del ciudadano; y el **Forum** lo hace desde su específica óptica universitaria; con apertura a todas las ideas, rigor de exposición y mentalidad crítica.

Deusto Forumek Unibertsitate batek bere dituen jakintza eta izate modutan oinarriturik, alde batera utzi behar ez duen ihardun bati, bizimodu sozio-politikoari eta kulturari buruzko elkarrizketari, irekitzen dio atea Hiritarraren egunerokora hurbildu asmotan, eta **Forum**ak bere ikuspegi unibertsitaritik egin nahi du lan hori: ideia guztien aurrean ireki, azalpenetan zehatz eta jarrera kritikoarekin jokatzu.

Deusto Forum

Índice

Prólogo	11
Hitzaurrea	13
Exordio: «Francisco J. Ayala: pasión por la ciencia – pasión por la vida», <i>Diego Bermejo</i>	15
A modo de introducción	31
Dos revoluciones: Copérnico y Darwin	41
Naturaleza humana: de la biología a la moral	59
Ciencia y religión: reflexiones y opiniones	83
Bibliografía seleccionada de Francisco J. Ayala	99

Prólogo

La estancia del profesor D. Francisco J. Ayala en España los primeros días de octubre de 2012, ofreció la oportunidad —mediante los buenos oficios del profesor D. Diego Bermejo— de invitarle a Deusto Forum y de que visitara de nuevo la Universidad de Deusto. Hubo ocasión de que dirigiera y presentara una ponencia en un seminario de profesores y dictara una conferencia. Deusto Forum proyectaba publicar el texto de ambas intervenciones, pero una vez más los buenos oficios del profesor D. Diego Bermejo permitieron añadir a ellos un tercer texto, que cerraba la temática abordada en las dos anteriores.

Se trata en ellos, como indica el profesor Ayala, del origen de la ciencia en el sentido actual (*Dos revoluciones: Copérnico y Darwin*), de las raíces del comportamiento moral (*Naturaleza humana: De la Biología a la Moral*) y de la relación entre ciencia y religión (*Ciencia y Religión: Reflexiones y opiniones*). Los tres ensayos, por tanto, introducen al lector en las relaciones una y otra vez repensadas y discutidas entre *Evolución, Ética y Religión* —como apunta su título— y lo hacen de la mano de una autoridad de prestigio indiscutido en la materia como es D. Francisco J. Ayala, profesor de biología molecular, evolutiva y ecológica y de filosofía y lógica de la ciencia en la Universidad de California—Irvine—.

El volumen contiene asimismo un Exordio, *Francisco J. Ayala: pasión por la ciencia – pasión por la vida*, del profesor Bermejo que ofrece una semblanza y nos aproxima al pensamiento de D. Francisco J. Ayala; una *A modo de Introducción*, en donde el autor explica el origen y sentido de sus tres ensayos; y una *Bibliografía seleccionada de Francisco J.*

Ayala, en la que el propio autor elige de entre sus más de mil publicaciones, las que se recogen en ella.

Ojalá esta aproximación introductoria a las relaciones entre Ciencia, Ética y Religión facilite al lector la reflexión sobre tan importante y compleja problemática, «de gran consecuencia para una vida racional en nuestros tiempos» (Francisco J. Ayala).

Deusto Forum

Hitzaurrea

Francisco J. Ayala irakasleak 2012ko urriaren lehenengo egunetan Espainian egin zuen egotaldiak aukera eman zigun —Diego Bermejo irakaslearen lan bikainari esker— Deusto Forumera gonbidatu eta Deustuko Unibertsitatea berriro bisitatu zezan. Irakasleen mintegi batean ponentzia bat eskaini eta aurkezteaz gain, hitzaldi bat emateko aukera ere izan zuen. Deusto Forum bi hitzaldietako testua argitaratzeko asmoa zuen; baina, berriro ere, Diego Bermejo irakaslearen lan bikainari esker, hirugarren testu bat ere erantsi ahal izan zitzaien, aurreko bien gaia sakondu eta borobiltzen zuena.

Ayala irakasleak dioen moduan, gaiaren hiru ikuspegi jorratzen dira testuetan: zientziaren jatorria gaur eguneko zentzuan (*Dos revoluciones: Copérnico y Darwin*), jokabide moralaren sustraiak (*Naturaleza humana: De la Biología a la Moral*), eta zientziaren eta erlijioaren arteko harremana (*Ciencia y Religión: Reflexiones y opiniones*). Hiru saioek barneratzen dute irakurlea *Eboluzioa*, *Etika* eta *Erljioaren* artean behin eta berriro hausnartu eta eztabaidatu diren harremanetan —izenburuan iradokitzen denez—; eta gai horretan inork zalantzan jartzen ez duen ospe handiko aditu baten eskutik egiten da, Francisco J. Ayalarenetik, hain zuzen. Izan ere, Ayala biologia molekularreko, ebolutiboko eta ekologikoko eta zientziaren filosofia eta logikako irakaslea da Kaliforniako Unibertsitatean (Irvinen).

Liburuak beste hiru atal ere baditu: *Francisco J. Ayala: pasión por la ciencia-pasión por la vida* izenekoa, Bermejo irakasleak eginiko aitzinsolas, Francisco J. Ayalaren biografiaren azalpena eman eta bere pentsamendura hurbiltzen gaituena; atariko hitzak (*A modo de introducción*),

autoreak bere hiru saioen jatorria eta zentzua azaltzen duen zatia; eta bibliografia atala, *Bibliografía seleccionada de Francisco J. Ayala*, autoreak berak argitaratutako mila argitalpen baino gehiagoren artean aukeratutako lanena.

Espero dugu Zientzia, Etika eta Erlijioaren arteko harremanetara hurbiltzeko hasierako saio honek erraztea hain gai garrantziko eta konplexuaren inguruan irakurleak egin beharreko hausnarketa, «ondorio garrantzikoak baititu gure egungo garaian arrazionaltasunez bizitzeko».

Deusto Forum

Exordio

Diego Bermejo

Francisco J. Ayala: Pasión por la ciencia – pasión por la vida

1. Científico darwinista, humanista y popperiano

El *New York Times* calificó no hace mucho tiempo a Francisco J. Ayala de «científico renacentista». Con el apelativo se quería poner de relieve el talante humanista, interdisciplinar y transversal de un hombre apasionado por la ciencia de la vida, pero también por la vida más allá de la ciencia. En él se hace patente la superación del divorcio destacado por Snow entre las dos culturas, científica y humanística, con equilibrio elegante. «Blosse Tatsachenwissenschaften machen blosse Tatsachenmenschen», escribió el filósofo Husserl en su libro sobre la crisis de las ciencias¹. Pareciera estar respondiendo a esta admonición husserliana el profesor Ayala cuando afirma en su libro *Darwin y el Diseño Inteligente*: «Deseo simplemente decir algo que es obvio, pero a veces queda oscurecido por la arrogancia de algunos científicos. Por exitosa que sea, y por universalmente abarcador que sea su tema, una visión científica del mundo es desesperadamente in-

¹ E. Husserl, *Die Krisis der Europäischen Wissenschaften und die transzendente Philosophie*, Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1996, 3. Aufl., S. 4.

completa. Las cuestiones de valor y de sentido están fuera del ámbito científico»².

Científico darwinista

Francisco J. Ayala —actualmente profesor de biología molecular, evolutiva y ecológica; y de filosofía y lógica de la ciencia en la Universidad de California, Irvine— nació en Madrid y, tras su paso por la universidad de Salamanca, se traslada en 1961 a USA, donde en 1964 se doctora en biología en la universidad de Columbia, desarrollando, junto con su maestro Theodosius Dobzhansky, la Teoría Sintética de la Evolución (neodarwinismo). Tras desarrollar su actividad académica en varias universidades (Rockefeller y California-Davis), se establece en la universidad de Irvine (California), en la que recibe el nombramiento de «University Professor» (máxima distinción académica, excepcionalmente concedida por la universidad de California, que detenta en exclusiva en el campus universitario de Irvine, dado que se otorga solamente a un profesor por campus) y desde donde irradia su proyección internacional.

Como científico (darwinista convencido), su labor investigadora se centra en la biología molecular y en la genética evolutiva y poblacional, con aportaciones relevantes en temas como: el reloj molecular de la evolución, el origen de la malaria y otras enfermedades parasitarias (mal de Chagas); origen, evolución, estructura y función del ARN en protozoos parásitos y relevancia de los «introns» (elementos aparentemente superfluos, pero imprescindibles) para la conformación de estructuras biológicas. Ha influido en disciplinas próximas como la biología, la genética, la bioquímica o la paleontología.

Autor prolífico, cuenta en su haber con más de 1.000 artículos científicos y más de 40 libros (algunos en colaboración), traducidos a diferentes idiomas, que recorren desde temáticas estrictamente científicas del campo de la biología genética hasta filosofía de la biología, bioética y diálogo ciencia-religión³.

En cuanto miembro destacado de la comunidad científica internacional, pertenece a un sinnúmero de academias de ciencias y humanidades en todo el mundo:

² F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente. Creacionismo, cristianismo y evolución*, Alianza, Madrid, 2007, p. 193.

³ *Vide Bibliografía final.*

- Miembro: *Academia Nacional de las Ciencias de EEUU, Academia Americana de las Artes y las Ciencias, Sociedad Filosófica Americana.*
- Miembro extranjero: *Academia Rusa de las Ciencias, Academia de Ciencias Naturales de Moscú, Real Academia de las Ciencias de España, Accademia Nazionale dei Lincei (Roma, Italia), Academia Serbia de Ciencias, Academia Mexicana de las Ciencias, Academia Gallega de Farmacia de Galicia, Academia Malagueña de Ciencias, Instituto Latinoamericano de Estudios Avanzados.*
- Presidente: *Sigma Xi, The Scientific Research Society (2003-2006).*
- Presidente: *American Association for the Advancement of Science (1993-1996).*
- Presidente: *Sociedad para el Estudio de la Evolución (1980).*

Es *doctor honoris causa* por las siguientes universidades: Atenas (Grecia); Bolonia y Padua (Italia); Barcelona, Islas Baleares, León, Madrid, Valencia, Vigo, Salamanca, País Vasco (España); Buenos Aires y La Plata (Argentina); Universidad de Chile; Masaryk y South Bohemia (Chequia); Ohio State University (EUA); Varsovia (Polonia); Vladivostok (Rusia).

Ha recibido numerosos premios y condecoraciones, entre los que destacan:

- 2010 - *Premio Templeton* (Reino Unido).
- 2010 - *Premio Trotter en Información, Complejidad e Inferencia*, Texas A&M University (Estados Unidos).
- 2010 - *Premio Capió Fundación Jiménez Díaz* (Madrid-España).
- 2009 - *Premio COSCE por Divulgación Científica*, Confederación de Sociedades Científicas de España (España).
- 2007 - *Premio Internacional de Ciencia e Investigación*, Fundación Cristóbal Gabarrón (España).
- 2007 - *Medalla Presidencial*, Universidad Mount St. Mary's, Maryland (Estados Unidos).
- 2007 - *Premio a la Distinción Científica*, Instituto Americano de Ciencias Biológicas (Estados Unidos).
- 2003 - *Medalla de oro*, Stazione Zoologica Anton Dohrn (Italia).
- 2002 - *Premio Mario Bohoslavsky* de la ARP-SAPC (España).
- 2001 - *U.S. National Medal of Science* (Estados Unidos).
- 2000 - *Medalla de oro de la Academia Nacional de Ciencias de Italia* (Italia).

- 2000 - *William Procter Prize for Scientific Achievement* de Sigma Xi.
- 1998 - *Premio al Científico Distinguido* de SACNAS.
- 1995 - *Premio del Presidente del American Institute of Biological Sciences* (Estados Unidos).
- 1995 - *Medalla de la Universidad de California-Irvine* (Estados Unidos).
- 1995 - *Premio Distinción Rioja* (La Rioja-España).
- 1994 - *Medalla de Oro Honoraria Gregor Mendel* (1994), Academia Checa de las Ciencias (Praga).
- 1993 - *Medalla Elisabeth Goldschmidt*, Universidad Hebrea, Jerusalén (Israel).
- 1987 - *Premio Libertad y Responsabilidad Científica*, AAAS (Estados Unidos).
- 1985 - *Premio Wilhelmine Key*, Sociedad Americana de Genética (Estados Unidos).
- 1981 - *Premio de Honor*, Federación de Sociedades de Genética (Yugoslavia).
- 1979 - *Medalla del Collège de France* (París).

Científico humanista

Convencido de que no sin ciencia, pero que no sólo ciencia es lo que necesita el ser humano para el desarrollo pleno de una vida devenida evolutivamente en él cada vez más compleja, su inquietud humanista le ha conducido a pensar las fronteras de la ciencia con la filosofía, la ética y la teología: filosofía de la biología (biología-cultura, libertad-determinismo, cerebro-mente, homínido-humano), bioética (manipulación genética, experimentos con células madre) y relaciones entre ciencia y religión (compatibilidad entre ciencia y religión, debate sobre el *affaire* creacionismo *versus* evolucionismo en la enseñanza pública en USA y polémica contra la pseudoteoría del Diseño Inteligente). Su afán divulgador ha cristalizado en publicaciones orientadas a facilitar el acercamiento a la ciencia y, sobre todo, a superar prejuicios fundamentalistas tanto en contra como a favor de la ciencia (léase, debate con creacionistas fundamentalistas y defensores del Diseño Inteligente, pero también debate con científicos materialistas).

Pero, además, su compromiso con la realidad social y política, desde su condición primera de científico, le ha llevado a realizar exitosos trabajos de campo en la lucha por la erradicación de enfermedades

parasitarias (malaria, mal de Chagas), a asesorar a instituciones y organismos oficiales: jurídicos (asesor del Tribunal Supremo de USA, para quien elaboró el informe final en el que se basó la sentencia en contra de la enseñanza del creacionismo en la escuela pública como alternativa al evolucionismo, basada en dos argumentos definitivos: los relatos de la creación no son ciencia y el intento de introducir su obligatoriedad en la enseñanza en tanto ciencia vulnera la laicidad de la enseñanza pública); políticos (asesor del presidente Clinton en materias de ciencia y sociedad, y programas de investigación genética; asesor de diversos gobiernos sobre políticas de implementación de I+D+i); y religiosos (asesor del Vaticano en asuntos fronterizos entre ciencia y religión, creacionismo y evolucionismo, y temas candentes de bioética: manipulación genética e investigación con células madre). Como hombre de acción exitoso y solidario realiza una labor desinteresada y continuada de mecenazgo económico a favor de la ciencia, la universidad y las artes (10 millones de dólares de sus beneficios como viticultor y 1 millón de libras esterlinas del Premio Templeton entregados para investigación y becas, entre otros donativos).

Científico popperiano

La así llamada «crisis de los fundamentos científicos», con el cuestionamiento consiguiente del método inductivo clásico (inductivismo ingenuo), ha obligado a la ciencia reciente a repensar su estatuto, función y sentido. La ciencia, desde el falsacionismo popperiano en adelante —estableciendo, como criterio de demarcación propio de la ciencia el método de la falsación de hipótesis y no la verificación—, ha dejado de ser fundamentalista. A esta tradición cabe adscribir al profesor Ayala, cuya relación personal con Karl Popper contribuyó a adquirir un compromiso decidido con un concepto de ciencia abierta para una sociedad abierta. La ciencia, pues, no solamente no debe pretender la candidatura exclusiva a la verdad de las cosas, sino que pone al descubierto, en un ejercicio de autocontención metodológica, incluso las condiciones de posibilidad, presupuestos y límites de todo tipo que confluyen en su teorización y en su praxis; revelando con ello la condición humana y social de «esa cosa llamada ciencia»⁴ que tiende a olvidar el cientismo.

⁴ A. Chalmers, *What Is This Thing Called Science?*, Queensland University Press and Open University Press, 1976 [Trad. esp. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Madrid, 1987].

La ciencia ha dejado de ser la «nueva religión», el método científico un medio alético/soteriológico para alcanzar verdad y salvación, y la comunidad científica una casta sacerdotal administradora de su poder sacral. El resultado ha sido una salutífera cura de adelgazamiento del exceso de *hybris* prometeica que había engordado la ciencia hasta convertirla en referente único de lo real y de lo racional. Pero lo real y lo racional han devenido paulatina y progresivamente complejos. La simplicidad y la transparencia han dejado de ser atributos definidores de lo real y lo racional; también, por tanto, de lo científico. La ciencia sabe de esta complejidad *ad intra* y *ad extra* y sabe, también, que todo intento de simplificación conlleva consecuentemente una reducción. Reducción necesariamente naturalista desde el punto de vista metodológico (la ciencia se aplica a fenómenos exclusivamente naturales, sujetos a falsación, cuestiones de «hecho»), pero no indebidamente materialista desde el punto de vista ontológico (la ciencia no debe afirmar ni negar cuestiones de valor y sentido, ajenas a su ámbito, método y objetivo). Ayala expresa esta convicción, por fidelidad rigurosa al método científico, del modo siguiente: «El naturalismo metodológico afirma los límites del conocimiento científico, no su universalidad»⁵. Consciente de que todo fundamentalismo descansa sobre el mecanismo de la absolutización, de la simplificación reductora de lo complejo, la ciencia postpopperiana asume con alivio su condición de ser *un* mapa, no exclusivo ni excluyente, dentro de la variada y legítima pluralidad cartográfica en que se deja decir e interpretar lo que entendemos por real. El error que debe evitar la ciencia es convertir el criterio de demarcación en criterio de negación de la validez epistemológica de otras formas de experiencia y conocimiento (ciertamente no científico). De ahí que no dude nuestro científico humanista en reconocer: «La ciencia es una forma de conocimiento, pero no es la única. El conocimiento también deriva de otras fuentes, como el sentido común, la experiencia artística y religiosa, y la reflexión filosófica».⁶

2. Cuestiones disputadas: Ciencia, Ética y Religión

El modo popperiano, pragmatista y democrático, de entender la ciencia de nuestro investigador queda reiteradamente patente en manifestaciones públicas y escritas —en contra, a veces, de colegas como

⁵ F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente*, o.c., p. 178.

⁶ *Ibid.*, p. 192.

Dawkins o Dennett, cuyo materialismo no comparte—, para dejar constancia, primero y siempre, de la grandeza de la ciencia, pero también de sus límites; y, segundo y por eso, del respeto obligado a otras formas de hacer experiencia de mundo, más allá de la pretensión de exclusividad y totalitarismo epistemológicos del cientismo.

Los tres textos⁷ que recoge este volumen tratan precisamente de estas cuestiones y pueden valer como una primera introducción al pensamiento del profesor Ayala: la ciencia como cuestión de hecho (*Dos revoluciones: Copérnico y Darwin*), la ética como cuestión de valor (*Naturaleza humana: de la Biología a la Moral*) y la religión como cuestión de sentido (*Ciencia y Religión: reflexiones y opiniones*); poniendo en evidencia problemas, retos y relaciones que surgen entre dichos ámbitos.

La ciencia darwinista: cuestión de hecho

«*Dos revoluciones: Copérnico y Darwin*»

El primer texto subraya la importancia decisiva de Darwin para completar la revolución científica moderna. La «revolución copernicana» (de Copérnico a Newton) aportó una nueva concepción del mundo físico, dejando constancia de que el universo, materia en movimiento, obedece a leyes inmanentes que permiten explicar los fenómenos naturales. La «revolución darwiniana» aportó una nueva visión del mundo orgánico, mostrando que todos los seres vivos evolucionan por selección natural desde especies anteriores a través de la adaptación funcional al medio. A la materia inorgánica en movimiento de la primera revolución científica se sumaba la materia orgánica en movimiento de la segunda. El complejo mundo de la vida quedaba incluido en el dominio metodológico de la ciencia. La «hipótesis Dios» se revelaba definitivamente como científicamente innecesaria para *explicar* los procesos naturales y, a su vez, «Dios como hipótesis» dejaba de ser objeto de demostración científica por no pertenecer al orden de lo natural.

El mundo natural se puede explicar, según el darwinismo, como resultado de procesos adaptativos que permiten concluir en la comprobación de la existencia de un diseño funcional (no exactamente teleo-

⁷ El pretexto lo supuso la estancia de Francisco J. Ayala en la Universidad de Deusto (2.10.2012), invitado por el Equipo de Investigación «Postmodernidad, pluralidad y postsecularidad» para intervenir en el *Seminario de Ciencia, Humanidades y Religión* y en *Deusto Forum*, y para cuya ocasión redactó los textos.

lógico) que no precisa *per se* de un diseñador extranatural («diseño sin diseñador»). La aportación fundamental de Darwin a la teoría de la evolución consiste en haber puesto en evidencia el mecanismo adaptativo de la selección natural. La selección natural se presenta como un proceso selectivo —no aleatorio, pero tampoco prediseñado— que genera combinaciones adaptativas, resultado de varios factores: la mutación genética, los desafíos medioambientales y la historia evolutiva previa. El profesor Ayala subraya y suscribe este aspecto fundamental de la teoría científica evolucionista que provoca serias controversias con los defensores del Diseño. La evolución describe los procesos de la vida como sumamente contingentes y, por tanto, no ontológicamente necesarios ni teleológicamente proyectados. Por eso afirma: «El relato científico de estos acontecimientos es incompatible con 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 monumento en que no es el resultado de un diseño preconcebido. El diseño de los organismos no es inteligente, sino imperfecto y, a veces, disfuncional» (*Dos revoluciones: Copérnico y Darwin*, p. 52). El carácter científico —y sólo científico— de estas aseveraciones queda fuera de toda duda razonable para el darwinista Ayala: «El origen evolutivo de los organismos es hoy una conclusión científica establecida más allá de toda duda razonable, dotada de la clase de certidumbre que los científicos atribuyen a teorías científicas establecidas en física, astronomía, química y biología molecular. Este grado de certidumbre más allá de la duda razonable es lo que se implica cuando los biólogos dicen que la evolución es un «hecho»; el origen evolutivo de los organismos es algo que aceptan prácticamente todos los biólogos» (*Dos revoluciones: Copérnico y Darwin*, p. 55).

Ciencia y ética: cuestión de valor

«*Naturaleza Humana: De la Biología a la Moral*»

El segundo texto plantea la relación entre biología y cultura. La evolución biológica se completa con la evolución cultural, más eficaz por intencionada y más rápida por tecnológica. Pero ¿en qué relación mutua se encuentran? ¿Es la moral, por ejemplo, en tanto que universal cultural, una consecuencia necesaria de la biología? ¿Son las normas morales imperativos biológicos? ¿Son los genes los últimos agentes responsables de las acciones morales? ¿Se explican los juicios morales, contenido nuclear de la ética, por estrictos criterios de selección natu-

ral? ¿Representa el comportamiento moral la última estrategia evolutiva al servicio exclusivo de la supervivencia y preservación del material genético humano?

La sociobiología, disciplina reciente que pretende describir las bases biológicas de los comportamientos sociales en los organismos vivos y aplicarlas posteriormente al comportamiento humano, induce a pensar que la ética, como cualquier otra realidad cultural, cumple una función evolutiva al servicio de la biología. Ayala cita la afirmación biologicista de Wilson: «El comportamiento humano —como las capacidades más profundas para la respuesta emocional que lo impulsan y lo guían— es la técnica tortuosa por la que el material genético humano ha permanecido y permanecerá intacto. La moralidad no tiene otra función última demostrable»⁸. Incluso el altruismo obedecería a una predisposición similar. Biologización, por tanto, de la ética; la ética sería un derivado natural de la biología y las normas morales cumplirían un cometido funcionalmente biológico.

Resulta evidente que lo biológico no es *per se* bueno por ser biológico, ni lo bueno lo es porque desempeñe una función al servicio de la supervivencia y éxito genético de la especie o grupo. La naturaleza es moralmente neutra. La naturaleza no habla moralmente, no dicta normas éticas. Hacer un juicio de valor sobre la misma trasciende el ámbito competencial de la ciencia y no se puede hacer sin incurrir en la falacia naturalista —salto lógico injustificado del ser al deber ser, de la descripción a la prescripción, de la explicación a la justificación—. Incumplir este precepto metodológico lleva a aporías insolubles y a consecuencias indeseables, como ponen de manifiesto el darwinismo social, el racismo, el genocidio o la eugenesia. El rechazo de Ayala a esta postura, a la que califica de errónea, es contundente. Existe, afirma nuestro autor, una discrepancia entre comportamientos biológicamente determinados y normas morales. Dicho de otro modo, la moral no está *exclusivamente* al servicio de la biología. Las motivaciones y comportamientos morales (por ejemplo, el altruismo) no siempre sirven a ganancia biológica (que un acto humano sea moralmente bueno no depende de si favorece o no procesos evolutivos naturales).

El comportamiento ético del animal humano —afirmará Ayala— no ha surgido como resultado directo de una respuesta adaptativa, sino

⁸ E.O. Wilson, *On Human Nature*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978, p. 167; cit. en F.J. Ayala, «Naturaleza Humana: de la Biología a la Moral», p. 73.

como resultado indirecto de la evolución de una eminente capacidad intelectual que, posibilitando anticipación, evaluación y elección, convierte al acto moral en acto humano, cultural y no sólo biológico. Predisposición no es determinación. Aunque, genealógicamente hablando, el comportamiento moral puede derivarse de la constitución biológica del ser humano; normativamente hablando, sin embargo, deriva de la evolución cultural. Las normas morales *suelen* ser, aunque no necesariamente, consistentes con la naturaleza biológica humana; pero ni se pueden ni se *deben* justificar biológicamente, porque de la biología no derivan imperativos éticos ni valoraciones axiológicas. El científico, también el darwinista, será científico si no franquea indebidamente la frontera de la falacia naturalista que advierte de la ilegitimidad metodológica del salto diferencial e inferencial entre el ser y deber ser. «Las cuestiones de valor y sentido están fuera del ámbito científico»⁹ —sentencia Ayala—.

Ciencia y religión: cuestión de sentido

«*Ciencia y religión: reflexiones y opiniones*»

El tercer texto plantea las relaciones entre ciencia y religión dentro de un marco de coexistencia que se articula en torno a tres convicciones: compatibilidad entre ciencia y religión, grandeza y límites de la ciencia y rechazo de la pretensión cientista de exclusividad epistemológica. Ni conflicto ni concordancia: complementariedad.

«El universo que observamos tiene precisamente las propiedades que deberíamos esperar si, en el fondo, no hay diseño, ni objetivo, ni bien ni mal, nada sino una ciega y despiadada indiferencia»¹⁰, afirma Dawkins desde su condición de científico y ateo. La ciencia no puede ni debe decir nada más ni, por cierto, mejor. Sólo que el tono, sin duda poético, de la sentencia —que recuerda a una similar de Monod en *El azar y la necesidad*¹¹— traiciona en las metáforas antropomórficas que

⁹ F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente*, o. c., p. 193.

¹⁰ Cit. en *ibid.*, p. 179. Cita original: "The universe we observe has precisely the properties we should expect if there is, at bottom, no design, no purpose, no evil and no good, nothing but blind, pitiless indifference", R. Dawkins, *River out of Eden*, Basic Books, New York, 1995, pp. 131-132.

¹¹ «L'ancienne alliance est rompue: l'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard. Non plus que son destin, son devoir n'est écrit nulle part. À lui de choisir entre le Royaume et les ténèbres», J. Monod, *Le hasard et la nécessité*, Ed. du Seuil, Paris, 1970, p. 224 [«La antigua

utiliza (ceguera, despiedad, indiferencia) un juicio de valor y (sin)sentido (deber y esperar) que desborda la competencia metodológica y los límites de lo científicamente afirmable (el científico no «observa» ni sentido ni sinsentido, ni «debe esperarlo», en los fenómenos que analiza, sino relaciones entre causas y efectos). Pero, precisamente porque resulta difícil e inevitable no plantearse estas cuestiones y porque la ciencia no puede ni debe responderlas, puede replicar Ayala a su colega: «Por exitosa que sea, y por universalmente abarcador que sea su tema, una visión científica del mundo es desesperadamente incompleta... El conocimiento científico tal vez enriquezca las percepciones estética y moral, e ilumine el significado de la vida y del mundo, pero estos asuntos están fuera del dominio de la ciencia»¹². Wittgenstein podría ser considerado como inspirador de este talante postcientista, reflejado en una sentencia del final del *Tractatus* recurrentemente citada: «Sentimos que incluso cuando todas las *posibles* cuestiones científicas han sido respondidas, nuestros problemas vitales no han sido ni siquiera tocados»¹³.

En esta frontera de la ciencia, y más allá de la ciencia, cabe plantearse para el científico darwinista la cuestión de la religión. Ayala sostiene la complementariedad entre ciencia y religión (dos ventanas abiertas sobre la realidad, ofreciendo visiones distintas¹⁴). Pero se apresta a interponer una única condición: la reserva metodológica que impide la injerencia competencial entre ámbitos distintos de experiencia (la verdad científica no puede ser negada por la creencia religiosa y la creencia religiosa no es asunto de la ciencia). «¿El darwinismo excluye las creencias religiosas? ¿Es la ciencia fundamentalmente materialista? —se pregunta Ayala—. La respuesta a la primera pregunta es no. La respuesta a la segunda pregunta es: depende... La ciencia es *metodológicamente* materialista o, mejor dicho, metodológicamente *naturalista*. Prefiero la segunda expresión —precisa Ayala— porque «materialismo» a menudo se refiere a una concepción metafísica del mundo, una filosofía que afirma que no existe nada más allá del mundo de la

alianza se ha roto: el hombre sabe al fin que está solo en la inmensidad indiferente del Universo del que ha emergido por azar. Su deber, como su destino, no están escritos en parte alguna. A él corresponde elegir entre el Reino y las tinieblas»].

¹² F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente*, o. c., pp. 193-194.

¹³ «Wir fühlen, dass, selbst wenn alle *möglichen* wissenschaftlichen Fragen beantwortet sind, unsere Lebensprobleme noch gar nicht berührt sind», L. Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, WA, Band 1, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a.M., 9. Aufl., 1993, S. 85. Cursiva original.

¹⁴ Cf. F.J. Ayala, «Religion has nothing to do with science: and vice versa», en *The Guardian* (28.5.2010) [guardian.co.uk].

materia, que no hay nada más allá de lo que nuestros sentidos pueden experimentar. Por eso he afirmado que la cuestión de si la ciencia es o no inherentemente materialista depende de si nos estamos refiriendo a los métodos y el ámbito de la ciencia, los cuales permanecen dentro del mundo de la naturaleza, o a las implicaciones metafísicas de la filosofía materialista que afirman que nada existe más allá del mundo de la materia. La ciencia no implica el materialismo metafísico... Los científicos y los filósofos que afirman que la ciencia excluye la validez de cualquier conocimiento fuera de la ciencia cometen un "error categórico", confunden el método y el ámbito de la ciencia con sus implicaciones metafísicas. El naturalismo metodológico afirma los límites del conocimiento científico, no su universalidad. La ciencia trasciende las diferencias culturales, políticas y religiosas, porque no tiene afirmaciones que hacer sobre estos temas (excepto, de nuevo, en la medida en que el conocimiento científico es negado). Que la ciencia no esté constreñida por diferencias culturales o religiosas es una de sus grandes virtudes. La ciencia no supera esas diferencias negándolas o tomando una posición en lugar de otra. Está más allá de las diferencias culturales, políticas y religiosas, porque estas cuestiones no son asunto suyo»¹⁵.

Pero la misma actitud metodológica (no fundamentalista) debe exigirse a la teología y a la creencia religiosa: no hacer afirmaciones en el ámbito científico que sobrepasan su competencia propia. «*Silete theologi in munere alieno*», cabría recordar con el jurista Gentile (XVI). Ayala recuerda que esta actitud de respeto y no intromisión no ha sido ajena a una sólida tradición de la teología cristiana, remontándose a la tradición agustiniana y tomista, y acabando por la postura oficial de la iglesia católica representada últimamente por Juan Pablo II y, en general, por todas las iglesias —excepto las fundamentalistas—, en la que se reconoce, por una parte, la legitimidad y autoridad del conocimiento científico —lejos ya de las condenas y anatemas pasados— en asuntos de la naturaleza; y, por otra, la necesidad de un diálogo con los resultados de la ciencia que pueden iluminar asuntos de fe. La tradición escolástica defendía ya la complementariedad entre razón y revelación, reconocidas como dos fuentes de conocimiento; hasta el punto de que en caso de una contradicción entre ambas —por coherencia lógica, contradicción sólo aparente—, habría que atribuirlo a una interpretación errónea de las Escrituras o a un razonamiento equivocado. Para

¹⁵ F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente*, o. c., p. 178, cf. la misma idea en F.J. Ayala, «Ciencia y religión: reflexiones y opiniones», pp. 81-82; F.J. Ayala, «Religion has nothing to do with science: and vice versa», en *The Guardian* (28.5.2010) [guardian.co.uk].

Santo Tomás, por ejemplo, la creación *ex nihilo* no exigía necesariamente el presupuesto de la absoluta inexistencia material, incompatible con las categorías aristotélicas del hilemofirmo que consideraba prescriptivas en «ciencia». La inerrancia no deriva, para esta tradición hermenéutica que se remonta a los Padres de la Iglesia, de que la Biblia sea un libro de ciencia, sino un libro de salvación. «En el asunto de la forma del cielo, los autores sagrados no deseaban enseñar a los hombres hechos que no fueran de interés para su salvación», enseñaba San Agustín sobre la oportuna interpretación del libro del Génesis, opinión que se complementa con otras del mismo tenor —y que gusta de recordar Ayala—: «Si sucede que la autoridad de la Sagrada Escritura es puesta en oposición a un razonamiento claro y cierto, eso significa que la persona que interpreta la Escritura no la entiende correctamente»¹⁶. En la misma línea de pensamiento el cardenal Baronio (XVI) formula la frase («La Biblia fue escrita para mostrarnos cómo llegar al Cielo, no cómo es el cielo») que Galileo haría famosa: «Repetiré aquí lo que he oído a un eclesiástico que se encuentra en un grado muy elevado de la jerarquía, a saber, que la intención del Espíritu Santo es enseñarnos cómo se va al cielo, y no cómo va el cielo»¹⁷. Galileo, que fundamenta sus opiniones en los santos padres (sobre todo, San Agustín y San Jerónimo, a quienes cita con frecuencia), plantea en las llamadas *Cartas Copernicanas* (*Lettere Copernicane*) y en *El Ensayador* (*Il saggiatore*) la que podríamos considerar *solución moderna standard* al posible conflicto entre verdades religiosas y verdades científicas por medio de la *tesis de los dos libros*: el Libro de la Biblia y el Libro de la Naturaleza, ambos inspirados por Dios, aunque escritos en caracteres y con intenciones diferentes, y, por tanto, compatibles a condición de una correcta interpretación de las Escrituras (no siempre literal, por consiguiente) en orden a la salvación y de las demostraciones científicas (no «dogmáticas», por tanto) en orden al conocimiento de la naturaleza. Dos verdades no podrían ni deberían ser contradictorias, si son verdades, según Galileo; *ergo*... También Juan Pablo II (1981) —cuya cita suele traer a colación Ayala en diversos escritos— habría prolongado esta misma postura hasta la actualidad reciente: «La propia Biblia nos habla del origen del universo y sus componentes, no con el propósito de enunciar un tratado científico

¹⁶ *De Gen. ad litteram*, lib. II, cap. IX; *Epistola septima, Ad Marcellinum*.

¹⁷ Galileo Galilei, *Lettera a madama Cristina di Lorena granduchessa di Toscana*, in: Id., *Opere Complete V*, p. 319 [Edizione Digitale: [www. Portale Galileo](http://www.PortaleGalileo.org)]: «io... direi quello che intesi da persona ecclesiastica costituita in eminentissimo grado, cioè è l'intenzione dello Spirito Santo essere d'insegnarci come si vadia al cielo, e non come vadia il cielo».

sino en orden a establecer las relaciones apropiadas del hombre con Dios y con el universo. Las Sagradas Escrituras desean simplemente declarar que el mundo fue creado por Dios, y con el fin de enseñar esta verdad se expresan en términos de la cosmología conocida en los tiempos del escritor sagrado. Cualquiera otra enseñanza sobre el origen y la composición del universo es ajena a las intenciones de la Biblia, la cual no pretende enseñar cómo se formó el firmamento, sino cómo llegar al cielo»¹⁸. En esta misma tradición se reconoce el profesor Ayala. De ahí su postura militante contra el tipo de creacionismo, basado en una lectura literal de la Biblia y defendido por cristianos fundamentalistas, que trata de hacer concordar ciencia y Biblia, considerando como criterio de verdad científica la autoridad de la Biblia.

El darwinismo, para nuestro científico, no sólo no debe verse como un enemigo de la religión, sino en realidad como un regalo¹⁹; porque libra a un supuesto Dios Creador de la responsabilidad de una creación errática y de un «diseño incompetente» que haría difícilmente explicable la contingencia, el mal, el dolor, las chapuzas evolutivas y el juego macabro de la supervivencia; mucho menos justificable todavía, si ese Dios es pretendidamente omnipotente y bueno. Por eso ha defendido con ahínco contra el fundamentalismo biblista que «una lectura literal del Génesis es mala para la ciencia y mala para la religión». Del mismo modo, argumenta decididamente contra los defensores del Diseño Inteligente que, a pesar del renovado argumentario (la «complejidad irreductible»²⁰ de determinados procesos y elementos de la evolución que estarían haciendo posible un «ajuste fino» que obligaría, a su vez, a postular un programador/diseñador inteligente), no representa para Ayala sino una nueva versión del creacionismo fundamentalista que, en el fondo, más que defender a Dios «blasfema» contra Él. «Pero es así como ve las cosas un biólogo preocupado de que Dios no sea calumniado con la imputación de un diseño incompetente»²¹. La teoría darwinista explicaría suficientemente las contingencias evolutivas sin necesidad de apelar a un diseñador a quien habría que ta-

¹⁸ Cit. in: F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente*, o. c., p. 175.

¹⁹ F.J. Ayala, *Darwin's Gift to Science and Religion*, Joseph Henry Press, Washington, 2007. La idea del darwinismo como falso enemigo de la religión se debe a A. Moore, quien en 1890 escribía: "...Under the guise of a foe Darwin had done the work of a friend" ["...bajo la apariencia de un enemigo Darwin había hecho el trabajo de un amigo"].

²⁰ Expresión acuñada por Michael J. Behe, *Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution* (1991), teórico del Diseño Inteligente.

²¹ F.J. Ayala, *Darwin y el Diseño Inteligente*, o. c., p. 162.

char de incompetente o sádico. «Los defensores del diseño inteligente —aconseja nuestro científico— harían bien en reconocer la revolución de Darwin y aceptar la selección natural como el proceso que explica el diseño de los organismos, así como las disfunciones, las rarezas, las crueldades y el sadismo que se hallan por todas partes en el mundo de los vivos. Atribuir éstos a una actuación específica por parte del Creador equivale a blasfemia»²². Y, a modo de concisa conclusión, resume su postura con contundencia y rotundidad: «...la ciencia, y en particular la teoría de la evolución, es compatible con la fe cristiana, mientras que el diseño inteligente no lo es»²³.

* * *

Los tres ensayos recogidos en este libro ofrecen una panorámica introductoria a cuestiones disputadas en las fronteras de la ciencia, la ética y la religión que abrirá el apetito a otras lecturas de la extensa bibliografía del profesor Francisco J. Ayala, científico humanista, que profesa con igual intensidad una pasión encendida tanto por la ciencia de la vida como por la vida más allá de la ciencia.

²² *Ibid.*, p. 162.

²³ *Ibid.*, p. 17.

A modo de introducción

Los tres ensayos que constituyen este pequeño libro nacieron de dos conferencias que pronuncié en la Universidad de Deusto, en Bilbao, el 2 de octubre de 2013, por invitación del profesor Diego Bermejo: «Dos Revoluciones: Copérnico y Darwin» y «Naturaleza Humana: De la Biología a la Moral». En la primavera de 2012, el profesor Bermejo se había enterado de que yo iba a dar una conferencia en San Sebastián el 1 de octubre y otra en Valencia el 3 de octubre, y vio en ello una oportunidad para invitarme a dar una conferencia en Deusto el día 2 de octubre. Mi primera respuesta a su invitación fue negativa, dado que los apuros de tiempo y viaje no parecían permitirlo. Quede aquí constancia, antes de proseguir, de una característica personal del profesor Bermejo: se trata de un seductor irresistible. Después de varios intercambios electrónicos entre Deusto y mi oficina en la Universidad de California, en Irvine, me convenció de que había tiempo para pasar por Bilbao y dar en Deusto una conferencia. Accedí a ello con gusto; hacia ya años que no había visitado esa Universidad tan distinguida.

Pero tenía más sorpresas para mí. ¿Por qué no dar dos conferencias en el mismo día 2 de octubre, una por la mañana y otra por la tarde? Sabiendo por la experiencia anterior que era inútil tratar de resistirse, accedí a ello. Lo cual fue seguido inmediatamente por su propuesta de que escribiera las conferencias, para poder así publicarlas y quedara constancia permanente de ellas. Y, dado que accedí a ello, ¿por qué no escribir un tercer ensayo sobre las relaciones entre ciencia y religión?, una cuestión que ha sido durante años un tema de interés para mí y, además, complementaría adecuadamente el texto de las dos conferen-

cias. Tal es el origen del tercer ensayo: «Ciencia y Religión: Reflexiones y opiniones.»

Si hago constar el origen de los tres ensayos que constituyen el meollo de este pequeño libro, no es ni mucho menos para quejarme del profesor Bermejo, quien me dedicó un sinnúmero de atenciones, no dándome así ninguna razón para tal queja. Se trata más bien de dar cuenta del origen del libro y, al mismo tiempo, prevenir a los incautos, aquellos para quienes surja la oportunidad de enfrentarse con los irresistibles poderes de seducción de que disfruta. Mi visita fue, como era de esperar, muy placentera, debido a sus atenciones personales y gestiones, que me brindaron valiosas oportunidades de conversar y discutir cuestiones de interés común con otros profesores de la Universidad de Deusto y con los numerosos asistentes de las dos conferencias.

Según Theodosius Dobzhansky, americano de origen ruso, que cuenta entre los evolucionistas más eminentes del siglo xx: «En biología nada tiene sentido si no se considera bajo el prisma de la evolución.» Los tres ensayos aquí publicados conciernen a cuestiones biológicas y por ello están escritos «bajo el prisma de la evolución». Las cuestiones de que tratan: el origen de la ciencia en el sentido actual, las raíces del comportamiento moral y la relación entre ciencia y religión, son de gran consecuencia para una vida racional en nuestros tiempos. En efecto, es posible afirmar que la ciencia (incluyendo la tecnología), la moralidad y la religión son tres de los cuatro grandes pilares en que se asientan las sociedades humanas modernas; el cuarto pilar es la economía.

A Darwin se le reconoce apropiadamente como el fundador de la teoría moderna de la evolución. Pero lo que es más importante de esa teoría es la explicación de las adaptaciones (el «diseño») de los organismos y de su diversidad. En *El origen de las especies*, el objetivo fundamental de Darwin no es demostrar que la evolución biológica ocurre, sino explicar por qué tenemos ojos para ver, los pájaros tienen alas para volar, los peces tienen agallas para respirar en el agua, y los árboles tienen hojas verdes, la clorofila con la que sintetizan compuestos orgánicos. Darwin dedica la mayor parte de *El Origen* (capítulos I-VIII y XIV) a formular y justificar el concepto de selección natural como proceso que da cuenta de las adaptaciones de los organismos y, con ello, de su evolución. Darwin dedica cinco capítulos (del IX al XIII) de *El Origen* a la evidencia del hecho de la evolución, no tanto para demostrar que la evolución biológica ocurre, sino para mostrar que ocurre de una manera determinada, a saber, por medio de la selección natural. La selección natural no cambia ni continuamente ni todas las características

de los organismos al mismo tiempo, sino que modifica los organismos impactando uno u otro órgano o componente vital en un momento y entorno determinado, mientras que impacta otros rasgos en diferentes ocasiones y ámbitos, siempre en respuesta a las circunstancias del momento y entorno particular.

La evolución de los organismos era aceptada por muchos de los biólogos y geólogos contemporáneos de Darwin. La primera teoría general sobre la evolución orgánica fue propuesta por el naturalista francés Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1774-1829). En su *Philosophie zoologique* (1809), Lamarck sostenía que los organismos evolucionan a través de eones de tiempo desde formas inferiores a superiores, un proceso todavía en curso, que siempre culmina en los seres humanos. Nuestros antepasados remotos fueron gusanos y otras criaturas inferiores, que evolucionaron de forma gradual en organismos cada vez más y más avanzados, finalmente los humanos.

La teoría de Lamarck era más metafísica que científica. Lamarck postulaba que la vida posee la propiedad innata de mejorar con el paso del tiempo, de modo que la progresión desde los organismos inferiores a los superiores ocurriría de forma continua, y siempre siguiendo el mismo camino de transformación desde organismos inferiores hacia organismos cada vez más elevados y más complejos. Además de esa tendencia fundamental, los animales se adaptan a sus entornos a través de sus hábitos, es decir, se producen modificaciones por «uso y desuso». El uso de un órgano o miembro lo refuerza; el desuso conduce a su obliteración. Las características adquiridas por uso y desuso, según Lamarck, serían heredadas. Este supuesto posteriormente sería llamado la «herencia de las características adquiridas» (o lamarckismo), una teoría que fue refutada a principios del siglo xx.

Para mediados del siglo xix la evolución de los organismos era frecuentemente aceptada por los naturalistas. Lo que quedaba por descubrir era una explicación que diera cuenta del origen de las especies y cómo los organismos llegaban a estar adaptados a su medio ambiente. Esto fue lo que intrigó a Darwin a su vuelta del viaje alrededor del mundo en 1836. La explicación que Darwin descubrió poco después fue la teoría de la selección natural. Al comienzo de sus *Notebooks*, datados de 1837 a 1839, Darwin registra su descubrimiento de la selección natural y se refiere repetidamente a ese descubrimiento como «mi teoría». A partir de entonces y hasta su muerte en 1882, su vida estaría dedicada a sustanciar la selección natural y sus postulados acompañantes, principalmente el origen y transmisión de la variación hereditaria.

ria y la enorme fertilidad de los organismos, que sobrepasa con mucho la capacidad de los recursos disponibles en el entorno. La selección natural se convirtió para Darwin en «una teoría por la cual trabajar». De forma incesante prosiguió observaciones y realizó experimentos para poner a prueba la teoría y resolver posibles objeciones.

La contribución más importante de Darwin a la ciencia no es la evidencia que muestra que los seres vivos evolucionan, sino el descubrimiento de la selección natural, el proceso fundamental que da cuenta no sólo de la evolución de las especies, sino también de sus adaptaciones y diversidad: por qué existen ojos diseñados para ver, alas para volar, y agallas para respirar en el agua, y por qué las especies son diferentes en distintos continentes o distintos océanos y por qué son tan numerosas en cada uno de ellos.

La selección natural se refiere a las ventajas hereditarias que aumentan la probabilidad de que sus portadores sobrevivan y se reproduzcan mejor que otros organismos. Tales ventajas hereditarias, por ello mismo, aumentan su frecuencia de generación en generación a costa de las alternativas menos ventajosas. Así, las alas de las aves y las agallas de los peces han llegado a ser tan eficientes como lo son. Y así aumentó gradualmente, durante los últimos dos millones de años, el tamaño del cerebro en nuestros antepasados. Aquellos de nuestros antepasados que eran más inteligentes que otros dejaban más descendientes. (La selección natural es uno de los temas discutidos en el capítulo sobre «Dos revoluciones: Copérnico y Darwin».)

La dificultad más seria con la que se enfrentaba la explicación de Darwin era la falta de una teoría de la herencia adecuada que explicase la conservación a lo largo de generaciones de las variaciones sobre las cuales se supone que actúa la selección natural. Las teorías contemporáneas de la «herencia por mezcla» proponían que las características de la progenie eran simplemente intermedias entre las características de sus progenitores; exactamente igual que, si mezclamos pintura roja y blanca, obtendremos un color de tono intermedio. Pero, como eventualmente Darwin notó, la herencia por mezcla no podía explicar la conservación de las variaciones, porque las diferencias entre los dos organismos parentales se dividirían por la mitad en cada generación, reduciendo rápidamente la ventaja de cualquier mutación al ser promediada una y otra vez a través de las generaciones, perdiendo de forma gradual su distinción y, por lo tanto, cualquier posible ventaja que en principio pudiera haber tenido sobre las características preexistentes.

El eslabón perdido en el argumento de Darwin lo proporcionó la genética mendeliana. Más o menos en la época en que se publicó *El origen de las especies*, el monje agustino Gregor Mendel iniciaba una larga serie de experimentos con guisantes en el huerto de su monasterio en Brunn (Austria-Hungría; ahora Brno, República Checa). Estos experimentos y el análisis de sus resultados, publicados en 1865, son desde cualquier punto de vista un modelo magistral del método científico. Mendel formuló los principios fundamentales de una teoría de la herencia que todavía se considera válida. Esta teoría explica la herencia biológica a través de factores indivisibles (ahora conocidos como «genes») heredados uno de cada progenitor, que no se mezclan o funden sino que se segregan en la formación de las células sexuales, o gametos.



Gregor Mendel (1822-1884)

Sin embargo, los descubrimientos de Mendel eran desconocidos para Darwin y, de hecho, no llegaron a un conocimiento general hasta 1900, cuando fueron casi simultáneamente redescubiertos por tres científicos europeos, el holandés Hugo de Vries, el alemán Karl Korrens y el austriaco Erik von Tschermak. El redescubrimiento de la teoría mendeliana de la herencia llevó a poner énfasis en el papel de la herencia en la evolución. En las décadas de 1920 y 1930, varios genéticos teóricos pasaron a demostrar matemáticamente que la selección natural, ac-

tuando de forma acumulativa sobre pequeñas variaciones, puede producir a través del tiempo cambios evolutivos importantes en la forma y función de los organismos. Miembros distinguidos de este grupo de genéticos teóricos fueron Ronald A. Fisher y J.B.S. Haldane, en el Reino Unido, y Sewall Wright, en Estados Unidos. Sus trabajos brindaron una estructura teórica para la integración de la genética con la teoría de Darwin sobre la selección natural.

Estos descubrimientos teóricos, sin embargo, tuvieron inicialmente un impacto limitado entre los biólogos contemporáneos, porque fueron formulados en ecuaciones y lenguaje matemáticos que la mayoría de los evolucionistas no podían entender; también, debido a que estos descubrimientos, casi exclusivamente teóricos, tenían poca corroboración empírica, y, por último, a causa de que los problemas resueltos habían dejado de lado muchas otras materias sobre la evolución de gran interés, como el proceso de la especiación.

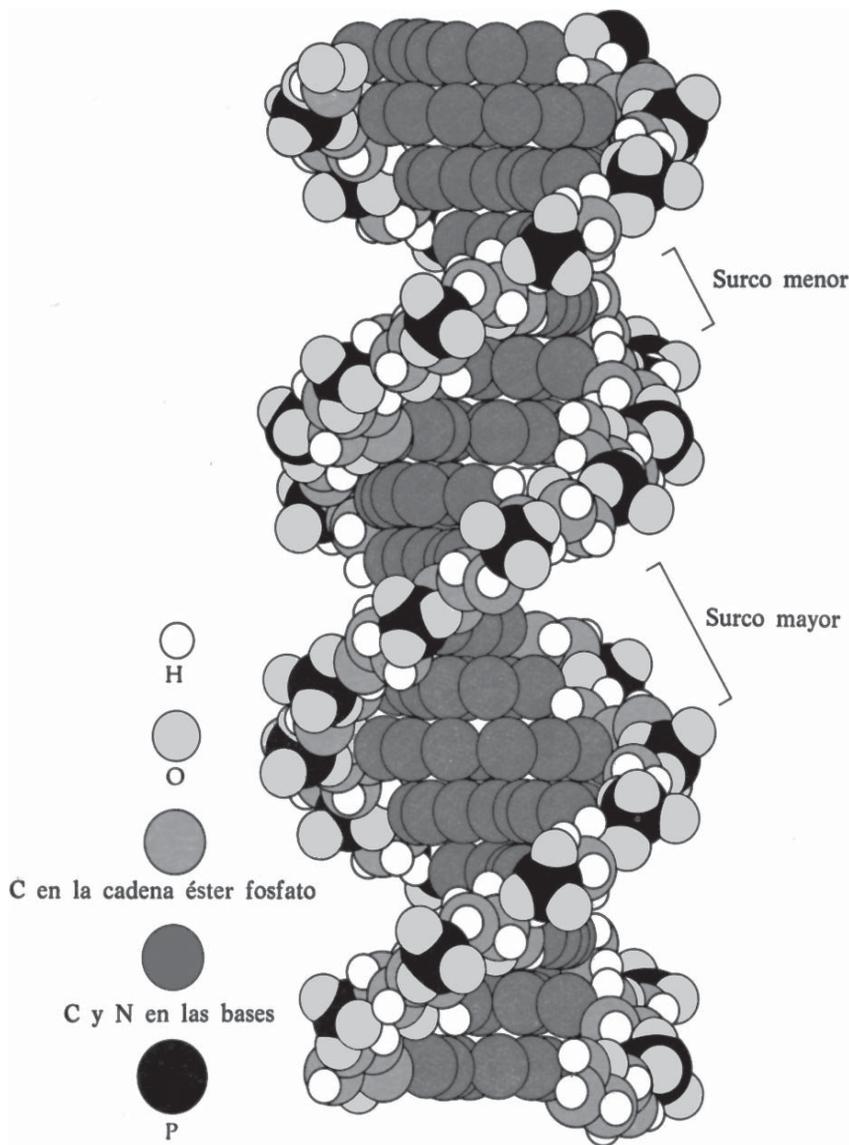
Un avance muy importante tuvo lugar en 1937 cuando el naturalista y genético citado anteriormente, Theodosius Dobzhansky, publicó *Genetics and the Origin of Species (La genética y el origen de las especies)*. El libro de Dobzhansky da cuenta de una manera comprensible y detallada del proceso evolutivo en términos genéticos, apoyando los argumentos teóricos con evidencias empíricas. *La genética y el origen de las especies* puede ser considerada la contribución más importante a la formulación de lo que se conoce como la *teoría sintética* o la *teoría moderna* de la evolución, que integra efectivamente la selección natural darwiniana y la genética mendeliana.

El libro de Dobzhansky tuvo un impacto notable entre los naturalistas y los biólogos experimentalistas, quienes aceptaron, casi de inmediato, la nueva teoría de la evolución como cambios por selección natural en la constitución genética de las especies. El interés en el estudio de la evolución fue estimulado enormemente y una serie de contribuciones importantes a la teoría aparecieron en rápida sucesión, extendiendo la síntesis de la genética y la selección natural a otros campos de la biología. Entre los principales autores que, junto con Dobzhansky, contribuyeron a formular y extender la teoría sintética cabe destacar en Estados Unidos, al zoólogo Ernst Mayr, al paleontólogo George G. Simpson y al botánico G. Ledyard Stebbins; en Inglaterra, el zoólogo Julian Huxley; y en Alemania, Bernhard Rensch. En 1950, la aceptación de la teoría de Darwin de la evolución por selección natural ya era universal entre los biólogos, la teoría sintética era aceptada como correcta, y las controversias se limitaban a cuestiones de detalle.

Durante los últimos años los avances más importantes en la teoría de la evolución provienen de la biología molecular. En 1953, James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura del ADN (ácido desoxirribonucleico), el material hereditario contenido en los cromosomas del núcleo celular. La información genética está contenida en la secuencia de los cuatro tipos de nucleótidos de que se compone el ADN. Esta información determina la secuencia de aminoácidos en las proteínas, incluyendo las enzimas responsables de los procesos vitales de los organismos. La información genética contenida en el ADN puede entonces ser investigada examinando el propio ADN o las secuencias de aminoácidos en las proteínas.

El ADN y las proteínas han sido llamados «macromoléculas informacionales» porque son largas moléculas lineales constituidas por secuencias de unidades —nucleótidos en el caso de los ácidos nucleicos, aminoácidos en el caso de las proteínas— que incluyen la información evolutiva. Al comparar la secuencia de los componentes en macromoléculas de dos especies, se determina el número de letras (nucleótidos o aminoácidos) que son diferentes. Debido a que la evolución normalmente ocurre cambiando una unidad cada vez, el número de diferencias refleja el grado de parentesco entre las dos especies. Por ejemplo, en los humanos y los chimpancés, la proteína llamada citocromo c, que desempeña una función vital en la respiración dentro de las células, se compone de los mismos 104 aminoácidos dispuestos exactamente en el mismo orden. Sin embargo, difiere del citocromo c de los monos rhesus por un aminoácido, del de los caballos por 11 aminoácidos adicionales, y del citocromo c del atún por 21 aminoácidos adicionales. Estas diferencias reflejan y son consistentes con la divergencia relativamente reciente entre monos y humanos, la divergencia anterior entre primates y caballos y la más antigua todavía entre mamíferos y peces. El grado de semejanza refleja el tiempo pasado desde el último antepasado común. La autoridad de esta clase de examen es abrumadora: cada uno de los miles de genes y miles de proteínas contenidos en un organismo proporciona un examen independiente de la historia evolutiva de ese organismo.

La biología molecular aporta las pruebas más sólidas de la evolución biológica y hace posible reconstruir la historia evolutiva con tanto detalle y precisión como cualquiera pueda desear. De hecho, es posible afirmar hoy día que ya no existen lagunas de conocimiento en la historia evolutiva de los organismos vivos. Las principales ramas del árbol de la vida han sido reconstruidas por entero y en muchos detalles. Cada mes se publican más detalles sobre más y más ramas del árbol univer-



Estructura de la doble hélice del ADN, que se compone de dos cadenas enroscadas entre sí, que constan de cuatro clases de componentes llamados nucleótidos, las letras del alfabeto genético. La información genética está incluida en la secuencia de los nucleótidos: tres mil millones de ellos en cada genoma humano

sal de la vida en montones de artículos científicos. La prácticamente ilimitada información evolutiva codificada en la secuencia de ADN de los organismos vivos permite a los evolucionistas reconstruir todas las relaciones evolutivas que conducen a los organismos actuales, con tanto detalle como se desee. Si se invierten los recursos necesarios (tiempo y gastos de laboratorio) uno puede tener la respuesta a cualquier pregunta sobre las relaciones de parentesco («filogenia») y otras cuestiones sobre la historia de los organismos vivientes, con tanta precisión como se quiera.

Los estudios evolutivos moleculares poseen tres notables ventajas sobre la paleontología, la anatomía comparada y otras disciplinas clásicas. Una es que la información es fácilmente *cuantificable*. El número de unidades que son diferentes se establece con facilidad cuando se compara la secuencia de unidades para una macromolécula dada en diferentes organismos. La segunda ventaja es *universalidad*. Se pueden hacer comparaciones entre muy diversas clases de organismos. La anatomía comparada puede decir muy poco cuando, por ejemplo, se comparan organismos tan distintos como las levaduras, los pinos y los seres humanos; pero existen numerosas secuencias de ADN y proteínas que se pueden comparar en los tres. La tercera ventaja es la *multiplicidad*. Cada organismo posee miles de genes y proteínas, que en su conjunto reflejan la misma historia evolutiva. Si la investigación de un gen o proteína particular no resuelve de forma satisfactoria la relación evolutiva de un conjunto de especies, se pueden investigar genes y proteínas adicionales hasta que el asunto haya sido resuelto.

Dos revoluciones: Copérnico y Darwin

Existe una versión de la historia de las ideas que establece un paralelismo entre la revolución copernicana y la darwiniana. La revolución copernicana, se dice, consistió en desplazar a la Tierra de su lugar anteriormente aceptado como centro del universo, situándola en un lugar subordinado como un planeta más que gira alrededor del Sol. De ma-



Nicolás Copérnico (1473-1543)

nera congruente, se considera que la revolución darwiniana consistió en el desplazamiento de la especie humana de su eminente posición como centro de la vida sobre la Tierra, con todas las demás especies creadas al servicio de la humanidad, y convirtiéndola en una especie más, entre miles y miles de ellas. Según esta versión de la historia intelectual, Copérnico había llevado a cabo su revolución con la teoría heliocéntrica del sistema solar. La contribución de Darwin se debe a su teoría de la evolución orgánica.

Esta versión de las dos revoluciones es inadecuada: lo que dice es cierto, pero pasa por alto lo que es más importante respecto a estas dos revoluciones intelectuales, es decir, que representan el comienzo de la ciencia en el sentido moderno de la palabra. Estas dos revoluciones deben verse conjuntamente como una única revolución científica, con dos etapas, la copernicana y la darwiniana.

La revolución copernicana

La llamada «Revolución Copernicana» dio comienzo propiamente con la publicación en 1543, el año de la muerte de Nicolás Copérnico, de su *De revolutionibus orbium coelestium* («Sobre las revoluciones de las esferas celestiales»), y culminó con la publicación en 1687 de la *Philosophiae naturalis principia mathematica* («Los principios matemáticos de filosofía natural») de Isaac Newton. Los descubrimientos de Copérnico, Kepler, Galileo, Newton, y otros, en los siglos *xvi* y *xvii*, habían avanzado gradualmente una concepción del universo como materia en movimiento gobernada por leyes naturales. Se demostró que la Tierra no es el centro del universo, sino un pequeño planeta que gira alrededor de una estrella típica; que el universo es inmenso en espacio y en tiempo; y que las revoluciones de los planetas en torno al Sol se pueden explicar por las mismas leyes simples que explican el movimiento de los objetos físicos en nuestro planeta. Leyes como $f = m \times a$, fuerza = masa \times aceleración; o la ley de atracción, $f = g (m_1 \cdot m_2)/r^2$, la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas, pero inversamente relacionada al cuadrado de la distancia que los separa.

Estos y otros descubrimientos expandieron enormemente el conocimiento humano. La revolución conceptual que trajeron consigo fue aún más fundamental: un compromiso con el postulado de que el universo obedece leyes inmanentes que explican los fenómenos naturales. Los funcionamientos del universo fueron incorporados en el dominio

de la ciencia: explicación a través de leyes naturales. Los fenómenos físicos podrían ser explicados cuando las causas se conociesen adecuadamente.

Los avances de la ciencia física llevados a cabo por la revolución copernicana habían llevado la concepción que la humanidad tenía del universo a un estado de cosas esquizofrénico, que persistió hasta bien mediado el siglo XIX. Las explicaciones científicas, derivadas de las leyes naturales, dominaban el mundo de la materia inanimada, así en la Tierra como en el cielo. Las explicaciones sobrenaturales dependientes de las insondables acciones del Creador, explicaban el origen y la configuración de las criaturas vivas: las realidades más diversificadas, complejas e interesantes del mundo. Así, por ejemplo, el clérigo inglés William Paley (1743-1805) en su *Natural Theology* («Teología Natural») de 1802 argüía que «No puede haber diseño sin diseñador; invención sin inventor; orden, sin elección; [...] medios apropiados para un fin, y que ejecutan su función en el cumplimiento de ese fin, sin que el fin haya sido jamás contemplado».

La revolución darwiniana

Con *El origen de las especies*, Darwin resolvió esta esquizofrenia conceptual. Darwin completó la revolución copernicana al extender a la biología la noción de la naturaleza como un sistema de materia en movimiento que la razón humana puede explicar sin recurrir a agentes extranaturales. El enigma enfrentado por Darwin difícilmente podría sobrestimarse. El argumento a partir del diseño para demostrar el papel del Creador había sido planteado por Paley de forma contundente. Allí donde hay función o diseño, buscamos a su autor. El mayor logro de Darwin fue demostrar que la compleja organización y funcionalidad de los seres vivos se puede explicar como resultado de un proceso natural, la selección natural, sin ninguna necesidad de recurrir a un Creador u otro agente externo. El origen y la adaptación de los organismos en su profusión y su maravillosa diversidad fueron así traídos al dominio de la ciencia.

Darwin aceptaba que los organismos están «diseñados» para ciertos cometidos, es decir, están organizados desde un punto de vista funcional. Los organismos están adaptados a ciertas formas de vida y sus partes están adaptadas para realizar ciertas funciones. Los peces están adaptados para vivir en el agua, los riñones están diseñados para regular la composición de la sangre, la mano humana está hecha para manejar objetos. Pero Darwin pasó a proporcionar una explicación natu-

ON
THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE
PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE
FOR LIFE.

By CHARLES DARWIN, M.A.,
FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNEAN, ETC., SOCIETIES;
AUTHOR OF 'JOURNAL OF RESEARCHES DURING H. M. S. BEAGLE'S VOYAGE
ROUND THE WORLD.'

LONDON:
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.
1859.

Cubierta de *El origen de las Especies* (1859), de Charles Darwin

ral del diseño. Los aspectos aparentemente diseñados de los seres vivos ahora se podían explicar, al igual que los fenómenos del mundo inanimado, por medio de los métodos de la ciencia, como el resultado de leyes naturales manifestadas en los procesos naturales. Darwin consideraba el descubrimiento de la selección natural (y no su demostración de la evolución) como su principal descubrimiento y lo designó como «mi teoría», una designación que nunca usaba cuando se refería a la evolución de los organismos.

El descubrimiento de la selección natural; la conciencia de Darwin de que se trataba de un descubrimiento de enorme importancia porque era la respuesta de la ciencia al argumento a partir del diseño; y la designación que Darwin hacía de la selección natural como «mi teoría» se pueden rastrear en sus *Red and Transmutation Notebooks B a E*, unos cuadernos comenzados en marzo de 1837, no mucho después de su regreso el 2 de octubre de 1836 de su viaje de cinco años alrededor del mundo en el *HMS Beagle*, y completados a finales de 1839.

La evolución de los organismos era un hecho comúnmente aceptado por los naturalistas en las décadas centrales del siglo XIX. La distribución de especies exóticas por Sudamérica, en las islas de los Galápagos, y en otras partes, y el descubrimiento de restos de animales extinguidos hace mucho tiempo, confirmaron la realidad de la evolución en la mente de Darwin. El desafío intelectual era descubrir la explicación que daría cuenta del origen de las especies, cómo nuevos organismos habían llegado a adaptarse a sus medio ambientes.

Al comienzo de sus *Notebooks* de 1837 a 1839, Darwin registra su descubrimiento de la selección natural y se refiere ya a él como «mi teoría». A partir de entonces y hasta su muerte en 1882, su vida estaría dedicada a sustanciar la selección natural y sus postulados acompañantes, principalmente la difusión de la variación hereditaria y la enorme fertilidad de los organismos, que sobrepasan con mucho la capacidad de los recursos disponibles. La selección natural se convirtió para Darwin en «una teoría con la cual trabajar». De forma incesante persiguió sus observaciones y realizó experimentos para poner a prueba la teoría y resolver posibles objeciones.

Diseño sin diseñador

Es difícil sobrestimar el problema enfrentado por Darwin. Es muy fácil exponer el argumento del diseño para demostrar la existencia de un

Creador. Donde quiera que haya función o diseño busquemos a su autor, como había explicado Paley. Un cuchillo se hace para cortar y un reloj para marcar las horas; sus diseños funcionales han sido concebidos por un cuchillero y un relojero. El *Guernica* despliega el arte extraordinario de Pablo Picasso, no una acumulación casual de pigmentos y pinceladas sobre un lienzo casualmente disponible. El mensaje dramático de la inhumanidad del hombre para con el hombre que transmite la figura extendida de la madre que arrastra a su hijo muerto, los vociferantes rostros, el caballo herido y la satánica imagen del toro son producto del genio creador de un artista genial siguiendo un propósito preconcebido. De manera similar, las estructuras, órganos y comportamientos de los seres vivos están directamente organizados para realizar ciertas funciones. Por lo tanto, el diseño funcional de los organismos y sus rasgos parecen argumentar a favor de la existencia de un diseñador. El mayor logro de Darwin fue mostrar que la organización directiva de los seres vivos puede explicarse como resultado de un proceso natural, la selección natural, sin ninguna necesidad de recurrir a un Creador o un agente externo. El origen y adaptación de los organismos y sus variaciones profundas y maravillosas fueron trasladados al dominio de la ciencia.

Darwin aceptaba que los organismos están «diseñados» para ciertos propósitos, o sea, que están organizados funcionalmente. Los organismos están adaptados a ciertos estilos de vida y sus partes están adaptadas para realizar ciertas funciones. Los cactus están adaptados para vivir en el desierto, las alas están diseñadas para volar, la mano humana está hecha para agarrar. Pero Darwin procede a dar una explicación natural del diseño. Con ello, trasladó al dominio de la ciencia los aspectos de los seres vivos que parecen indicar diseño o propósito.

El logro extraordinario de Darwin es que extendió la revolución copernicana al mundo de los seres animados. El origen y la naturaleza adaptativa de los organismos se podía explicar ahora, igual que los fenómenos del mundo inanimado, como resultado de las leyes naturales manifestadas en los procesos naturales. La teoría de Darwin encontró oposición en círculos religiosos, no tanto porque proponía el origen evolutivo de los seres vivos (que ya se había propuesto y aun aceptado anteriormente por teólogos cristianos) sino porque el mecanismo causal, la selección natural, excluía a Dios de la explicación del diseño obvio de los organismos. La oposición de la Iglesia Católica Romana a Galileo en el siglo xvii ya había sido motivada, de manera similar, no sólo por la aparente contradicción entre la teoría heliocéntrica y la interpretación literal de la Biblia, sino también por el intento indecoroso de comprender el funcionamiento del universo, la «mente de Dios».

De ahí en adelante, la configuración del universo ya no sería percibida como el resultado del Diseño Divino, sino simplemente como el resultado de procesos inmanentes y ciegos.

Sin embargo, hubo muchos teólogos, filósofos y científicos que no vieron ninguna contradicción, ni entonces ni ahora, entre la evolución de las especies y la fe cristiana. Muchos veían y ven la evolución como el «método de la divina inteligencia», en palabras del teólogo del siglo XIX A.H. Strong. Otros, como el contemporáneo norteamericano de Darwin, Henry Ward Beecher (1818-1887), hicieron de la evolución la piedra angular de su teología. Estas tradiciones han persistido hasta el presente. El Papa Juan Pablo II dijo en octubre de 1996: «la teoría de la evolución ya no es una mera hipótesis. Está [...] aceptada por los investigadores, tras una serie de descubrimientos en diversos campos del conocimiento».

El argumento de la selección natural de Darwin trata de explicar el carácter adaptativo de los organismos. Darwin sostiene que las variaciones adaptativas («variaciones útiles en algún sentido a cada ser») aparecen ocasionalmente y que éstas probablemente incrementarán las posibilidades reproductivas de sus portadores. Las variaciones favorables serán preservadas a través de las generaciones mientras que las perjudiciales serán eliminadas. Darwin añade: «No alcanzo a ver un límite para este poder [la selección natural] que *adapta* lenta y hermosamente cada forma a las más complejas relaciones de la vida». La selección natural fue propuesta por Darwin para explicar la organización adaptativa, o «diseño», de los seres vivos; es un proceso que promueve o mantiene la adaptación. El cambio evolutivo a lo largo del tiempo y la diversificación evolutiva (multiplicación de las especies) no están promovidos directamente por la selección natural (y así se da la llamada «estasis evolutiva», los numerosos ejemplos de organismos con una morfología que ha cambiado poco, si es que ha cambiado, durante millones de años). Pero el cambio y la diversificación a menudo surgen como subproductos de la selección natural impulsando la adaptación.

Selección natural

La comprensión moderna del principio de la selección natural está formulada en términos genéticos y estadísticos como reproducción diferencial. La selección natural implica que ciertos genes y combinaciones genéticas se transmiten a las generaciones siguientes en promedio más frecuentemente que sus alternativas. Tales unidades genéticas serán más comunes en cada generación siguiente y sus al-

ternativas lo serán menos. La selección natural es un sesgo estadístico en la tasa relativa de reproducción de unidades genéticas alternativas.

La selección natural ha sido comparada con un cedazo que retiene los genes útiles que raramente aparecen y que deja pasar los mutantes dañinos que aparecen con mayor frecuencia. La selección natural actúa de ese modo, pero es mucho más que un proceso puramente negativo, pues es capaz de generar novedad incrementando la probabilidad de combinaciones genéticas que de otro modo serían altamente improbables. En un sentido la selección natural es creativa. No «crea» las entidades sobre las que actúa sino que produce combinaciones genéticas adaptativas que de otro modo no hubiesen existido.

El papel creativo de la selección natural no se debe entender en el sentido de la creación «absoluta» que la teología cristiana tradicional predica del acto divino por el cual el universo fue creado *ex nihilo*. La selección natural puede más bien ser comparada con un pintor que crea un cuadro mezclando y distribuyendo los pigmentos sobre el lienzo de diversas maneras. El lienzo y los pigmentos no son creados por el artista, el cuadro sí. Es concebible que una combinación azarosa de pigmentos o piedras pudiese dar como resultado un todo ordenado como lo son una obra de arte o un edificio. Pero la probabilidad de que el *Guernica* de Pablo Picasso o el magnífico Museo Guggenheim diseñado por Frank Ghery, hayan resultado de la combinación al azar de varios materiales, es infinitamente pequeña. Del mismo modo, la combinación de unidades genéticas que portan la información hereditaria responsable de la formación de un ojo de vertebrado no se habría podido producir jamás simplemente por un proceso al azar como el de la mutación—ni siquiera si consideramos los más de tres mil millones de años de existencia de la vida en la Tierra. La complicada anatomía del ojo, lo mismo que el funcionamiento exacto del riñón, es el resultado de un proceso que no es al azar: la selección natural.

De monos y pintores

A veces los críticos han alegado, como argumento en contra de la teoría de la evolución de Darwin, ejemplos que muestran que los procesos al azar no pueden dar lugar a resultados coherentes, con sentido. Así se señala que un grupo de monos mecanografiando al azar jamás escribirían *El Quijote*, ni siquiera si dejamos que muchas generaciones de monos, durante millones de años, se sienten ante unas máquinas de escribir.

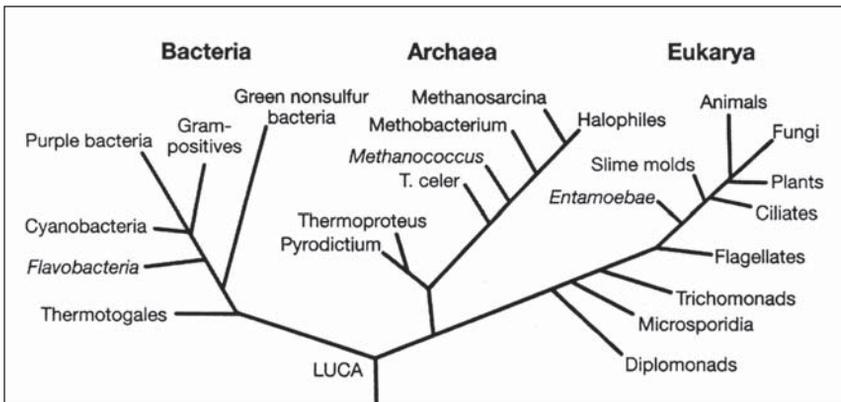
La crítica sería válida si la evolución dependiese únicamente de procesos al azar. Pero la selección natural no es un proceso al azar sino que promueve la adaptación seleccionando combinaciones que «tienen sentido», o sea, combinaciones que son útiles para los organismos. La analogía de los monos sería más apropiada si existiese un proceso por el cual, primero las palabras con sentido se eligieran cada vez que apareciesen en la máquina de escribir; y después también tuviésemos máquinas de escribir con teclas con las palabras previamente seleccionadas en lugar de simples letras y que, de nuevo, hubiese un proceso de selección de las frases con sentido cada vez que apareciesen en este segundo tipo de máquina de escribir. Si cada vez que palabras como «el», «origen», «especies», y así sucesivamente, apareciesen en el primer tipo de máquina, se convirtiesen en teclas del segundo tipo de máquina, ocasionalmente éstas producirían algunas frases con sentido. Si tales frases se incorporasen a las teclas de un tercer tipo de máquina, en la que se seleccionara un párrafo con sentido cada vez que apareciese, está claro que al final se podrían producir páginas e, incluso, capítulos «con sentido».

No es necesario llevar la analogía tan lejos, puesto que ésta no es totalmente satisfactoria, pero la cuestión está clara. La evolución no es el resultado de procesos puramente al azar, sino más bien es un proceso «selectivo», que retiene las combinaciones genéticas adaptativas porque éstas se reproducen más efectivamente y, por tanto, acaban por establecerse en las poblaciones. Estas combinaciones adaptativas constituyen, a su vez, nuevos niveles de organización sobre los que actúa de nuevo la mutación (al azar) y la selección (direccional y no al azar).

La analogía entre un pintor o un arquitecto y la selección natural es deficiente en un sentido importante. Normalmente un pintor o arquitecto parte de una preconcepción de lo que quiere pintar o construir y modificará la pintura para que represente lo que quiere o construirá el edificio intencionado. La selección natural no tiene previsión, ni opera de acuerdo con ningún plan preconcebido. Más bien es un proceso puramente natural que resulta de las propiedades de las entidades físico-químicas y biológicas que interaccionan. La selección natural es simplemente una consecuencia de la multiplicación diferencial de los seres vivos. De alguna manera puede parecer que tiene un propósito porque está condicionada por el ambiente: qué organismos se pueden reproducir de manera más efectiva depende de qué variaciones posean que sean útiles en el ambiente en el que viven. Pero la selección natural no anticipa los ambientes del futuro; los cambios ambientales drásticos pueden ser insuperables para los organismos que antes tenían éxito.

El equipo de monos mecanógrafos también es una mala analogía de la evolución por selección natural, porque asume que hay «alguien» que selecciona las combinaciones de letras y de palabras que tienen sentido. En la evolución no hay nadie que seleccione las combinaciones adaptativas. Éstas se seleccionan a sí mismas porque se multiplican más efectivamente que las menos adaptativas.

La analogía de los monos mecanógrafos es mejor que la del artista en un sentido, al menos si aceptamos que no se tienen que obtener de los esfuerzos mecanográficos de los monos frases concretas, sino simplemente cualquier frase o párrafo con sentido. La selección natural no trata de obtener tipos de organismos predeterminados, sino sólo organismos que están adaptados a sus ambientes presentes. Qué características se seleccionarán depende de qué variaciones ocurran en un momento y sitio dados. A su vez, esto depende del proceso de mutación al azar, así como de la historia previa de los organismos (en otras palabras, del perfil genético que tienen como consecuencia de su evolución previa). La selección natural es un proceso «oportunista». Las variables que determinan en qué dirección irá son el ambiente, la constitución preexistente de los organismos y las mutaciones que emergen al azar.



El árbol universal de la vida, reconstruido con genes de ARN (ácido ribonucleico) ribosomal.

El Antepasado Común Universal (ACU) está abajo.

Las ramas representan diversos grupos de organismos.

Hay tres grupos principales de organismos: bacterias, arqueas, y eucariontes.

La mayoría de los eucariontes son microscópicos.

Las plantas, los animales y los hongos son ramas pluricelulares de los eucariontes

Oportunismo y diversidad

Por tanto, la adaptación a un ambiente dado puede ocurrir de diversas maneras. Se puede tomar un ejemplo de las adaptaciones de la vida vegetal a un clima desértico. La adaptación fundamental es a la condición de sequedad, que implica el riesgo de desecación. Durante la mayor parte del año, a veces durante varios años seguidos, no llueve. Las plantas han satisfecho la urgente necesidad de ahorrar agua de diferentes maneras. Los cactus han transformado sus hojas en espinas, convirtiendo sus tallos en barriles que contienen una reserva de agua; la fotosíntesis se efectúa en la superficie del tallo en lugar de en las hojas. Otras plantas no tienen hojas durante la estación seca, pero tras las lluvias les brotan hojas y flores y producen semillas. Las plantas efímeras germinan a partir de semillas, crecen, florecen y producen semillas, todo en el espacio de pocas semanas mientras es disponible el agua de lluvia; el resto del año las semillas permanecen quiescentes en el suelo.

El carácter oportunista de la selección natural también es evidente en el fenómeno de la radiación adaptativa. La evolución de las moscas *Drosophila* en Hawaii es una radiación adaptativa relativamente reciente. Hay unas 3.000 especies de *Drosophila* en el mundo. Más de 500 de ellas han evolucionado en el archipiélago, aunque se trata de un área pequeña, aproximadamente del tamaño del País Vasco. Además, la diversidad morfológica, ecológica y etológica de las *Drosophila* hawaianas excede a las del resto del mundo.

¿Por qué ha ocurrido en Hawaii tal evolución «explosiva»? La sobreabundancia de las drosófilas allí contrasta con la ausencia de muchos otros insectos. Los ancestros de las drosófilas hawaianas llegaron al archipiélago antes de que lo hicieran otros insectos y, por tanto, encontraron una multitud de oportunidades para vivir sin explotar. Respondieron con una radiación adaptativa rápida; aunque todas se deriven probablemente de una única especie colonizadora, se adaptaron a la diversidad de oportunidades a su disposición en diferentes lugares y momentos desarrollando las adaptaciones apropiadas, que varían de una especie a otra.

El proceso de selección natural puede explicar la diversidad y evolución de los organismos como consecuencia de su adaptación a las múltiples y siempre cambiantes condiciones de vida. El registro fósil muestra que la vida ha evolucionado de una manera azarosa. Las radiaciones, las expansiones, las sustituciones de una forma por otra, las

tendencias ocasionales pero irregulares a cambiar en cierta dirección y las omnipresentes extinciones, se explican mejor por la selección natural de los organismos sometidos a los caprichos de las mutaciones genéticas y de los desafíos ambientales. La explicación científica de estos eventos no necesita recurrir a un plan organizado de antemano, sea impreso desde fuera por un diseñador omnisciente y todopoderoso, sea resultado de alguna fuerza inmanente que impulsa el proceso hacia metas definidas. La evolución biológica difiere de un cuadro o de un monumento en que no es el resultado de un diseño preconcebido por un artista o arquitecto. La selección natural da cuenta del diseño de los organismos, porque las variaciones adaptativas tienden a incrementar la probabilidad de supervivencia y reproducción de sus portadores a expensas de aquéllas que son poco o nada adaptativas.

Azar y necesidad

El azar es una parte integral del proceso evolutivo. Las mutaciones que dan lugar a variaciones hereditarias disponibles para la selección natural se originan al azar, independientemente de si son beneficiosas o perjudiciales para sus portadores. Pero este proceso al azar (así como otros que participan en el gran drama de la vida) está contrarrestado por la selección natural, que preserva aquello que es útil y elimina lo perjudicial. Sin mutación, la evolución no ocurriría porque no habría variaciones que pudiesen ser transmitidas de manera diferencial de una generación a otra. Pero sin selección natural, el proceso de mutación daría lugar a la desorganización y la extinción porque la mayoría de las mutaciones son desventajosas. La mutación y la selección han impulsado conjuntamente el maravilloso proceso que, iniciado en los organismos microscópicos, ha generado orquídeas, aves y humanos.

La teoría de la evolución muestra al azar y la necesidad entrelazados en el meollo de la vida; azar y determinismo están entrelazados en un proceso natural que ha dado lugar a las entidades más complejas, diversas y bellas del universo: los organismos que pueblan la Tierra, incluyendo los humanos que piensan y aman, están dotados de libre albedrío y poderes creativos, y son capaces de analizar el mismo proceso evolutivo que les ha otorgado la existencia. Éste es el descubrimiento fundamental de Darwin: que hay un proceso que es creativo aunque no sea consciente. Y ésta es la revolución conceptual que Darwin completó: que todo en la naturaleza, incluyendo el origen de los organis-

mos vivos, puede explicarse como el resultado de procesos naturales gobernados por leyes naturales. Esto no es sino una visión fundamental que ha cambiado para siempre la forma en que los humanos nos percibimos a nosotros mismos y nuestro lugar en el universo.

Un proceso creativo

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 combinación de unidades genéticas que contiene la información hereditaria responsable de la formación del ojo de los vertebrados no se hubiera producido jamás por un mero proceso aleatorio. La evolución no es un proceso gobernado por acontecimientos fortuitos. La complicada anatomía del ojo, al igual que el exacto funcionamiento del riñón, son, como ya se ha dicho, 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 durante más de quinientos millones de años 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.

Como se ha dicho anteriormente, la selección natural no se anticipa a los medioambientes del futuro; los cambios medioambientales drásticos pueden ser insuperables para organismos que anteriormente estuvieron bien adaptados. 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 incluye casi dos millones de especies, aunque se calcula que ahora hay en existencia al menos diez

millones. Pero sabemos que más del noventa y nueve por ciento 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 más de 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 organismos; 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 es incompatible con un plan predeterminado, ya sea impuesto desde el principio o a través de sucesivas intervenciones por un Diseñador omnisciente y todopoderoso. La evolución biológica difiere de una pintura o un monumento en que no es el resultado de un diseño preconcebido. El diseño de los organismos no es inteligente, sino imperfecto y, a veces, 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. 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.

Diversidad y complejidad

El punto que merece la pena subrayar una vez más es que la evolución no es el resultado de procesos aleatorios, sino que hay un proceso selectivo, que «escoge» combinaciones adaptativas porque éstas 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 animales primitivos del período 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 evidencias de la evolución gradual del ojo, como de otros órganos y, también, organismos.

A lo largo de eones de tiempo, multitudes de organismos complejos han aparecido sobre la Tierra. Mayor complejidad 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, pero sólo en algunos grupos de organismos. Las clases de organismos más longevos que hay sobre la Tierra son las bacterias microscópicas, que han existido de forma continuada en nuestro planeta durante más de tres mil millones 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 sesenta millones de años; nuestra especie, el *Homo sapiens*, apareció hace menos de doscientos mil años.

Evolución: ¿hecho o teoría?

Cuando los científicos hablan de la «teoría» de la evolución, utilizan la palabra de modo diferente a como lo hace la gente en el habla corriente. En la forma de hablar cotidiana, «teoría» con frecuencia significa «conjetura» o «corazonada», como en «Tengo una teoría sobre por qué existe una gran tradición vasca de buena cocina y buen comer». En la ciencia, sin embargo, una teoría es una explicación elaborada, acerca de algún aspecto del mundo natural que incluye observaciones, hechos, leyes, inferencias, e hipótesis comprobadas. Los científicos a veces emplean la palabra teoría para explicaciones provisionales que carecen de pruebas de apoyo sustanciales. Dichas explicaciones provisionales son llamadas de forma más precisa «hipótesis».

Según la teoría de la evolución, los organismos están emparentados por ascendencia común. Hay una multiplicidad de especies porque los organismos cambian de generación en generación, y los linajes diferentes cambian de forma diferente. Las especies que comparten un antepasado reciente son, por tanto, más parecidas que las que tienen antepasados remotos. Así, los humanos y los chimpancés son, en configuración y constitución genética, más similares entre sí de lo que lo son respecto a los babuinos o los elefantes.

Los científicos coinciden en que el origen evolutivo de los animales y las plantas es una conclusión científica más allá de toda duda razonable. Lo sitúan junto a semejantes conceptos establecidos como que la Tierra es esférica y gira alrededor del Sol, y la composición molecular de la materia. Que la evolución ha ocurrido es, en lenguaje corriente, un hecho.

¿Cómo es compatible esta declaración con la idea establecida de que la ciencia se basa en la observación y la experimentación, dado que nadie ha observado la evolución de las especies, y mucho menos la haya reproducido por medio de experimentos? Lo que los científicos observan no son los conceptos o las conclusiones generales de las teorías, sino sus consecuencias. La teoría heliocéntrica de Copérnico afirma que la Tierra gira alrededor del Sol. Nadie ha observado este fenómeno, pero lo aceptamos debido a las numerosas confirmaciones de sus consecuencias predichas.

Aceptamos que la materia está compuesta de átomos, aunque nadie los haya visto, debido a las observaciones y los experimentos que así lo confirman en física y química. Lo mismo sucede con la teoría de la evolución. Por ejemplo, la declaración de que los humanos y los chimpancés están más estrechamente emparentados entre sí de lo que lo están con los babuinos conduce a la predicción de que el ADN es más parecido entre los humanos y los chimpancés que entre los chimpancés y los babuinos. Para comprobar esta predicción, los científicos seleccionan un gen particular, examinan su estructura de ADN en cada especie, y de ese modo corroboran la inferencia. Experimentos de esta clase se repiten de formas muy diversas para obtener mayor seguridad en la conclusión. Y así es en lo que respecta a miríadas de predicciones e inferencias entre toda clase de organismos.

El hecho de la evolución—es decir, que los organismos están emparentados por una ascendencia común y que los organismos cambian y se diversifican a través del tiempo en larga escala—está establecido con toda certidumbre. Darwin reunió muchas pruebas en su apoyo, pero

las pruebas no han dejado de acumularse continuamente desde entonces, procedentes de todas las disciplinas biológicas. El origen evolutivo de los organismos es hoy una conclusión científica establecida más allá de la duda razonable, dotada de la clase de certidumbre que los científicos atribuyen a teorías científicas bien establecidas en física, astronomía, química y biología molecular. Este grado de certidumbre más allá de la duda razonable es lo que se implica cuando los biólogos dicen que la evolución es un «hecho»; el origen evolutivo de los organismos es algo que aceptan prácticamente todos los biólogos.

Tal es la enjundia de la revolución darwiniana: que el diseño y adaptación de los organismos, las entidades más bellas y diversas del Universo, son el resultado de un proceso natural, gobernado por leyes naturales. La revolución darwiniana completó la revolución copernicana, trayendo así al dominio de la ciencia todas las entidades naturales.

Naturaleza humana: de la biología a la moral

Los humanos vivimos en grupos socialmente organizados, como también lo hacen los antropoides. Pero las sociedades de antropoides no se aproximan en su complejidad a las sociedades humanas. Un carácter distintivamente humano es la cultura, que en el contexto presente incluye el conjunto de todas las creaciones y actividades no estrictamente biológicas de los humanos. La cultura en este sentido incluye las instituciones sociales y políticas, las tradiciones morales y religiosas, el lenguaje, los conocimientos científicos o de experiencia común, el arte y la literatura, la tecnología y, en general, todos los productos de la mente humana. La aparición de la cultura en nuestros antepasados trajo consigo la evolución cultural, un modo superorgánico de evolución superimpuesta sobre el orgánico y que durante los últimos milenios se ha convertido en el modo preponderante de evolución humana.

La evolución cultural ha surgido precisamente porque los humanos transmitimos una herencia cultural, además de la biológica; y se ha convertido en un método de adaptación al ambiente que es mucho más eficaz que la herencia biológica. Es más eficaz, primero porque la evolución cultural puede ser dirigida, puesto que las innovaciones culturales surgen de un propósito intencionado de mejorar nuestra posición en el ambiente, mientras que las innovaciones biológicas (es decir, las mutaciones genéticas) nacen de un proceso aleatorio independientemente de su utilidad.

Además, la adaptación por medio de la cultura es más eficaz que la adaptación biológica porque es mucho más rápida. La transmisión de

una mutación genética beneficiosa desde el individuo en el que aparece al resto de la especie requiere un número enorme de generaciones. Pero las invenciones culturales (la radio, por ejemplo, o el teléfono) pueden extenderse a la humanidad entera, al menos en principio, en muy poco tiempo, ciertamente en menos de las tres décadas requeridas por cada generación humana.

En las páginas que siguen quiero explorar la cuestión de si la evolución de la cultura humana está determinada por su evolución biológica o si sigue reglas independientes. Voy a explorar el comportamiento moral como modelo, ya que se trata de un rasgo cultural humano universal y preponderante en su vida social y familiar. La cuestión que quiero plantear es si la evolución de la moralidad es o no una consecuencia de la evolución biológica. Como veremos en seguida, la cuestión es más compleja de lo que el planteamiento que acabo de hacer pudiera sugerir.

El sentido moral

La ética es un universal humano. Las personas tienen valores morales, es decir, aceptan unas pautas en virtud de las cuales su conducta será calificada de conveniente o indebida, de buena o mala. Estas «pautas» incluyen como componente importante las consecuencias que las acciones de un individuo tienen en otros; más generalmente, los beneficios o perjuicios que causan a la tribu o grupo social a que pertenece el individuo. Las normas particulares mediante las cuales se juzgan las acciones morales varían hasta cierto punto de un individuo a otro, de una cultura a otra (si bien algunas normas, como no matar, no robar y honrar a los padres, están muy difundidas y quizá sean universales); pero en todas las culturas se efectúan juicios morales. Esta universalidad plantea la cuestión de si el sentido moral forma parte de la naturaleza humana (es decir, de si es una dimensión más de nuestro bagaje biológico) y de si los valores éticos pueden ser el resultado de la evolución biológica en vez de serlo simplemente de las tradiciones religiosas y culturales.

Aristóteles y otros filósofos de la Grecia y Roma clásicas, así como Santo Tomás de Aquino y los escolásticos, mantuvieron que somos seres éticos por naturaleza. El humano no sólo es *homo sapiens* sino también *homo moralis*. Pero la evolución biológica añade una dimensión diacrónica importante. No atribuimos comportamiento ético a los animales (al menos no a todos los animales y no en la misma medida

que a los humanos). Incluso si estuviésemos de acuerdo con Aristóteles y Aquino, quedarían las siguientes preguntas: ¿Cuándo apareció la capacidad para el comportamiento ético? ¿Y por qué apareció? ¿Es un simple producto secundario de otros atributos (la inteligencia, por ejemplo) o fue promovido específicamente como una diana directa de la selección natural?

La cuestión de si el sentido ético está biológicamente determinado puede desdoblarse en los dos problemas siguientes: (1) ¿está determinada por la naturaleza biológica del ser humano la capacidad para la ética?; y (2) ¿están determinados biológicamente los sistemas o códigos de normas éticas aceptadas por los seres humanos?

El primer interrogante plantea si la naturaleza biológica del ser humano es tal que éste se ve inclinado de necesidad a hacer juicios morales y aceptar valores éticos para identificar ciertas acciones como buenas o malas. Cualquier respuesta afirmativa a esta primera pregunta no determina necesariamente cual sería la correspondiente a la segunda. Con independencia de que la persona humana sea o no ética de necesidad, queda por determinar si los preceptos morales particulares están en verdad reglados por la naturaleza biológica de nuestra especie, o si son producto de la elección de la sociedad o el individuo. Aun cuando hubiéramos de concluir que las personas no pueden evitar tener pautas morales de conducta, cabría que la elección de las mismas fuera arbitraria. La necesidad de tener pautas morales nada nos dice acerca de cuáles serán dichas pautas, lo mismo que la capacidad para el lenguaje no determina qué idioma hablaremos.

La primera tesis que propondré es que los humanos somos seres éticos por nuestra naturaleza biológica; que los humanos evaluamos nuestro comportamiento como correcto o incorrecto, moral o inmoral, como consecuencia de nuestras eminentes capacidades intelectuales, que incluyen la autoconciencia y el pensamiento abstracto. Estas capacidades intelectuales son productos del proceso evolutivo pero son distintas de los humanos. Así, sostendré que el comportamiento ético no está causalmente relacionado con el comportamiento social de los animales, incluyendo el «altruismo» familiar y recíproco.

La segunda tesis que presentaré es que las normas morales según las cuales calificamos determinadas acciones de moralmente buenas o malas (así como las razones que cabe aducir para justificar dichas normas) son producto de la evolución cultural, no de la evolución biológica. En este respecto, las normas de moralidad pertenecen a la misma categoría de fenómenos que las instituciones políticas y religiosas, o las

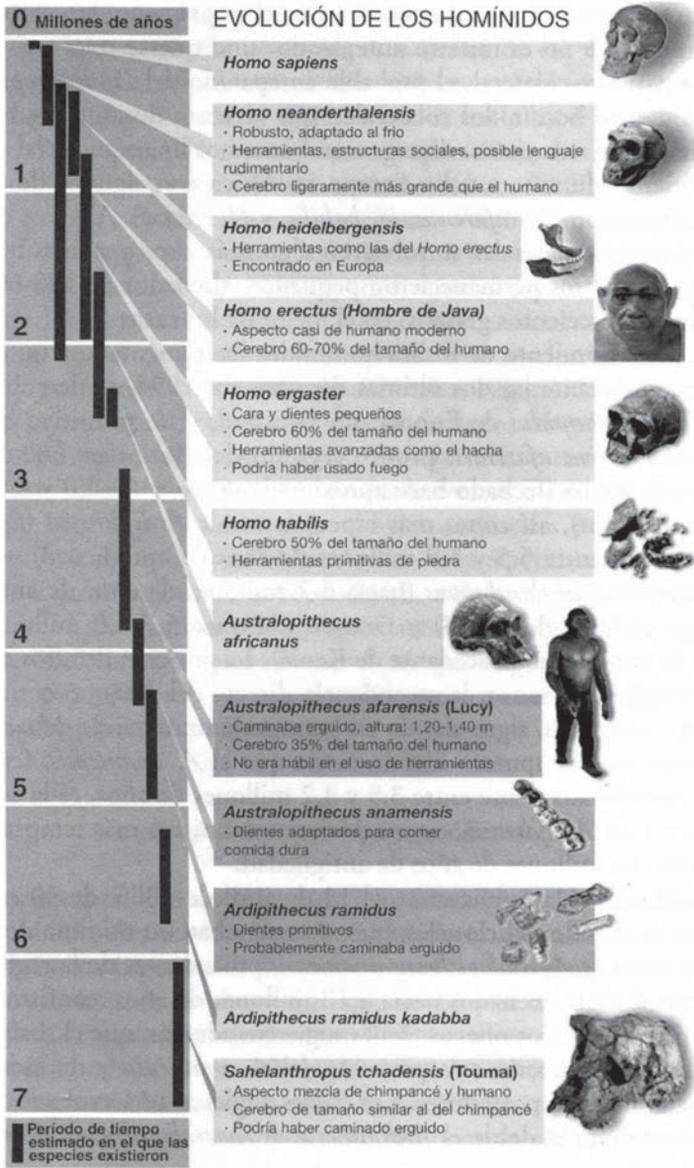
artes, las ciencias y la tecnología. Los códigos morales, como esos otros productos de la cultura humana, suelen ser coherentes con las predisposiciones biológicas de la especie humana. Pero tal coherencia entre las normas éticas y las tendencias biológicas no es ni necesaria ni universal; no tienen aplicación a todas las normas éticas de una sociedad dada, y mucho menos a la totalidad de las sociedades humanas.

Los códigos morales, como cualesquiera otros sistemas humanos, dependen de la naturaleza biológica humana, y han de ser coherentes con ella en el sentido de que no podrían contrarrestarla sin fomentar su propia desaparición. Es más, la aceptación y la persistencia de las normas morales es más fácil cuanto más coherentes son éstas con los comportamientos humanos biológicamente determinados. Pero las normas morales son independientes de estos comportamientos en tanto que algunas pueden no favorecer—y aun dificultar—la supervivencia y la reproducción del individuo y sus genes—supervivencia y reproducción que son los objetivos de la evolución biológica—. No obstante, las discrepancias entre las normas morales aceptadas y la supervivencia biológica deben tener, necesariamente, un alcance limitado, o de lo contrario conducirían a la extinción de los grupos que aceptaran esas reglas discrepantes.

El comportamiento ético

La cuestión de si el comportamiento ético está determinado por nuestra naturaleza biológica ha de ser respondida afirmativamente. Por «comportamiento ético» entiendo, no la buena conducta, sino el imperativo de juzgar las acciones humanas como buenas o malas, en función de ciertas normas que incluyen su impacto en otros individuos. El ser humano denota comportamiento ético por naturaleza, porque su constitución biológica determina la presencia en él de tres condiciones necesarias, y en conjunto suficientes, para que se de tal comportamiento. Estas condiciones son: (1) la capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones propias; (2) la capacidad de hacer juicios de valor, y (3) la capacidad de escoger entre líneas de acción alternativas. Examinaré brevemente cada una de estas capacidades y demostraré que existen como consecuencia de la eminente capacidad intelectual del ser humano.

La capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones propias es la más fundamental de las tres condiciones que exige el comportamiento ético. Sólo si puedo prever que al apretar el gatillo saldrá la bala



Especies de homínidos, antepasados directos o colaterales de *Homo sapiens*, nuestra especie, una vez que el linaje humano se había separado de los chimpancés y otros simios, empezando con *Sahelanthropus tchadensis*, que vivió entre hace siete y seis millones de años

disparada, que a su vez herirá y matará a mi enemigo, podrá ser calificada de vil la acción de apretar el gatillo. Apretar el gatillo no es de por sí una acción moral; llega a serlo en virtud de sus importantes consecuencias. Mi acción tiene una dimensión ética sólo si preveo estas consecuencias.

La capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones propias está estrechamente relacionada con la de establecer el vínculo entre los medios y los fines, es decir, de ver un medio precisamente como un medio, algo que sirve a un determinado fin o propósito. Dicha capacidad de establecer el vínculo entre los medios y sus fines demanda la de prever el futuro y formar imágenes mentales de realidades no presentes o ni siquiera existentes.

La capacidad de establecer la relación entre los medios y los fines es la aptitud intelectual básica que ha permitido el desarrollo de la cultura y la tecnología humanas. Las raíces evolutivas de tal capacidad pueden hallarse en la evolución de la postura erguida, que transformó los miembros anteriores de nuestros antepasados de órganos de locomoción en órganos de manipulación. Las manos se convirtieron, gradualmente, en órganos aptos para la construcción y uso de objetos destinados a la caza y a otras actividades que incrementaban la supervivencia y la reproducción, es decir, que aumentaban la aptitud reproductora de sus poseedores. La elaboración de útiles no sólo depende de la destreza manual sino de que éstos sean entendidos precisamente como útiles, como medios al servicio de ciertos fines o propósitos: el cuchillo para cortar, la flecha para cazar, la piel de un animal para proteger el cuerpo del frío. La selección natural estimuló la capacidad intelectual de nuestros antepasados bípedos porque una mayor inteligencia facilitaba la percepción de los útiles como tales y, por tanto, su construcción y empleo, con la consiguiente mejora de la supervivencia y la reproducción biológicas.

El desarrollo de estas aptitudes intelectuales distintivas de nuestros antepasados se inició hace, tal vez, dos millones de años, incrementando paulatinamente la capacidad de vincular los medios con sus fines y, por ende, la posibilidad de fabricar útiles cada vez más complejos, al servicio de propósitos más remotos. Por consiguiente, la capacidad de prever el futuro, esencial para el comportamiento ético, está estrechamente asociada con el desarrollo de la capacidad para construir útiles—capacidad que ha dado lugar a la avanzada tecnología de las sociedades modernas, y que, en buena medida, es responsable del éxito de la humanidad como especie biológica—. Desde sus oscuros orígenes en

África, la humanidad se ha propagado por toda la Tierra —con la excepción de los gélidos yermos de la Antártida— y se ha convertido en el mamífero más abundante.

La segunda condición para la existencia del comportamiento ético es la capacidad para hacer juicios de valor; es decir, de ver en ciertos objetos o actos algo más deseable que en otros. Sólo si puedo ver en la muerte de mi enemigo un hecho preferible a su supervivencia (o viceversa) podrá la acción que lleve a su destrucción ser calificada de moral. Si las posibles consecuencias de una acción son neutras en cuanto a su valor, dicha acción no podrá ser considerada ética. La posibilidad de hacer juicios de valor depende de la capacidad de abstracción, es decir, de la capacidad de percibir las acciones y los objetos como miembros de clases generales. Esto permite comparar objetos o acciones entre sí y ver en unos cualidades más deseables que en otros. La capacidad para la abstracción exige una inteligencia superior, como la que se da en el ser humano y sólo en él.

La tercera condición necesaria para el comportamiento ético es la capacidad para elegir entre modos alternativos de acción. Apretar el gatillo puede ser una acción moral sólo si tengo la opción de no apretarlo. Una acción obligada, que escapa a nuestro control, no es una acción moral: la circulación de la sangre o la digestión de los alimentos no son acciones morales. Si existe o no el libre albedrío es un problema sobre el que los filósofos han discutido largo y tendido, y no es éste el lugar adecuado para revisar los argumentos al respecto. Aquí sólo expondré dos considerandos de sentido común a favor de su existencia. Uno es nuestra experiencia personal, que indica que la posibilidad de escoger entre alternativas es real, no sólo aparente. El segundo es que cuando nos enfrentamos a una situación que exige una iniciativa por nuestra parte, podemos explorar mentalmente diversas líneas de acción, ampliando así el dominio en el cual podemos ejercer nuestro libre albedrío. Sea como fuere, si no existiera el libre albedrío no existiría el comportamiento ético; la moralidad no sería más que una ilusión. Sin embargo, lo que quiero dejar bien claro aquí es que el libre albedrío depende de la existencia de una inteligencia bien desarrollada que permita explorar líneas de acción alternativas y escoger una u otra a la vista de las consecuencias previstas.

En resumen, el comportamiento ético es un atributo del bagaje biológico del ser humano, y, por consiguiente, un producto de la evolución. Pero no encuentro argumentos a favor de que el comportamiento ético se desarrollara por ser intrínsecamente adaptativo. No

veo cómo la valoración de ciertas acciones como buenas o malas (no la mera elección de unas y no otras, o la decisión respecto de sus consecuencias prácticas) incrementaría la eficacia reproductora del valorador. Ni tampoco veo cómo podría existir una forma de comportamiento ético «incipiente» que fuera luego fomentada por selección natural.

Las tres condiciones necesarias para que exista el comportamiento ético son manifestación de unas aptitudes intelectuales avanzadas, y fueron éstas las favorecidas por la selección natural, porque la construcción y uso de útiles mejoraba la eficacia reproductiva de nuestros antecesores bípedos. Una vez que apareció el bipedalismo, y con ello el uso y la fabricación de útiles, los individuos más eficientes en estas tareas tenían una mayor probabilidad de éxito biológico. La ventaja biológica brindada por el diseño y el empleo de útiles persistió lo suficiente para que las aptitudes intelectuales continuaran en aumento, produciendo a la larga el extraordinario desarrollo de la inteligencia que caracteriza al *Homo sapiens*.

La cuestión de la ética en los animales

El desarrollo de las capacidades intelectuales humanas puede ser visto como un final de un proceso que es evolutivamente continuo y gradual. Un incremento en la capacidad de obtener y procesar información sobre el medio externo es una tendencia evolutiva particularmente aparente en linajes animales. Esta capacidad es adaptativa porque permite al organismo reaccionar de forma flexible a las condiciones del ambiente.

En algunos organismos unicelulares se puede detectar una capacidad rudimentaria para captar y procesar información sobre el ambiente. Un paramecio sigue una ruta sinuosa a medida que nada e ingiere las bacterias que encuentra. Cuando encuentra condiciones desfavorables, tales como una acidez o salinidad inadecuadas del agua, frena su avance, gira e inicia una nueva dirección. Esta reacción es puramente negativa: el paramecio no busca su alimento o un ambiente favorable sino que simplemente evita las condiciones desfavorables. En el alga unicelular *Euglena* se da una capacidad algo mayor de procesar información sobre el ambiente, pues posee una mancha sensible por medio de la cual se puede orientar hacia la dirección de la luz. Los movimientos de *Euglena* son direccionales; no sólo evita ambientes inadecuados sino que busca los adecuados. Las amebas representan un

avance adicional en la misma dirección; reaccionan ante la luz apartándose de ella y también buscan activamente su alimento.

La capacidad de captar y procesar información sobre el ambiente no ha aumentado con el tiempo en todos los linajes de organismos. Las amebas actuales no son más avanzadas a este respecto que sus ancestros de hace mil millones de años. En muchos linajes evolutivos han ocurrido progresos limitados en las primeras etapas, sin que hayan sucedido avances adicionales durante el resto de sus historias. En general, los animales son más avanzados, de acuerdo con este estándar, que las plantas; los vertebrados, más que los invertebrados; los mamíferos, más que los reptiles, los cuales son más avanzados que los peces.

Los vertebrados son capaces de obtener y procesar señales mucho más complicadas y de producir una variedad mucho mayor de respuestas que los invertebrados, incluyendo los insectos y otros artrópodos. En los animales en general, la capacidad para obtener y procesar información sobre el entorno está enraizada en su sistema nervioso y en el cerebro, que integra las señales sensoriales transmitidas por los nervios y coordina las respuestas adecuadas. El cerebro de los vertebrados tiene un número enorme de neuronas asociativas con una ordenación extremadamente compleja. Entre los vertebrados, el progreso en la capacidad para obtener y manejar la información ambiental se correlaciona con el incremento en el tamaño de los hemisferios cerebrales y con la aparición y desarrollo del neopalio. El neopalio es un órgano implicado en la asociación y coordinación de todo tipo de impulsos que llegan a todos los receptores y centros cerebrales. El neopalio apareció primero en los reptiles. En los mamíferos se expandió para convertirse en la corteza cerebral, que cubre la mayor parte de los hemisferios cerebrales. El cerebro mayor de los vertebrados comparado con el de los invertebrados les permite también tener una mayor cantidad de neuronas comprometidas en el almacenamiento de información o memoria. El tamaño relativo y la complejidad absoluta del cerebro, y en particular de la corteza cerebral, alcanzan su máximo en los humanos, que tienen una capacidad mucho mayor que ningún otro organismo para percibir el ambiente e integrar, coordinar y reaccionar flexiblemente a aquello que se percibe. El desarrollo extraordinario del cerebro ha dotado a los humanos de poderes intelectuales que hacen posibles la abstracción y la autoconciencia, o sea, la objetivación del sujeto pensante, la capacidad de un individuo para percibirse a sí mismo como objeto.

La cuestión que surge es si la capacidad del comportamiento ético, que he argumentado que se asocia al desarrollo avanzado de la inteli-

gencia, podría estar presente al menos de forma rudimentaria en otros animales, en proporción al desarrollo de su inteligencia. Mi respuesta es negativa. Algunos animales exhiben comportamientos análogos a los que resultan de las acciones éticas humanas, como la lealtad de los perros o la aparición de remordimiento cuando se les castiga. Pero tales comportamientos o están genéticamente determinados o son el resultado del entrenamiento («respuestas condicionadas»). En el comportamiento «altruista» de algunos animales también está implicada la determinación genética y no la evaluación moral. En mi opinión, en animales no se da ninguna de las tres condiciones necesarias del comportamiento ético (ver más adelante).

La capacidad para la ética es un resultado de la evolución gradual, pero es un atributo que sólo existe cuando los atributos subyacentes (es decir, las capacidades intelectuales) alcanzan un grado avanzado. Las condiciones necesarias para el comportamiento ético sólo aparecen cuando se cruza un umbral evolutivo. La aproximación es gradual, pero las condiciones sólo aparecen cuando se alcanza un grado de inteligencia tal que son posibles la formación de conceptos abstractos y la anticipación del futuro. Los umbrales se dan en otros desarrollos evolutivos (por ejemplo, en los orígenes de la vida, de la pluricelularidad y de la reproducción sexual) así como en la evolución del pensamiento abstracto y la autoconciencia. Los umbrales también existen en el mundo inorgánico; por ejemplo, el agua se calienta gradualmente, pero la ebullición empieza a 100°C y se inicia de pronto la transición de líquido a gas.

Los códigos morales

He propuesto que el comportamiento ético está arraigado en la naturaleza biológica del ser humano; y que dicho comportamiento no evolucionó porque fuera adaptativo de por sí, sino como resultado indirecto de la evolución de una eminente capacidad intelectual. Vayamos ahora a la segunda cuestión: ¿Determina también nuestra naturaleza biológica qué normas morales o códigos éticos debe obedecer el ser humano? Mi respuesta es «no»; no necesariamente y no exclusivamente. Las normas morales según las cuales decidimos si una determinada acción es buena o mala no están especificadas por la evolución biológica, sino por la evolución cultural. Las premisas de nuestros juicios morales provienen de las tradiciones sociales, incluyendo las religiosas.

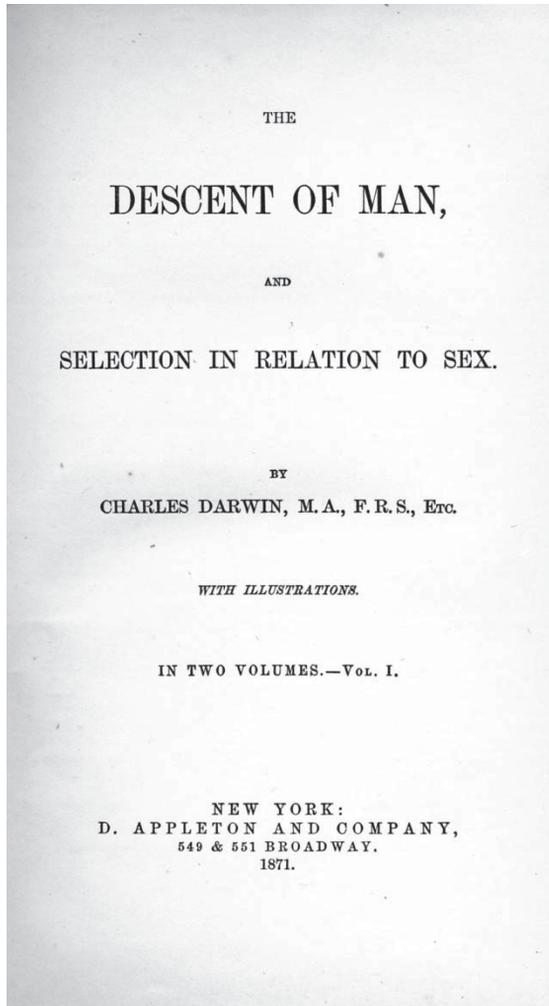
Presto añadiré, sin embargo, que los sistemas morales, como cualquier otra actividad cultural, no pueden sobrevivir mucho tiempo si discurren en franca contraposición con nuestra biología. Las normas de moralidad han de ser consistentes con nuestra naturaleza biológica, porque la ética sólo puede existir en individuos humanos y en sociedades humanas. Por tanto, cabe esperar también que las normas aceptadas de moralidad fomenten a menudo los comportamientos que incrementan la adaptación biológica de quienes se comportan de acuerdo con ellas. Pero esto no siempre es así, no es necesario que lo sea.

Antes de proseguir, quizá merezca la pena considerar brevemente la hipótesis de que la justificación de los códigos morales viene de las convicciones religiosas y sólo de ellas. No existe ningún vínculo necesario, o lógico, entre la fe religiosa y los principios de la moral, aunque generalmente existe un nexo de motivación, o psicológico. Lo que quiero dar a entender con esto es que las creencias religiosas explican por qué las personas aceptan unas normas éticas determinadas: son sus convicciones religiosas las que las mueven a hacerlo así; pero, al seguir los dictados morales de su religión, los individuos no justifican racionalmente las normas morales que están aceptando.

Por supuesto, cabe desarrollar una justificación racional: por ejemplo, cuando un conjunto de creencias religiosas contiene propuestas sobre la naturaleza humana y el mundo, a partir de las cuales se pueden deducir de forma lógica las normas éticas. Pero, en este caso, dicha justificación lógica no proviene de la fe religiosa en cuanto tal, sino de una determinada concepción del mundo: es el resultado de un análisis filosófico fundamentado en ciertas premisas. Los teólogos en general, y en particular los teólogos cristianos, tratan a menudo de autorizar su ética sobre bases racionales relativas a la naturaleza humana. Un ejemplo notable es la teoría de la «ley natural» de Santo Tomás de Aquino, durante mucho tiempo el más influyente de todos los teólogos cristianos.

Añadiré que las motivaciones que vinculan las creencias religiosas y las normas éticas son lo más decisivo para el creyente religioso. Pero esto es cierto en general: la mayoría de las personas, religiosas o no, aceptan un determinado código moral por razones sociales, sin tratar de justificarlo racionalmente mediante una teoría de la que se puedan deducir, de manera lógica, las normas morales.

Existen muchas teorías sobre los fundamentos racionales de la moralidad, como las teorías deductivas que tratan de descubrir los axiomas o principios fundamentales que establecen lo que es moralmente



The Descent of Man (1871), de Charles Darwin

correcto a partir de la intuición moral directa, o las teorías como el positivismo lógico o el existencialismo, que niegan el fundamento racional de la moralidad, reduciendo los principios morales a decisiones emotivas u otras causas irracionales. A raíz de la publicación de la teoría darwiniana de la evolución por selección natural, filósofos y biólogos han intentado hallar en el proceso evolutivo la justificación de las nor-

mas morales. El fundamento común de todos estos intentos es que la evolución es un proceso natural que alcanza metas que son deseables y, por consiguiente, moralmente buenas; entre otras metas deseables, es un hecho que la evolución ha producido el ser humano. Los partidarios de estas ideas consideran que sólo las metas evolutivas pueden prestar valor moral a la acción humana: que un acto humano sea moralmente bueno depende de si favorece, directa o indirectamente, el proceso evolutivo y sus objetivos naturales.

Herbert Spencer quizá fue el primer filósofo que buscaba encontrar las bases de la moralidad en la evolución biológica. Los intentos más recientes incluyen los distinguidos evolucionistas J.S. Huxley (1942, 1953) y C.H. Waddington (1960), y Edward O. Wilson (1975, 1978), fundador de la sociobiología como una disciplina independiente comprometida en descubrir los fundamentos biológicos de todos los comportamientos sociales.

En *The Principles of Ethics* (1893) Spencer pretende reemplazar la fe cristiana como justificación de los valores éticos tradicionales por un fundamento natural. Spencer sostiene que la teoría de la evolución orgánica implica ciertos principios éticos. La conducta humana debe ser evaluada, como cualquier otra actividad biológica, en función de si se ajusta al proceso de la vida; por tanto, cualquier código moral aceptable debe basarse en la selección natural, la ley de la lucha por la existencia. Según Spencer, la forma más elevada de conducta es la que conduce hacia una mayor duración, extensión y perfección de la vida; la moralidad de todas las acciones humanas se ha de medir con este estándar. Spencer propone que, si bien existen excepciones, la regla general es que el placer acompaña a todo lo que es biológicamente útil, mientras que el dolor marca aquello que es biológicamente nocivo. Esto es resultado de la selección natural: en efecto, haciendo lo que da placer y evitando lo doloroso los organismos mejoran sus posibilidades de supervivencia. Respecto al comportamiento humano, vemos que obtenemos placer del comportamiento virtuoso y dolor de las malas acciones, asociaciones que indican que la moralidad de las acciones humanas también se fundamenta en la naturaleza biológica.

Spencer propone como regla general del comportamiento humano que cualquiera debería ser libre de hacer lo que quisiese en la medida que no interfiera con la libertad similar que poseen los demás. La justificación de esta regla se fundamenta en la evolución orgánica: el éxito de un individuo, planta o animal, depende de su capacidad para obtener lo que necesita. En consecuencia, Spencer reduce el papel del

estado a la protección de la libertad de los individuos para hacer lo que les plazca. Este forma de gobierno de *laissez faire* puede parecer despiadada, porque los individuos perseguirán su propio bienestar sin ninguna consideración por los demás (excepto el respeto de su libertad), pero Spencer cree que es consistente con los valores cristianos tradicionales. Se puede añadir que, aunque Spencer pone los fundamentos de la moralidad en la naturaleza biológica y nada más, admite que ciertas normas morales van más allá que lo que está determinado biológicamente; estas reglas están formuladas por la sociedad y aceptadas por tradición.

El darwinismo social, en la versión de Spencer o en alguna otra variante, estuvo de moda en círculos europeos y americanos a finales del siglo XIX y principios del XX, pero en la actualidad hay pocos o carece de seguidores intelectuales distinguidos. Los críticos de Spencer incluyen a los evolucionistas J.S. Huxley y H.C. Waddington quienes, sin embargo, mantienen que la evolución orgánica sienta las bases de una justificación racional de los códigos éticos. Para Huxley, el estándar de la moralidad es la contribución de las acciones al progreso evolutivo, que va de organismos menos a más «avanzados». Para Waddington, la moralidad de las acciones debe evaluarse por su contribución a la evolución humana.

Las visiones de Huxley y Waddington se basan en juicios de valor acerca de lo que es o no progresivo en evolución. Al contrario de la propuesta de Huxley, no hay nada objetivo en el proceso evolutivo mismo (i.e., fuera de las consideraciones humanas; véase Ayala 1982) que haga el éxito de las bacterias, que han persistido como tales durante más de dos mil millones de años y en grandes cantidades, menos deseable que el de los vertebrados, aunque éstos sean más complejos. Ni son los insectos, de los cuales existen más de un millón de especies, menos deseables o menos exitosos desde una perspectiva puramente biológica que los humanos o cualquier otra especie de mamífero. Waddington fracasa en demostrar por qué la promoción de la evolución biológica humana por sí misma debe ser el estándar para medir lo que es moralmente bueno.

Una objeción más fundamental contra las teorías de Spencer, Huxley y Waddington —y contra cualquier otro programa que busque la justificación de un código moral en la naturaleza biológica— es que tales teorías cometen la «falacia naturalista» (Moore, 1903), que consiste en identificar lo que «es» con lo que «debe ser». Este error ya fue señalado por Hume (1740, 1978:469): «Para cada uno de los sistemas

morales que he encontrado hasta ahora he señalado siempre que el autor usa durante algún tiempo la manera ordinaria de razonamiento... cuando de repente me sorprende ver que en lugar de las copulaciones usuales de proposiciones, *es* y *no es*, me encuentro con que todas las proposiciones se conectan con *debe* o *no debe*. Este cambio es imperceptible; pero, sin embargo, es de suprema importancia. Es necesario que sea resaltado y explicado porque *debe* o *no debe* expresan una relación o afirmación nueva; y que al mismo tiempo se debería dar una razón, lo que parece completamente inconcebible, de cómo puede deducirse esta nueva relación a partir de otras que son completamente diferentes».

La falacia naturalista aparece siempre que se derivan inferencias que usan los términos «debe» o «no debe» de premisas que no incluyen tales términos sino que están formulados con conexiones «es» o «no es». Un argumento no puede ser válido lógicamente a menos que las conclusiones sólo contengan términos que también están presentes en las premisas. Para poder pasar de manera lógica de aquello que «es» a lo que «debe ser» es necesario incluir una premisa que justifique la transición entre las dos expresiones. Pero esta transición es la cuestión que está en juego y uno necesitaría una premisa previa para justificar la validez de hacer dicha transición, y así sucesivamente en una regresión *ad infinitum*. En otras palabras, del hecho de que algo es el caso, no se sigue que esto *debe ser* en un sentido ético; *es* y *debe* pertenecen a categorías lógicas separadas.

Del hecho de que la evolución ha ocurrido en una forma en particular no se sigue que tal curso es moralmente correcto o deseable. La justificación de las normas éticas sobre la base de la evolución biológica, o en cualquier otro proceso natural, puede alcanzarse sólo si se introducen juicios de valor, elecciones humanas que prefieren un objeto o proceso más que otro. La naturaleza biológica en sí misma es moralmente neutra.

Además hay que destacar que usar la selección natural o el curso de la evolución para determinar la moralidad de las acciones humanas puede conducir a paradojas. La evolución ha producido los virus de la viruela o del sida. Pero no parece razonable acusar de inmoralidad a la Organización Mundial de la Salud por su campaña de erradicación del virus de la viruela; o tachar de no éticos los esfuerzos para controlar la extensión galopante del virus del sida. Las enfermedades hereditarias humanas están condicionadas por mutaciones que son hechos naturales en el proceso evolutivo. Pero no pensamos que sea inmoral curar o

aliviar el dolor de las personas con tales enfermedades. La selección natural es un proceso natural que incrementa la frecuencia de ciertos genes y elimina otros, que origina algunos tipos de organismos en lugar de otros; pero no es un proceso moral o inmoral en sí mismo o en su resultado, de la misma manera que la gravedad no es una fuerza cargada de moral. Para poder considerar algunos eventos evolutivos como moralmente correctos o incorrectos, debemos introducir valores humanos; las evaluaciones morales no se pueden alcanzar simplemente en base a que ciertos eventos ocurren por procesos naturales.

La propuesta sociobiológica

Edward O. Wilson (1975:562) ha urgido a que «los científicos y humanistas deberían considerar juntos la posibilidad de que ha llegado el momento de que la ética sea arrebatada temporalmente de las manos de los filósofos y sea biologizada». Wilson, como otros sociobiólogos (Barash 1977, Wilson 1978, Alexander 1979, véase también Ruse 1986a), propone que la sociobiología puede suministrar la clave para encontrar una base naturalista para la ética. La sociobiología es «el estudio sistemático de las bases biológicas de toda forma de comportamiento social en todo tipo de organismos» (Wilson, en el prólogo a Barash 1977) o, en la formulación concisa de Barash, «la aplicación de la biología evolutiva al comportamiento social» (1977:ix). La intención es «desarrollar leyes generales de la evolución y la biología del comportamiento social, que luego puedan extenderse de forma desinteresada al estudio de los seres humanos (Wilson, *ibidem*). El programa es ambicioso: descubrir las bases biológicas del comportamiento social humano, empezando por la investigación del comportamiento social en animales.

El argumento del sociobiólogo en relación con la ética normativa no es que las normas de moralidad puedan fundarse en la evolución biológica, sino más bien que la evolución nos predispone a aceptar ciertas normas morales, a saber, aquéllas que son consistentes con los «objetivos» de la selección natural. Debido a esta predisposición los códigos morales humanos sancionan los patrones de comportamiento similares a los que se encuentran en el comportamiento social de los animales. Los sociobiólogos sostienen que el acuerdo entre los códigos morales y los objetivos de la selección natural en los grupos sociales se descubrió cuando se formularon las teorías de la selección de parentela y el altruismo recíproco. El mandamiento de honrar a los padres,

el tabú del incesto, la mayor culpa atribuida al adulterio de la esposa que al del marido, la prohibición o restricción del divorcio, se encuentran entre los numerosos preceptos éticos que apoyan comportamientos que también son apoyados por la selección natural, como ha descubierto la sociobiología.

Los sociobiólogos reiteran su convicción de que la ciencia y la ética pertenecen a dominios lógicos separados; que uno no puede inferir lo que es moralmente correcto o incorrecto a partir de la determinación de cómo son o no son las cosas en la naturaleza. A este respecto evitan la falacia naturalista. De acuerdo con Wilson «diseñar una descripción naturalista del comportamiento social humano es destacar una serie de hechos para investigarlos más, no expresar un juicio de valor o negar que una mayor parte del comportamiento puede cambiarse si las sociedades individuales así lo desean» (en Barash 1977:xiv). Barash (1977:278) lo dice así: «Los juicios éticos no caben en el estudio de la sociobiología humana o en cualquier otra ciencia de esa materia. Lo que es biológico no es necesariamente bueno». Y Alexander (1979:276) pregunta qué nos enseña la evolución sobre la ética normativa o sobre lo que *debemos* hacer y responde «absolutamente nada».

Sin embargo, está la cuestión de si los sociobiólogos son siempre consistentes con las frases acabadas de citar. Wilson (1975:564), por ejemplo, escribe que «el requerimiento para una aproximación evolutiva a la ética es autoevidente. También debería estar claro que no hay un único conjunto de estándares morales que se pueda aplicar a todas las poblaciones humanas, no digamos ya a todas las clases de sexo y edad dentro de cada población. Por tanto, imponer un código uniforme crea dilemas morales complejos e intratables». El pluralismo moral es, para Wilson, «innato». La biología, pues, nos ayuda como mínimo a decidir que ciertos códigos morales (e.g., todos aquellos con pretensión de ser universalmente aplicables) son incompatibles con la naturaleza humana y, por tanto, inaceptables. Éste no es precisamente un argumento a favor del determinismo biológico de las normas éticas, sino que se aproxima al determinismo por su lado negativo: porque el rango de códigos morales válidos está delimitado por la afirmación de que algunos no son compatibles con la naturaleza biológica.

Sin embargo, Wilson va más allá cuando escribe: «El comportamiento humano —como las capacidades más profundas para la respuesta emocional que lo impulsan y lo guían— es la técnica tortuosa por la que el material genético humano ha permanecido y permanecerá intacto. *La moralidad no tiene otra función última demostrable*»

(Wilson 1978:167, la cursiva es mía). ¿Cómo debería interpretarse esta afirmación? Es posible que Wilson sólo esté dando la razón de por qué existe el comportamiento ético; su propuesta sería que los humanos están motivados para la evaluación moral de sus acciones como medio de preservar sus genes, su naturaleza biológica. Pero esta propuesta es errónea. Los seres humanos son seres éticos por naturaleza en el sentido que he expuesto antes: juzgan moralmente sus acciones por su capacidad innata de anticipar las consecuencias de sus acciones, porque formulan juicios de valor y por elección libre. Los seres humanos exhiben comportamiento ético por naturaleza y necesidad, más que porque tal comportamiento ayude a preservar sus genes o sirva a cualquier otro propósito.

Alternativamente la frase de Wilson se puede leer como una justificación de los códigos morales humanos: la función de estos sería preservar los genes humanos. Pero esto implicaría la falacia naturalista y, aún peor, parecería justificar una moralidad que la mayoría detestamos. Si las normas morales tienen como propósito la preservación de los genes humanos (sean los del individuo o los de la especie), el darwinismo social de Spencer parecería correcto; el racismo o incluso el genocidio se podrían justificar como moralmente correctos si se percibiesen como los medios para preservar aquellos genes que se piensa que son buenos o deseables y eliminar aquéllos considerados malos o indeseables. No tengo ninguna duda de que Wilson no pretende justificar el racismo o el genocidio, pero ésta es una interpretación posible de sus palabras.

Altruismo de los animales

Volveré ahora a la proposición de los sociobiólogos de que la selección natural favorece comportamientos que son isomórficos con los comportamientos aprobados por los códigos morales aceptados por la mayoría de los humanos.

Durante años los evolucionistas se han esforzado en encontrar una explicación para el comportamiento aparentemente altruista de los animales. Cuando un predador ataca a una manada de cebras, en lugar de huir éstas tratarán de proteger a los jóvenes de la manada, incluso si no son su progenie. Cuando un perro de las praderas ve un coyote, avisará a otros miembros de la colonia con una llamada de alarma, aunque llamando la atención de este modo se pone en peligro a sí mismo. Los ejemplos de comportamientos altruistas de este tipo pueden multiplicarse.

El *Diccionario de la Lengua Española* define altruismo como «esmero y complacencia en el bien ajeno, aun a costa del propio, y por motivos puramente humanos». Hablar de altruismo animal no es afirmar que en ellos están presentes los sentimientos explícitos de esmero y complacencia, sino más bien que los animales actúan por el bienestar de los otros a costa del propio, igual que se espera que hagan los humanos que se comportan de manera altruista. El problema es cómo justificar tales comportamientos en términos de selección natural. A modo de ilustración aceptemos que en ciertas especies hay dos formas alternativas de un gen («alelos») de los cuales uno, pero no el otro, promueve el comportamiento altruista. Los individuos que poseen el alelo altruista arriesgarán su vida en beneficio de los otros, mientras que aquéllos que posean el alelo no altruista se beneficiarán del comportamiento altruista sin arriesgarse. Los poseedores del alelo altruista serán más proclives a morir y, por tanto, el alelo será eliminado más a menudo que el otro no altruista. Al final, después de unas generaciones, el alelo altruista será reemplazado completamente por el no altruista. Pero entonces, ¿por qué son comunes los comportamientos altruistas en los animales sin el beneficio de la motivación ética?

Una de las mayores contribuciones de la sociobiología a la biología evolutiva es la noción de «aptitud inclusiva». Para poder determinar las consecuencias de la selección natural es necesario tener en cuenta los efectos de un gen, no sólo sobre un individuo particular, sino sobre todos los individuos portadores de tal gen. Cuando consideramos el comportamiento altruista, se han de tener en cuenta, no sólo los riesgos del individuo altruista, sino también los beneficios para los otros portadores del mismo alelo. Las cebras viven en manadas donde los individuos son parientes. Un alelo que promueve que los adultos protejan a los jóvenes indefensos sería favorecido por la selección natural si el beneficio (en términos de los portadores del alelo a salvo) es mayor que el coste (debido al incremento de riesgo de los protectores). Un individuo que carezca del alelo altruista y porta un alelo no altruista, no arriesgará su vida, pero el alelo no altruista es erradicado parcialmente con la muerte de cada familiar indefenso.

De esta línea de razonamiento se deduce que cuanto más relacionados entre sí estén los miembros de una manada o grupo animal, más presente estará el comportamiento altruista. En general, éste parece ser el caso. Aquí no necesitamos entrar en detalles sobre la teoría cuantitativa desarrollada por los sociobiólogos para apreciar el significado de dos ejemplos. El más obvio es el del cuidado parental. Los progenitores

alimentan y protegen a sus pequeños, porque cada hijo tiene la mitad de los genes de su padre y la otra mitad de su madre: cuando un padre cuida a su hijo es como si los genes se protegiesen a sí mismos.

El segundo ejemplo es más sutil: la organización social y el comportamiento de ciertos animales como las abejas. Las obreras se esfuerzan construyendo la colmena y alimentando y cuidando las larvas, aunque ellas son estériles y sólo la reina produce prole. Aceptemos que en una colmena ancestral aparece un alelo que impulsa a las obreras a comportarse como lo hacen ahora. Parecería que tal alelo no pasaría a la siguiente generación, porque las obreras no se reproducen. Pero esta inferencia es errónea. Las abejas reina producen dos tipos de huevos: los que no son fertilizados se desarrollan como machos (por tanto, son «haploides», es decir, sólo llevan una dotación de genes); otros que son fertilizados (por tanto, son «diploides», portan dos dotaciones de genes) se desarrollan en obreras y, ocasionalmente, en una reina. W.D. Hamilton (1964) demostró que con tal sistema reproductivo las reinas hijas y sus hermanas obreras comparten tres cuartos de sus genes, mientras que las reinas hijas y su madre comparten sólo la mitad de los genes. Por tanto, los genes de las obreras se propagan de forma más efectiva por obreras que cuidan de sus hermanas que si produjeren y cuidasen de sus propias hijas. La selección natural puede, pues, explicar la existencia de castas estériles en insectos sociales, que muestran una forma extrema de comportamiento aparentemente altruista dedicando su vida a cuidar la prole de otro individuo (la reina).

Los sociobiólogos señalan que muchas de las normas morales aceptadas comúnmente en las sociedades humanas sancionan comportamientos también promovidos por la selección natural (dicha promoción sólo se hace aparente cuando se considera la aptitud inclusiva de los genes). Ejemplos de tales comportamientos ya citados son el mandamiento de honrar a los padres, el tabú del incesto, la mayor culpa atribuida al adulterio de la esposa que al del marido, la prohibición o restricción del divorcio y muchos otros. El argumento de los sociobiólogos es que las normas éticas humanas son correlatos socioculturales de comportamientos fomentados por la evolución biológica. Las normas éticas tanto protegen tales comportamientos determinados por la evolución como son especificadas por éstos.

Sin embargo, el argumento de los sociobiólogos está equivocado y no escapa a la falacia naturalista. Consideremos el ejemplo del altruismo. El altruismo en sentido biológico (altruismo_b) se define en términos de las consecuencias de un cierto comportamiento en la gené-

tica de la población. El altruismo_b se explica por el hecho de que los genes que favorecen tal comportamiento son realmente favorecidos por la selección natural (cuando se tiene en cuenta la aptitud inclusiva), aunque la aptitud del individuo que manifiesta el comportamiento decrezca. Pero en sentido moral, el altruismo (altruismo_m) se explica en términos de motivaciones: una persona elige arriesgar su propia vida (o contraer un cierto «coste») en beneficio de otra. El isomorfismo entre el altruismo_b y el altruismo_m sólo es aparente: las posibilidades de un individuo mejoran por el comportamiento de otro individuo que asume un riesgo o coste. Las causas subyacentes son completamente diferentes: el consiguiente beneficio genético en el altruismo_b; la consideración por los demás en el altruismo_m.

Ruse (1986a,b; Ruse y Wilson,1986) distingue bien los dos significados diferentes de altruismo. En sus escritos se ha convertido en un ardiente proponente de las tesis de los sociobiólogos relacionadas con los fundamentos de la ética. Ruse usa comillas («altruismo») para significar altruismo en el sentido biológico y diferenciarlo del altruismo moral (que escribe sin comillas).

Quizás Ruse ha articulado mejor que nadie una explicación socio-biológica de la evolución del sentido moral; a saber, que el sentido moral —nuestra proclividad a evaluar ciertas acciones como buenas y otras como malas— ha evolucionado de forma que nos comportamos de modos que mejoran nuestra aptitud, pero no lo hacemos de manera que sea inmediatamente obvia. Los humanos tienden a ser egoístas porque eso suele servir mejor a nuestra aptitud. Aunque hay situaciones en las que la aptitud (inclusiva) de nuestros genes aumenta por la cooperación más que por el egoísmo; tal es el caso de los comportamientos «altruistas» similares a los de las cebras adultas que protegen a los jóvenes de la manada o el grito de alarma del perro de las praderas.

Según Ruse, la selección natural ha dotado a los humanos con la exhibición de tal comportamiento (biológicamente) beneficioso y no obvio favoreciendo que evaluemos este comportamiento como moralmente correcto, lo cual requiere a su vez la evolución del sentido moral. En palabras de Ruse (1986b:97-99): «Toda cooperación para la ganancia evolutiva personal se conoce técnicamente como “altruismo”. Destaco que este término se enraiza en la metáfora, incluso con el significado biológico que le acabo de dar. No hay implicación de que el “altruismo” evolutivo (trabajando por la recompensa biológica) está asociado inevitablemente con el altruismo moral... [Los sociobiólogos] sostienen que el altruismo moral (literal) podría ser una manera de al-

canzar el “altruismo” biológico (metafórico)... El altruismo moral, literal, es una manera principal por la que se alcanza la cooperación biológica ventajosa... Para alcanzar el “altruismo”, ¡somos altruistas! Para hacernos cooperar por nuestros fines biológicos, la evolución nos ha llenado de pensamientos sobre lo correcto y lo incorrecto, la necesidad de ayudar a nuestros compañeros, etcétera». Ésta es una interpretación explícita de la afirmación de Wilson que cito anteriormente («El comportamiento humano... es la técnica tortuosa por la cual el material genético humano ha permanecido y permanecerá intacto. La moralidad no tiene otra función última demostrable»). En mi opinión esta justificación de la evolución del sentido moral es errónea. He argumentado que hacemos juicios morales como consecuencia de nuestras capacidades intelectuales eminentes, no como una manera innata de alcanzar la ganancia biológica. También he argumentado que la posición de los sociobiólogos puede interpretarse como que también requiere que las *normas* de moralidad preferidas sean las que alcanzan la ganancia biológica (porque, en su opinión, el sentido moral evolucionó para eso).

La discrepancia entre comportamientos biológicamente determinados y normas morales y, por tanto, el defecto radical en el argumento de los sociobiólogos para una fundamentación naturalista de la ética, se incrementa con tres consideraciones adicionales que enunciaré brevemente.

La primera observación es que nuestra naturaleza biológica puede *predisponernos* a aceptar ciertos preceptos morales, pero no nos obliga a aceptarlos ni a comportarnos de acuerdo con ellos. Las mismas capacidades intelectuales eminentes, discutidas antes, que hacen posible y necesario el comportamiento ético, y en particular el libre albedrío, también nos dan el poder de aceptar unas normas morales y rechazar otras, independientemente de las inclinaciones naturales. Una predisposición natural puede influir nuestro comportamiento, pero influencia y predisposición no son lo mismo que cohibición o determinación.

Esta observación merece la atención, porque autores como Konrad Lorenz (1963) y Robert Ardrey (1966) han presentado la agresión y el «imperativo» territorial como tendencias naturales que, por tanto, podría ser fútil tratar de resistir. No es obvio que la agresión y el imperativo territorial estén o no enraizados en nuestros genes, ni ha de ser explorado aquí. Lo que hace falta decir, sin embargo, es (1) que la moralidad de los comportamientos en cuestión se ha de comprobar en cada caso por las normas aceptadas de moralidad y no recurriendo a los datos biológicos, y (2) que si tales tendencias o imperativos exis-

tieran, las personas todavía tendrían la posibilidad y el deber de resistirse (incluso a expensas de una reducción de la aptitud) siempre que se vean como inmorales (Dobzhansky 1973).

Una segunda observación es que algunas normas de moralidad son consistentes con comportamientos favorecidos por la selección natural, pero otras normas no. El mandamiento de la caridad: «Ama a tu prójimo como a ti mismo», a menudo va en contra de la aptitud inclusiva de los genes, aunque promueve la cooperación social y la paz mental. Si la norma de la moralidad fuera la multiplicación de los genes, el imperativo moral supremo sería engendrar el mayor número de hijos y (con menos dedicación) animar a nuestros parientes a hacer lo mismo. Pero fecundar la mayor cantidad de mujeres posible, en opinión de la mayoría, no es el mayor deber moral de un hombre.

La tercera consideración es que las normas morales difieren de una cultura a otra e incluso «evolucionan» a lo largo del tiempo. Muchas personas ven hoy en día que el mandato bíblico: «Creced y multiplicaos» ha sido reemplazado por el imperativo moral de limitar el número de hijos. No hay ningún cambio genético en las poblaciones humanas que explique esta inversión del valor moral. La aptitud inclusiva del individuo todavía es favorecida por un mayor número de hijos.

Las normas morales no están determinadas por los procesos biológicos, sino por las tradiciones y principios culturales que son producto de la historia humana. La evaluación de los códigos morales o de las acciones humanas ha de tener en cuenta el conocimiento biológico. Pero para decidir cuáles son los códigos morales que han de ser aceptados, la biología sólo es claramente insuficiente.

Bibliografía

- ALEXANDER, R.D. (1979): *Darwinism and Human Affairs*. Seattle, WA: University of Washington Press.
- ARDREY, R. (1966): *The Territorial Imperative*. New York: Atheneum.
- AYALA, F.J. (1982): «The Evolutionary Concept of Progress». In G.A. ALMOND, M. CHODOROW y R.H. PEARCE (eds.): *Progress and Its Discontents*. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, pp. 106-124.
- BARASH, D.P. (1977): *Sociobiology and Behavior*. New York: Elsevier.
- DOBZHANSKY, Th. (1973): «Ethics and Values in Biological and Cultural Evolution». *Zygon* 8, 261-268.
- HAMILTON, W.D. (1964): «The Genetical Evolution of Social Behavior». *Journal of Theoretical Biology* 7, 1-51.

- HUME, D. [1740] (1978): *Treatise on Human Nature*. Oxford: Oxford University Press.
- HUXLEY, J.S. (1942): *Evolution: The Modern Synthesis*. New York: Harper.
- HUXLEY, J.S. (1953): *Evolution in Action*. New York: Harper.
- LORENZ, K. (1963): *On Aggression*. New York: Harcourt, Brace and World.
- MOORE, G.E. (1903): *Principia Ethica*. Cambridge: Cambridge University Press.
- RUSE, M. (1986a): *Taking Darwin seriously: A Naturalistic Approach to Philosophy*. Oxford: Basil Blackwell.
- RUSE, M. (1986b): «Evolutionary Ethics: A Phoenix Arisen». *Zygon* 21, 95-112.
- RUSE, M. y E.O.Wilson (1986): «Moral Philosophy as Applied Science». *Philosophy* 61, 173-192.
- SPENCER, H. (1893): *The Principles of Ethics*. London: Williams and Norgate.
- WADDINGTON, C.H. (1960): *The Ethical Animal*. London: Allen and Unwin.
- WILSON, E.O. (1975): *Sociobiology: The New Synthesis*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University.
- WILSON, E.O. (1978): *On Human Nature*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Ciencia y religión: reflexiones y opiniones

La conclusión que quiero proponer en este ensayo es que los conocimientos científicos y las creencias religiosas no tienen por qué estar en contradicción. Si se los evalúa de forma correcta, *no pueden* estar en contradicción, porque ciencia y religión se ocupan de campos de conocimiento que no se superponen. Únicamente al hacer afirmaciones que están más allá de sus fronteras legítimas, es cuando la ciencia y las creencias religiosas parecen ser antitéticas.

Ciencia: poder y límites

El ámbito de la ciencia es el mundo de la naturaleza, la realidad que es observada, directa o indirectamente, por nuestros sentidos. La ciencia propone explicaciones relacionadas con el mundo natural, explicaciones que están sujetas a la posibilidad de corroboración o rechazo por medio de la observación y el experimento. Fuera de ese mundo, la ciencia no tiene autoridad, ninguna afirmación que hacer, ningún asunto que le sea propio, ya sea tomando una posición u otra. La ciencia no tiene nada decisivo que decir sobre los valores, ya sean económicos, estéticos o morales; nada que decir sobre el sentido de la vida o su propósito; nada que decir sobre las creencias religiosas (excepto en el caso de las creencias que trascienden el propio ámbito de la religión y hacen afirmaciones sobre el mundo natural que contradicen el conocimiento científico; dichas afirmaciones no pueden ser ciertas).

La ciencia es *metodológicamente* materialista o, mejor dicho, metodológicamente *naturalista*. Prefiero la segunda expresión por-

que «materialismo» a menudo se refiere a una concepción metafísica del mundo, una filosofía que afirma que no existe nada más allá del mundo de la materia, que no hay nada más allá de lo que nuestros sentidos pueden experimentar. La cuestión de si la ciencia es o no inherentemente materialista depende de si nos estamos refiriendo a los métodos y el ámbito de la ciencia, los cuales permanecen dentro del mundo de la naturaleza, o a las implicaciones metafísicas de la filosofía materialista que afirman que nada existe más allá del mundo de la materia. La ciencia no implica el materialismo metafísico.

Los científicos y los filósofos que afirman que la ciencia excluye la validez de cualquier conocimiento fuera de la ciencia cometen un «error categórico», confunden el método y el ámbito de la ciencia con sus implicaciones metafísicas. El naturalismo metodológico afirma los límites del conocimiento científico, no su universalidad. La ciencia trasciende las diferencias culturales, políticas y religiosas, porque no tiene afirmaciones que hacer sobre estos temas (excepto, de nuevo, en la medida en que el conocimiento científico es negado). Que la ciencia no esté constreñida por diferencias culturales o religiosas es una de sus grandes virtudes. La ciencia no supera esas diferencias negándolas o tomando una posición en lugar de otra. Está más allá de las diferencias culturales, políticas y religiosas, porque estas cuestiones no son asunto suyo.

Sin embargo, algunos científicos, entre ellos evolucionistas, afirman que la ciencia niega cualquier conocimiento válido respecto a los valores o el sentido y propósito del mundo. El distinguido biólogo, Richard Dawkins, niega el diseño, el propósito y los valores de forma explícita: «El universo que observamos tiene precisamente las propiedades que deberíamos esperar si, en el fondo, no hay diseño, ni objetivo, ni bien ni mal, nada sino una ciega y despiadada indiferencia». El historiador de la ciencia William Provine no sólo afirma que no existen principios absolutos de ninguna clase, sino que extrae la conclusión final, a partir de una línea de pensamiento materialista, de que incluso el libre albedrío es una ilusión: «La ciencia moderna implica directamente que no existen leyes morales o éticas inherentes, ningún principio rector absoluto para la sociedad humana [...] el libre albedrío tal como se lo concibe de forma tradicional —la libertad para hacer elecciones no impuestas e impredecibles entre vías de acción alternativas— sencillamente no existe.»

Hay una contradicción monumental en estas afirmaciones. Si el compromiso que la ciencia tiene con el naturalismo no le permite de-

rivar valores, significados o propósitos a partir del conocimiento científico, sin duda tampoco le permite negar su existencia. Podemos conceder a estos autores su derecho a pensar como quieran, pero no tienen ninguna autoridad para basar su filosofía materialista en los logros de la ciencia. Resulta irónico que dichos autores, en realidad, estén avalando las propuestas de los «creacionistas» y proponentes del «diseño inteligente» (DI) que argumentan que la ciencia es inherentemente materialista y comparten la idea con ellos de que la ciencia hace afirmaciones sobre valores, significados y propósitos.

La *National Academy of Sciences* de los Estados Unidos ha afirmado de forma enfática: «La religión y la ciencia responden a preguntas diferentes sobre el mundo. Que el universo tenga un objetivo o lo tenga la existencia humana no son preguntas para la ciencia... En consecuencia, muchas personas y entre ellas muchos científicos, mantienen fuertes creencias religiosas y al mismo tiempo aceptan el hecho de la evolución».

La *National Academy of Sciences* también afirma: «Dentro de las religiones judeocristianas, muchas personas creen que Dios obra a través del proceso de la evolución. Esto es, Dios ha creado un mundo que está en permanente cambio y un mecanismo a través del cual las criaturas pueden adaptarse al cambio medioambiental con el paso del tiempo».

Biblia, ciencia, evolución

Santo Tomás de Aquino (1224-1274), siguiendo una larga tradición cristiana que se remonta al menos hasta San Agustín (354-430), distinguía dos fuentes de conocimiento: la razón y la Revelación Divina. La Encarnación y la Trinidad son verdades teológicas que sólo se pueden conocer a través de la Revelación. La inteligencia humana, por medio de la experiencia y el razonamiento lógico, puede adquirir conocimiento válido y construir una ciencia del mundo natural. Como es bien sabido, Santo Tomás argumentaba, en «discusiones» públicas en la Universidad de París, que la verdad racional y la Revelación no pueden ser incompatibles. Las contradicciones sólo pueden ser aparentes, debidas a una errónea interpretación de las Escrituras o a un razonamiento equivocado.

Según San Agustín, en su comentario sobre el libro del *Génesis*, los cristianos no deben tratar de resolver cuestiones científicas con las Sa-

gradas Escrituras: «Tales temas no son de provecho para quienes buscan la beatitud... En lo referente a la naturaleza del firmamento, los escritores sacros no deseaban enseñar a los hombres conocimientos inútiles para su salvación». San Agustín añadía: «Si sucede que la autoridad de las Sagradas Escrituras parece oponerse a conocimientos obtenidos por un razonamiento claro y seguro, significa que la persona que interpreta las Escrituras no las comprende correctamente».

Del mismo modo, el Papa Juan Pablo II escribió: «La Biblia nos habla del origen del universo y su creación, no para proporcionarnos un tratado científico sino para establecer las correctas relaciones del hombre con Dios y con el universo». El Papa añade: «Las Sagradas Escrituras simplemente desean declarar que el mundo fue creado por Dios, y con el fin de enseñar esta verdad se expresan *en los términos de la cosmología conocida en los tiempos del escritor sagrado*» (la cursiva es mía).

La ciencia ha demostrado más allá de toda duda razonable que los organismos vivos evolucionan y se diversifican a lo largo del tiempo, y que sus rasgos son fruto de un proceso, la selección natural, que explica su «diseño». Darwin y otros biólogos del siglo XIX hallaron pruebas contundentes de la evolución biológica en el estudio comparativo de los organismos vivos, en su distribución geográfica, y en los restos fósiles de organismos extintos. Desde la época de Darwin, la evidencia procedente de estas fuentes se ha vuelto más sólida y más amplia, mientras que las disciplinas biológicas recientes —la genética, la bioquímica, la fisiología, la ecología, el comportamiento animal (etología), y especialmente la biología molecular— han aportado poderosas pruebas adicionales y confirmación detallada.

Algunas personas consideran que la teoría de la evolución es incompatible con la fe cristiana porque, según ellas, no concuerda con el relato de la creación que hace la Biblia. Los primeros capítulos del libro bíblico del Génesis describen la creación del mundo, las plantas, los animales y los seres humanos efectuada por Dios. Una interpretación literal del Génesis parece incompatible con la evolución gradual de los humanos y de otros organismos a través de procesos naturales. Con independencia de la narración bíblica, las creencias cristianas en la inmortalidad del alma y en que los seres humanos fueron «creados a imagen de Dios» han parecido a muchos contrarias a la conclusión científica de que los humanos evolucionaron a partir de animales no humanos.

El mensaje que quiero transmitir es, en primer lugar, el mismo de San Agustín, Santo Tomás de Aquino y el Papa Juan Pablo II, que la

ciencia y las creencias religiosas no tienen por qué estar en contradicción. La condena de Galileo, a comienzos del siglo xvii, por sostener que la Tierra giraba alrededor del Sol, mientras que la Biblia dice que es el Sol el que se mueve y no la Tierra, es un triste suceso en la historia de la Iglesia. Los eruditos bíblicos y los teólogos hace tiempo que rechazaron una interpretación literal de la Biblia, por las razones dadas por San Agustín y el Papa Juan Pablo II de que es un craso error leer la Biblia como un libro de texto elemental de física, astronomía o biología. La Biblia no es un tratado científico, sino una guía sobre el modo en que los seres humanos deben relacionarse con Dios.

Errores del «creacionismo»

Pero mi mensaje va más allá de negar la incompatibilidad entre ciencia y religión. Mi mensaje es que el llamado «creacionismo» no es compatible con la creencia cristiana en un Dios omnipotente y benévolo, en tanto que la ciencia en general y la teoría de la evolución en particular sí son compatibles. He escrito «creacionismo» entre comillas para referirme a las actuales teorías fundamentalistas que no sólo afirman que Dios creó el mundo, sino también que lo creó en seis días y tal como lo observamos ahora. Esta forma de creacionismo no deja espacio a la geología o la astronomía; no deja espacio a la formación gradual de las montañas o los planetas. Y, desde luego, no deja espacio a la evolución biológica. Una versión reciente del creacionismo, llamada «Diseño Inteligente», argumenta que los órganos, como los ojos, las manos o las alas, no podían haber surgido a través de procesos naturales, porque obviamente están «diseñados» para servir a ciertas funciones: el ojo para ver, la mano para asir, el ala para volar (véase más adelante).

El «creacionismo,» según he afirmado en el párrafo anterior, es incompatible con el cristianismo, como argumentaré más adelante, porque predica atributos del Creador que el cristianismo (al igual que otras religiones monoteístas, como el judaísmo y el islam) encuentra inaceptables. El Dios de estos creacionistas comete graves errores, crea órganos que son imperfectos y disfuncionales, y es el autor de la crueldad y el sadismo que se extienden por el mundo de los seres vivos. La ciencia proporciona una explicación racional de estas deficiencias: son resultados de procesos naturales. La teoría de Darwin de la evolución por selección natural completó el conocimiento del universo que había comenzado con los descubrimientos de la física y la astronomía en los

siglos XVI y XVII. Darwin proporcionó a los teólogos el «eslabón perdido» en la explicación del mal en el mundo o, en lenguaje teológico, la evolución proveyó una solución convincente al problema de la «teodicea».

Una definición de diccionario de la palabra teodicea es «la defensa de la bondad y la omnipotencia de Dios en vista de la existencia del mal». El problema del mal se ha planteado tradicionalmente en la forma de un dilema que se remonta a Epicuro, como sucintamente lo expresa el filósofo escocés David Hume: «Las viejas preguntas de Epicuro no están aún respondidas. ¿Quiere Dios evitar el mal, pero no puede? Entonces es impotente. ¿Puede, pero no quiere? Entonces es malévolos. ¿Puede y quiere? Entonces ¿de dónde el mal?»²⁴ (*Dialogues Concerning Natural Religion*, 1779). Si este razonamiento es válido, se seguiría que o bien Dios no es omnipotente o no es benevolente. La alternativa es buscar la explicación del mal sin atribuirlo a su creación directa por Dios.

La teología tradicional distingue tres clases de mal: (1) mal moral o pecado, el mal originado por los seres humanos; (2) dolor y sufrimiento, tal como los experimentan los seres humanos; (3) mal físico, como las inundaciones, los tornados, los terremotos y las imperfecciones de todas las criaturas.

El pecado es una consecuencia del libre albedrío; la otra cara es la virtud. Sin libre albedrío, no existe virtud. Los teólogos cristianos han expuesto que si el hombre desea entrar en una relación genuinamente personal con su Creador, primero debe experimentar cierto grado de libertad y autonomía. Una vida virtuosa *gana* la eterna recompensa del cielo. La teología cristiana también proporciona una buena explicación del dolor y el sufrimiento humanos. En la medida en que el dolor y el sufrimiento son causados por la guerra, la injusticia, y otras formas de maldad humana, también son una consecuencia del libre albedrío, la otra cara de las buenas acciones.

¿Y qué ocurre con los terremotos, las tormentas, las inundaciones, las sequías y otras catástrofes físicas? Aquí entra la ciencia moderna en el razonamiento teológico. Los sucesos físicos están insertos en la estructura del propio mundo. Desde el siglo XVII, los seres humanos han

²⁴ «Epicurus's old questions are yet unanswered. Is he [God] willing to prevent evil, but not able? then is he impotent. Is he able, but not willing? then is he malevolent. Is he both able and willing? whence then is evil?», David Hume, *Dialogues Concerning Natural Religion* (1779), in: [www.davidhume.org/texts/Dialogues Concerning Natural Religion](http://www.davidhume.org/texts/Dialogues%20Concerning%20Natural%20Religion) (1779), cap. X, p. D10.25/KS199 [Royal Society of Edinburgh].

sabido que los procesos por los cuales se forman las galaxias, las estrellas y los planetas, y por los que se desplazan los continentes; así como las inundaciones, los tornados y los terremotos, son procesos naturales, no acontecimientos específicamente concebidos por Dios para castigar o premiar a los seres humanos. Pero es el caso que a mediados del siglo XIX la teodicea aún se topaba con una dificultad en apariencia insuperable. Si Dios es el diseñador de la vida, ¿de dónde viene la crueldad del león, el veneno de la serpiente, y los parásitos que sólo existen para destruir a sus huéspedes?

La teoría de la evolución proporciona la solución al componente restante del problema del mal. Como las inundaciones y las sequías son una consecuencia necesaria de la estructura del mundo físico, los depredadores y los parásitos, las disfunciones y las enfermedades son consecuencia de la evolución de la vida. No son el resultado de un diseño deficiente o malévolo: las características de los organismos no han sido *diseñadas* por el Creador. La evolución por medio de la selección natural es la solución al último escollo del problema del mal.

Es desafortunado que el movimiento anti-evolución en los Estados Unidos, al igual que en otras partes del mundo, se haya apropiado con éxito del término «creacionismo» como su bandera.

Hay un significado del término «creacionismo» que comparten la mayoría de los creyentes religiosos: la idea de que Dios creó el mundo *ex nihilo*, a partir de la nada. Esta creencia, en sí misma, no niega ni afirma la evolución de la vida. De forma recíproca, la ciencia no tiene nada que decir sobre la afirmación de que Dios creó el universo *ex nihilo*, porque esta es una creencia religiosa que concierne a lo sobrenatural. Hay muchas cuestiones sobre la realidad —y no sólo lo sobrenatural, sino también preguntas acerca de los valores y el significado y sentido de la vida— que sobrepasan a la ciencia, están más allá de su ámbito. Aquí, sin embargo, quiero considerar brevemente el caso que nos ocupa, la idea de que Dios creó el mundo.

Los astrofísicos han descubierto la expansión del universo y algunos han llegado a la conclusión de que hubo un Big Bang, una «singularidad», en la cual el universo conocido comenzó a partir de un solo punto en el espacio y en el tiempo, hace unos 14 mil millones de años. De modo que no había nada antes del Big Bang, lo cual «demuestra», según algunos creyentes, que la ciencia ha confirmado que Dios creó el mundo. Pero la ciencia no ha demostrado la creación del mundo por Dios, ni puede hacer nada semejante. Lo que los creyentes religiosos tienen derecho a afirmar es que el Big Bang es *coherente* con la crea-

ción por parte de Dios. Esta compatibilidad es suficiente, y debería serlo para el creyente. Buscar en la ciencia una confirmación de la fe religiosa es un camino equivocado y, además, un camino peligroso.

La ciencia trata de comprender una transición —digamos la congelación del agua— comparando los dos aspectos de la transición, lo que existía antes y lo que se produjo después. Pero la creencia de que Dios creó el mundo a partir de la nada afirma que antes de la creación no había nada. Si no existía nada antes de que el mundo fuese creado por Dios, no hay nada que la ciencia pueda considerar con el fin de comprender la naturaleza de la transición desde la nada al mundo.

Observemos la misma cuestión de una forma diferente. La característica más distintiva de la ciencia es que formula hipótesis que se pueden poner a prueba examinando si las predicciones sobre el mundo de la experiencia que se derivan de una hipótesis se cumplen o no. Para tener valor confirmativo, los acontecimientos previstos deben ser desconocidos en el momento en que la predicción se deriva de la hipótesis. Sin embargo, ¿qué predicciones desconocidas podemos derivar de la «hipótesis» de la creación por parte de Dios? Ninguna en absoluto. Que el mundo empezó a expandirse (¿existir?) en un momento determinado es algo ya sabido, es lo que queremos explicar. Cualquier otra predicción posible está relacionada o bien con (1) «nada», la ausencia de cualquier realidad física antes del acontecimiento de la creación, o con (2) Dios, un ser sobrenatural, que trasciende el mundo natural de la experiencia.

Utilizaré el término «creacionismo» para referirme a las declaraciones contra la evolución con base religiosa. Existen muchas versiones del creacionismo y no es mi intención aportar una completa taxonomía de estas variaciones, pero sencillamente describiré algunas de las formas de creacionismo más características.

El *creacionismo de la Tierra Reciente* (YEC, por sus siglas en inglés) interpreta de forma literal el relato de la creación en seis días y otros acontecimientos del Génesis. La creación del mundo tiene unos 6.000 años de antigüedad, fechada el año 4004 a.C., según el arzobispo irlandés James Ussher (1581-1656), un cálculo obtenido sumando las edades de los patriarcas y teniendo en cuenta otras fechas bíblicas. Los creacionistas de la Tierra reciente afirman que el Diluvio de Noé fue universal y ocurrió tal como se describe en el *Génesis*. El *Institute for Creation Research*, en California y Arizona, es un centro notable del creacionismo de la Tierra joven. Posee un museo, publicaciones y actividades académicas.

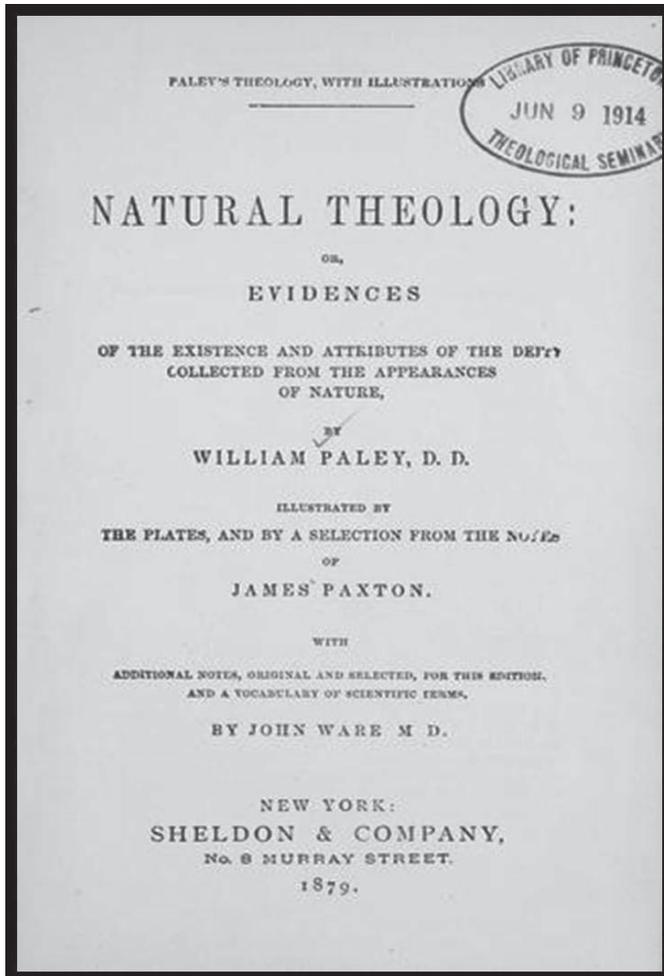
Una versión del YEC es el «creacionismo de la Tierra Plana», que afirma que la Tierra es plana con bordes redondeados, en forma de moneda, no como una esfera. La *International Flat Earth Research Society of Lancaster*, California, cuenta con 3.500 miembros, según un reciente censo. Otra versión del YEC es el «geocentrismo», el cual acepta que la Tierra tiene forma de esfera pero afirma que es el centro del sistema solar, en torno al cual giran el sol y los otros planetas.

El *creacionismo de la Tierra Antigua* (OEC, por sus siglas en inglés) acepta que la Tierra es antigua, como concluyen los astrofísicos, la geología, la biología y otras disciplinas científicas. La iglesia católica y muchas iglesias protestantes han aceptado, al menos durante los dos o tres últimos siglos, la antigüedad del universo. Hay diversas variaciones del OEC, como el «Creacionismo de la Brecha», el «Creacionismo del Día-Era» y el «Creacionismo Progresivo». Según los creacionistas del día-era, los «días» de la narración de la creación incluida en el *Génesis* son largos períodos de tiempo o «edades». Característica de algunos creacionistas OEC es la creencia en sucesivas intervenciones de Dios, quien creó el mundo así como a todas las criaturas vivas de forma separada, por etapas.

El «Diseño Inteligente»

El *Creacionismo del Diseño Inteligente* (DI) que trata de demostrar la existencia de Dios, basándose en la complejidad y diversidad de la vida, tiene una larga tradición en la historia cristiana. En *The Wisdom of God Manifested in the Works of Creation* (1691), John Ray apoyaba dicho argumento con información científica. William Paley en *Natural Theology* (1802) empleaba sus extensos conocimientos biológicos para argumentar repetida e inteligentemente que los organismos y sus rasgos manifiestan que han sido diseñados de forma específica para cumplir ciertas funciones o propósitos. *Natural Theology* es un argumento compuesto de dos partes. La primera afirma que los humanos, así como todas las clases de organismos, en sus conjuntos, sus partes, y en sus relaciones entre sí y con su medio ambiente, revelan haber sido diseñados para servir ciertas funciones y para ciertas formas de vida. La segunda parte del argumento es que sólo un Creador Omnipotente podría explicar la perfección y el diseño funcional de los organismos vivos.

En la década de 1990, varios autores en Estados Unidos han resucitado el argumento a partir del diseño, especialmente Michael Behe,



Natural Theology (1802) de William Paley (1743-1805)

William Dembski y Phillip Johnson, entre otros. Dichos autores afirman que los organismos son tan complejos que ningún proceso natural podría explicar su origen: más bien los organismos y sus partes evidencian que han sido diseñados para cumplir ciertas funciones. Sostienen que la selección natural no puede explicar el diseño de características complejas, como el ojo humano, el sistema inmune de los mamíferos, o los flagelos de las bacterias.

La Teoría de la Evolución

Según la Teoría de la Evolución, los organismos están emparentados por ascendencia común. Hay una multiplicidad de especies porque los organismos cambian de generación en generación, y los linajes diferentes cambian de forma diferente. Las especies que comparten un antepasado reciente son por tanto más parecidas que las que tienen antepasados remotos. Así, los humanos y los chimpancés son, en configuración y constitución genética, más similares entre sí de lo que lo son respecto a los babuinos o los elefantes.

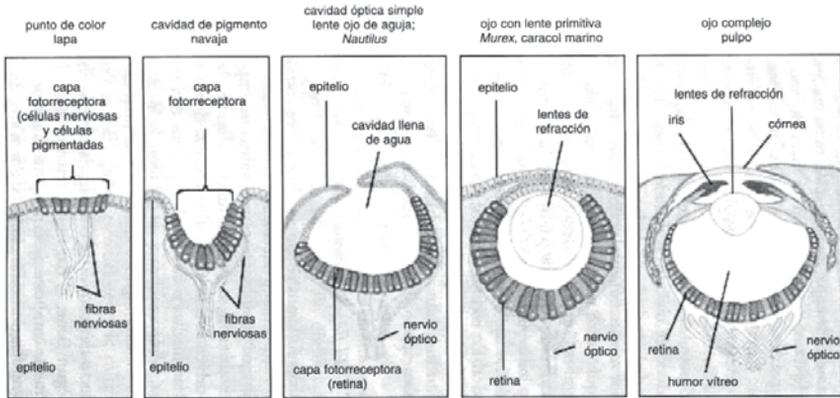
Los científicos coinciden en que el origen evolutivo de los animales y las plantas es una conclusión científica más allá de toda duda razonable. Lo sitúan junto a semejantes conceptos establecidos como que la Tierra es redonda y gira alrededor del Sol, y la composición molecular de la materia. Que la evolución ha ocurrido es, en lenguaje corriente, un hecho.

¿Cómo es compatible esta declaración con la idea establecida de que la ciencia se basa en la observación y la experimentación, aunque nadie haya observado la evolución de las especies, y mucho menos la haya reproducido por medio de experimentos? Lo que los científicos observan no son los conceptos o las conclusiones generales de las teorías, sino sus consecuencias. La teoría heliocéntrica de Copérnico afirma que la Tierra gira alrededor del Sol. Nadie ha observado este fenómeno, pero lo aceptamos debido a las numerosas confirmaciones de sus consecuencias predichas.

Aceptamos que la materia está compuesta de átomos, aunque nadie los haya visto, debido a las observaciones y los experimentos que así lo confirman en física y química. Lo mismo sucede con la teoría de la evolución. Por ejemplo, la declaración de que los humanos y los chimpancés están más estrechamente emparentados entre sí de lo que lo están con los babuinos conduce a la predicción de que el ADN es más parecido entre los humanos y los chimpancés que entre los chimpancés y los babuinos. Para comprobar esta predicción, los científicos seleccionan segmentos de ADN, examinan su estructura en cada especie, y de ese modo corroboran la inferencia. Experimentos de esta clase se repiten de formas muy diversas para obtener mayor seguridad en la conclusión. Y así es en lo que respecta a miríadas de predicciones e inferencias entre toda clase de organismos.

La teoría de la evolución hace afirmaciones sobre tres cuestiones diferentes, aunque relacionadas: (1) el hecho de la evolución: es decir,

que los organismos están emparentados por una ascendencia común; (2) historia evolutiva: los detalles del momento en que los linajes se separan unos de otros y de los cambios que tienen lugar en cada linaje; y (3) los mecanismos o procesos por los cuales se produce el cambio evolutivo.



Ojos de moluscos vivos que manifiestan estadios en la evolución del ojo, desde el ojo muy simple de las lapas (extremo izquierda), consistente de unas pocas células pigmentadas modificadas a partir de células epiteliales, hasta el ojo del pulpo (extremo derecha), muy complejo, con componentes semejantes a los del ojo humano, incluyendo la córnea, el iris, la lente de refracción y la retina

La primera cuestión es la más fundamental y está establecida con completa certidumbre. Darwin reunió muchas pruebas en su apoyo, pero las pruebas no han dejado de acumularse continuamente desde entonces, procedentes de todas las disciplinas biológicas. El origen evolutivo de los organismos es hoy una conclusión científica establecida más allá de la duda razonable, dotada de la clase de certidumbre que los científicos atribuyen a teorías científicas bien establecidas en física, astronomía, química, y biología molecular. Este grado de certidumbre más allá de la duda razonable es lo que se implica cuando los biólogos dicen que la evolución es un «hecho».

La teoría de la evolución va mucho más allá de la afirmación general de que los organismos evolucionan. La segunda y tercera cuestiones —tratar de comprobar la historia evolutiva, además de explicar cómo y por qué se produce la evolución— son asuntos que todavía es-

tan sujetos a la investigación científica activa. Algunas conclusiones están bien establecidas. Una, por ejemplo, es que los chimpancés están más estrechamente emparentados con los humanos de lo que lo están cualquiera de esas dos especies con los babuinos u otros monos, como se dijo antes. Otra conclusión es que la selección natural, el proceso postulado por Darwin, explica la configuración de rasgos adaptativos como el ojo humano y las alas de los pájaros. Muchos asuntos son menos ciertos, otros son poco más que conjeturas, y aún otros —como las características de los primeros entes vivos y el tiempo preciso en que aparecieron— siguen siendo en gran parte desconocidos.

Pero la incertidumbre sobre estas cuestiones no arroja dudas acerca del hecho de la evolución. Del mismo modo, no conocemos todos los detalles sobre la configuración del universo y el origen de las galaxias, pero esto no es razón para dudar de la existencia de las galaxias y de todo lo que ya sabemos sobre sus características. La biología evolutiva es uno de los campos más activos de la investigación científica en la actualidad y constantemente se acumulan importantes descubrimientos, apoyados en gran parte por los avances en otras disciplinas biológicas.

Reflexiones finales

A Darwin se le reconoce con razón el haber acumulado pruebas convincentes procedentes de la paleontología y la biología que demuestran la evolución de los organismos. Pero por importante que fuese dicha demostración, no era el principal interés de Darwin. Su motivación, ante todo, era mostrar que su descubrimiento de la selección natural proporcionaba una explicación científica del diseño de los organismos. El relato que Darwin hacía del diseño biológico implicaba, como consecuencia necesaria, que los organismos habrían evolucionado a través del tiempo y se habrían diversificado en diferentes hábitats. Darwin recogió pruebas sobre la evolución biológica porque dichas pruebas corroboran su explicación del diseño por medio de la selección natural. El descubrimiento de Darwin sobre la selección natural es uno de los acontecimientos más importantes en la historia intelectual, porque completó la revolución copernicana. Los avances científicos de los siglos xvi y xvii habían llevado los fenómenos de la materia inanimada —los movimientos de los planetas en el cielo y de los objetos físicos sobre la Tierra— al terreno de la ciencia: explicación por medio de leyes naturales. Del mismo modo, la selección natural proporcionaba una explicación científica del diseño y la diversidad de los organismos, algo

que había sido omitido por la revolución copernicana. Con Darwin, todos los fenómenos naturales, inanimados o vivos, se convirtieron en tema de investigación científica.

Darwin amplió la teoría de la evolución a través de la selección natural a los humanos en *The Descent of Man [La descendencia del hombre]*, publicado en 1871, doce años después de *El origen de las especies*. Los fósiles intermedios entre humanos y simios aún estaban por descubrir: los «eslabones perdidos», según los críticos de Darwin. Los eslabones perdidos ya no lo están. Miles de restos fósiles intermedios (conocidos como «homínidos» y «homininos») han sido descubiertos desde la época de Darwin y el índice de descubrimientos se está acelerando. Los homininos más tempranos son de unos seis o siete millones de años de antigüedad: *Sahelanthropus* del Chad, *Orrorin* de Kenya, y *Ardipithecus* de Etiopía. Varios especímenes fósiles de *Australopithecus afarensis* han sido descubiertos en la región de Afar en Etiopía; éstos probablemente sean antepasados nuestros que vivieron hace unos cuatro millones de años, eran bípedos, pero tenían cerebros pequeños, de unos 400 gramos, menos de un tercio del tamaño cerebral de los humanos modernos. Los *Homo habilis*, nuestros antepasados de hace dos millones de años, tenían cerebros de entre 600 y 800 gramos. Sus descendientes, los *Homo erectus*, que se extendieron desde África hacia Asia y Europa, tenían cerebros de hasta algo más de un kilogramo de peso; ellos y sus parientes vivieron durante varios cientos de miles de años. Nuestra especie, el *Homo sapiens*, evolucionó en África hace unos 150.000 años y luego se dispersó por los continentes del mundo.

Queda, no obstante, mucho por conocer sobre la evolución humana. Señalaré, en particular, dos grandes enigmas. Un enigma es la base genética de la transformación de simio a humano. El genoma humano y el del chimpancé han sido descifrados. Cada uno se compone de unos tres mil millones de letras: los nucleótidos linealmente dispuestos de cuatro clases que constituyen el ADN. Los genomas humano y del chimpancé difieren en poco más de un uno por ciento de su ADN común (codificante de proteínas) y sin embargo somos muy diferentes en importantes aspectos: un cerebro mucho más grande, el lenguaje, la tecnología, el arte, la ética y la religión. El otro enigma es la transformación de cerebro a mente. Sabemos que los treinta mil millones de neuronas de nuestros cerebros se comunican entre ellas y con otras células nerviosas por medio de señales químicas y eléctricas. ¿Cómo se transforman estas señales en percepciones, sentimientos, ideas, argumentos críticos, emociones estéticas, y valores éticos y religiosos? ¿Y

cómo es posible que, a partir de esta diversidad de experiencias, surja una realidad unitaria, la mente o el yo? El alma creada por Dios, podría uno decir, explica ambas transformaciones: de simio a humano y de cerebro a mente. Esta respuesta religiosa quizá sea satisfactoria para los creyentes, pero no es *científicamente* satisfactoria. Como biólogo yo quiero saber cómo los rasgos anatómicos y de comportamiento que nos diferencian de los simios surgen de nuestras diferencias genéticas; y también quiero conocer las correlaciones biológicas que explican las experiencias mentales.

Bibliografía

- PALEY, W. (1802): *Natural Theology*. New York: American Tract Society.
RAY, J. (1691): *The Wisdom Of God Manifested in the Works of Creation*. London: R. Harbin.

Bibliografía seleccionada de Francisco J. Ayala

Libros

- AYALA, F.J.** 2012. *The Big Questions. Evolution*. Quercus Publishing: London. 208 pp.
- AYALA, F.J.** 2012. *Grandes cuestiones. Evolución* (traducción española). Editorial Ariel: Barcelona, 200 pp.
- AYALA, F.J.** 2012. *Tres preguntas clave sobre la evolución del hombre. Una conversación pública con Francisco J. Ayala*. Unión Editorial, Madrid. 63 pp.
- STRASSMANN, J.E.; D.C. QUELLER, J.C. AVISE and **F.J. AYALA** (eds.). 2011. *In the Light of Evolution. Volume V: Cooperation and Conflict*. National Academies Press: Washington, DC. xvi + 449 pp.
- AVISE, J.C. and **F.J. AYALA** (eds.). 2010. *In the Light of Evolution. Volume IV: The Human Condition*. National Academies Press: Washington, DC. xvi + 411 pp.
- AYALA, F.J.** *Am I a Monkey? Six Big Questions about Evolution*. 2010. Johns Hopkins University Press: Baltimore. xiii + 83 pp.
- AYALA, F.J.** *¿Soy un mono? Una obra que se lee en un día y da respuestas para toda una vida*. 2011 (traducción española). Editorial Ariel: Barcelona. 108 pp.
- AYALA, F.J.** *We are apes?* 2011 (traducción griega). Odysseia Books: Athens. 136 pp.
- AYALA, F.J.** *Am I a monkey? Six Big Questions about Evolution*. 2012 (traducción coreana). Anima Publishing Co.: Gyeonggi-do, Korea. 120 pp.
- AYALA, F.J.** *Am I a monkey? Six Big Questions about Evolution*. 2012 (traducción bangladeshi). http://mukto-mona.com/bangla_blog/?p=22910
- AYALA, F.J.** and R. Arp (eds.). 2010. *Contemporary Debates in Philosophy of Biology*. Wiley-Blackwell: Malden, MA. xii + 426 pp.

- AVISE, J.C. and **F.J. AYALA** (eds.). 2009. *In the Light of Evolution. Volume III: Two Centuries of Darwin*. National Academies Press: Washington, DC. xvi + 414 pp.
- AYALA, F.J.** 2009. *L'Evoluzione. Lo Sguardo Della Biologia*. Jaca Book: Milan. 200 pp.
- BARAHONA, A. and **F.J. AYALA**. 2009. *El siglo de los genes. Patrones de explicación en genética*. Alianza Editorial: Madrid. 225 pp.
- AYALA, F.J.** 2009. *On Being A Scientist. A Guide to Responsible Conduct in Research*, 3.^a edición, Committee on Science, Engineering, and Public Policy (**F.J. Ayala**, Miembro del Comité). National Academy Press: Washington, DC. xviii + 63 pp.
- AVISE, J.C.; S.P. HUBBELL, and **F.J. AYALA** (eds.). 2008. *In the Light of Evolution. Volume II: Biodiversity and Extinction*. National Academies Press: Washington, DC. xvii + 414 pp.
- AYALA, F.J.** *Science, Evolution and Creationism*. 2008. National Academies Press: Washington, D.C. 70 pp. (**F.J. Ayala**, Director del Committee on Revising *Science and Creationism: A View from the National Academy of Sciences*, 1984.)
- AYALA, F.J.** 2010. *Science, Evolution and Creationism* (traducción rusa). CORPUS Press: Russia. 95 pp.
- AVISE, J.C. and **F.J. AYALA** (eds.). 2007. *In the Light of Evolution Volume I: Adaptation and Complex Design*. National Academies Press: Washington, DC. xviii + 360 pp.
- CELA-CONDE, C.J. and **F.J. AYALA**. 2007. *Human Evolution. Trails from the Past*. Oxford University Press: Oxford, UK. vii + 437 pp.
- AYALA, F.J.** 2007. *Darwin y el Diseño Inteligente. Creacionismo, Cristianismo y Evolución*. Alianza Editorial: Madrid. 231 pp.
- AYALA, F.J.** *Darwin eta Diseinu Inteligentea. Kreazionismoa, Kristautasuna eta Eboluzioa*. 2010 (traducción euskera). Gaiak Argitaldaria: Donostia-San Sebastián. 244 pp.
- AYALA, F.J.** 2011. *Darwin y el Diseño Inteligente. Creacionismo, Cristianismo y Evolución*. Alianza Editorial: Madrid. 231 pp., 5.^a edición.
- AYALA, F.J.** 2007. *Darwin's Gift to Science and Religion*. Joseph Henry Press: Washington, DC. xi + 237 pp.
- AYALA, F.J.** 2008. *Darul lui Darwin către știință și religie* (traducción rumana). Curtea Veche: Bucharest, Romania. 263 pp.
- AYALA, F.J.** 2009. *Il dono di Darwin alla scienza e alla religione* (traducción italiana). Edizioni San Paolo: Milano. 307 pp.
- AYALA, F.J.** 2009. *Dar Karola Darwina dla nauki i religii* (traducción polaca). Warsaw University Press: Warsaw, Poland. xi + 216 pp.
- AYALA, F.J.** 2009. *The Gift of Darwin* (traducción griega). Odysseia Books: Athens.
- AYALA, F.J.** 2006. *La evolución de un evolucionista. Escritos seleccionados*. University of Valencia: Valencia. 441 pp.
- AYALA, F.J.** 2006. *Darwin and Intelligent Design*. Fortress Press: Minneapolis, MN. xi + 116 pp.

- AYALA, F.J.** 2008. *Darwin and Intelligent Design* (traducción japonesa). Kyo Bun Kwan: Tokyo.
- AYALA, F.J.** 2009. *Darwin y el Diseño Inteligente* (traducción española). Ediciones Mensajero: Bilbao. 112 pp.
- AYALA, F.J.** and C.J. CELA CONDE. 2006. *La piedra que se volvió palabra. Las claves evolutivas de la humanidad*. Alianza Editorial: Madrid. 184 pp.
- HEY, J.; W.M. FITCH and **F.J. AYALA** (eds.). 2005. *Systematics and the Origin of Species. On Ernst Mayr's 100th Anniversary*. National Academies Press: Washington, DC. xiii + 367 pp.
- WUKETITS, F.M. and **F.J. AYALA** (eds.). 2005. *Handbook of Evolution: The Evolution of Living Systems (Including Hominids)*, volume 2. Wiley-VCH: Weinheim, Germany. 292 pp.
- WUKETITS, F.M. and **F.J. AYALA** (eds.). 2005 (2008). *Handbook of Evolution: The Evolution of Living Systems (Including Hominids)*, volume 2. Wiley-VCH: Weinheim, Germany. 292 pp. Publicación electrónica: 20 March 2008, <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/bookhome/117943981?CRETRY=1&SRETRY=0>
- AYALA, F.J.** 2005. *Le Ragioni dell' Evoluzione*. Di Renzo Editore: Rome. 109 pp.
- AYALA, F.J.** (ed.). 2004. *Ernst Mayr 1904*. Ludus Vitalis, vol. XII, 245 pp.
- BARAHONA, A.; S. PINAR and **F.J. AYALA**. 2003. *La genética en México. Institucionalización de una disciplina*. Universidad Nacional Autónoma de México: México. 241 pp.
- RUIZ, R. and **F.J. AYALA**. 2002. *De Darwin al DNA y el origen de la humanidad: la evolución y sus polémicas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica: Mexico City, Mexico. 293 pp.
- CELA CONDE, C.J. and **F.J. AYALA**. 2001. *Senderos de la Evolución Humana*. Alianza Editorial: Madrid. 631 pp.
- CELA CONDE, C.J. and **F.J. AYALA**. 2011. *Senderos de la Evolución Humana*. Alianza Editorial: Madrid. 631 pp. 6.^a edición.
- AYALA, F.J.**; W.M. FITCH and M.T. CLEGG (eds.). 2000. *Variation and Evolution in Plants and Microorganisms. Toward A New Synthesis 50 Years After Stebbins*. National Academy Press: Washington, DC. xi + 340 pp.
- AYALA, F.J.** 2000. *Del A.D.N. a la Humanidad. Homenaje a Francisco José AYALA*. L. BURGÉS (eds.). Universitat de Les Illes Balears, Spain; Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano, Mexico City. ix + 253 pp.
- RUSSELL, R.J.; W.R. STOEGER and **F.J. AYALA** (eds.). 1998. *Evolutionary and Molecular Biology: Scientific Perspectives on Divine Action*. Vatican Observatory and the Center for Theology and the Natural Sciences: Vatican City State/Berkeley, California. 592 pp.
- RUIZ, R. and **F.J. AYALA**. 1998. *El Método en las Ciencias: Epistemología y darwinismo*. Fondo de Cultura Económica: México. 216 pp.
- AYALA, F.J.** and FITCH, W.M. (eds.). 1997. *Genetics and the Origin of Species: From Darwin to Molecular Biology 60 Years after Dobzhansky*. National Academy Press: Washington, D.C. ii + 115 pp.

- FITCH, W.M. and **F.J. AYALA** (eds.). 1995. *Tempo and Mode in Evolution*. National Academy Press: Washington, D.C. viii + 235 pp.
- AYALA, F.J.** 1994. *La Teoría de la Evolución: de Darwin a los últimos avances de la Genética*. Ediciones Temas de Hoy: Madrid. 237 pp.
- AYALA, F.J.** 1997. *La Teoría de la Evolución: de Darwin a los últimos avances de la Genética*. Bolsistemas (pocket edition): Madrid. 237 pp.
- AYALA, F.J.** 1999. *La Teoría de la Evolución: de Darwin a los últimos avances de la Genética*. Colección «Tanto por Saber»: Madrid. 215 pp.
- AYALA, F.J.** 2001. *La Teoría de la Evolución*, 3.ª edición. Cambio Colección: Madrid. 216 pp.
- AYALA, F.J.** 1994. *La naturaleza inacabada: ensayos en torno a la Evolución*, 2.ª edición. Biblioteca Científica Salvat (new edition): Barcelona. xiv + 270 pp.
- AYALA, F.J.** 1987. *La naturaleza inacabada: ensayos en torno a la evolución*. Biblioteca Científica Salvat: Barcelona. xiii + 270 pp.
- AYALA, F.J.** 1994. *La naturaleza inacabada: ensayos en torno a la evolución*. Salvat/Ciencia: Barcelona. xiv + 270 pp.
- AYALA, F.J.** 1998. *A natureza inacabada. ensaios acerca da evolução* (traducción portuguesa). Dinalivro: Lisbon. 303 pp.
- GUSTAFSON, J.P.; G.L. STEBBINS and **F.J. AYALA**. Segunda 1986. *Genetics, Development, and Evolution*. 17th Stadler Symposium. Plenum Press: New York. xii + 361 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1984. *Modern Genetics*, 2.ª edición. Benjamin/Cummings: Menlo Park, California. xviii + 1012 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1980. *Modern Genetics*, 1st edition. Benjamin/Cummings: Menlo Park, California. xvii + 844 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1984. *Genética Moderna* (traducción española). Omega: Barcelona. xvii + 836 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1987. *Genetica Moderna*, 2.ª edición (traducción italiana). Nicola Zanichelli: Bologna, Italy. xiii + 712 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1987. *Modern Genetics*, 2.ª edición, vol. 1 (traducción rusa). Mir: Moscow. 295 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1987. *Modern Genetics*, 2.ª edición (traducción búlgara). Zemizdat Publishers: Sofia. 1031 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1987. *Modern Genetics*, 2.ª edición (traducción china). Hunan Science and Technology Publishers: Hunan, PRC. 10 + 890 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1988. *Modern Genetics*, 2.ª edición, vol. 3 (traducción rusa). Mir: Moscow. 335 pp.
- AYALA, F.J.** and J.A. KIGER. 1988. *Modern Genetics*, 2.ª edición, vol. 2 (traducción rusa). Mir: Moscow. 368 pp.
- AYALA, F.J.** 1982. *Population and Evolutionary Genetics. A Primer*. Benjamin/Cummings: Menlo Park, California. xiii + 268 pp.
- AYALA, F.J.** 1984. *Principles of Population and Evolutionary Genetics* (traducción rusa). Mir Publishers: Moscow. 230 pp.
- AYALA, F.J.** 1982. *Biologie Moléculaire et Evolution*. Masson: Paris. viii + 136 pp.
- AYALA, F.J.** 1980. *El Origen y Evolución del Hombre*. Alianza Universidad: Madrid. 238 pp.

- AYALA, F.J.** 1991. *Origen y Evolución del Hombre*. Alianza Universidad: Madrid, 5.ª edición. 238 pp.
- AYALA, F.J.** and J.W. VALENTINE. 1979. *Evolving: The Theory and Processes of Organic Evolution*. Benjamin/Cummings: Menlo Park, California. xii + 452 pp.
- AYALA, F.J.** and J.W. VALENTINE. 1983. *La evolución en acción* (traducción española). Alhambra Universidad: Madrid. x + 412 pp.
- DOBZHANSKY, Th.; **F.J. AYALA**, G.L. STEBBINS and J.W. VALENTINE. 1977. *Evolution*. Freeman: San Francisco. 572 pp.
- DOBZHANSKY, Th., **F.J. AYALA**, G.L. STEBBINS and J.W. VALENTINE. 1980. *Evolución* (traducción española). Omega: Barcelona. xvi + 558 pp.
- Dobzhansky, Th.; **F.J. AYALA**, G.L. STEBBINS and J.W. VALENTINE. 1991. *Evolución* (traducción española, paperback edition). Omega: Barcelona. xvi + 558 pp.
- AYALA, F.J.** (ed.). 1976. *Molecular Evolution*. Sinauer: Sunderland, Massachusetts. x + 277 pp.
- AYALA, F.J.** (ed.). 1980. *La evolución molecular* (traducción española). Omega: Barcelona. x + 285 pp.
- AYALA, F.J.** and Th. DOBZHANSKY (eds.). 1974. *Studies in the Philosophy of Biology* (Introduction by **F.J. Ayala**). Macmillan/University of California: London/Berkeley.
- AYALA, F.J.** and Th. DOBZHANSKY (eds.). 1983. *Estudios sobre la Filosofía de la Biología* (traducción española). Ariel: Barcelona. 487 pp.
- AYALA, F.J.** and M. CUERVO, O.P., S.T.M. 1960. *Tratado del Verbo Encarnado de St. Thomas Aquinas*, Latín, con traducción española y comentarios. Edición bilingüe de la *Summa Theologiae* de Santo Tomás de Aquino (BAC: Madrid), vol. XIV: xx + 963 pp.

Bibliografía seleccionada de Francisco J. Ayala

La bibliografía completa de Francisco J. AYALA alcanza 1.083 títulos en el año 2012, incluyendo artículos científicos y filosóficos, ensayos, críticas y revisiones. Se ofrece a continuación una bibliografía seleccionada por el propio autor.

- TIBAYRENC, M. and **F.J. AYALA**. 2012. *PNAS Plus*: Reproductive clonality of pathogens: A perspective on pathogenic viruses, bacteria, fungi, and parasitic protozoa. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, published ahead of print September 4, 2012, doi:10.1073/pnas.1212452109, <http://www.pnas.org/content/early/2012/08/28/1212452109.abstract>.
- BALAKIREV, E.S.; T.N. KRUPNOVA and **F.J. AYALA**. 2012. «DNA variation in the phenotypically-diverse brown alga». *Saccharina japonica*. *BMC Plant Biology* 12:108. doi:10.1186/1471-2229-12-108.
- WEN, Y.-Z.; L.-L. ZHENG, L.-H. QU, **F.J. AYALA** and Z.-R. LUN. 2012. «Pseudogenes are not pseudo any more». *RNA Biology* 9:1-6.

- TARRIO, R. **F.J. AYALA** and F. RODRIGUEZ-TRELLES. 2011. «The Vein Patterning 1 (VEP1) Gene Family Laterally Spread through an Ecological Network». *PLoS ONE* 6(7): e22279. doi:10.1371/journal.pone.0022279.
- AYALA, F.J.** 2011. «Elixir of Life: *In vino veritas*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108:3457-3458.
- LUN, Z.-R.; D.-H. LAI, F.-J. LI, J. LUKEŠ and **F.J. AYALA**. 2010. «*Trypanosoma brucei*: two steps to spread out from Africa». *Trends in Parasitology* 26:424-427.
- AYALA, F.J.** 2010. «The difference of being human: Morality». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, suppl. 2:9015-9022.
- AYALA, F.J.** 2009. «Darwin and the scientific method». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106, suppl. 1:10033-10039.
- HAAG, K.L.; B. GOTTSTEIN and **F.J. AYALA**. 2009. «The EG95 Antigen of *Echinococcus* spp. Contains Positively Selected Amino Acids, which May Influence Host Specificity and Vaccine Efficacy». *PLoS ONE* 4(4): e5362. doi:10.1371/journal.pone.0005362.
- BALAKIREV, E.S.; V.A. PAVLYUCHKOV and **F.J. AYALA**. 2008. «DNA variation and endosymbiotic associations in phenotypically-diverse sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*». *Natl. Acad. Sci. USA* 105:16218-16223.
- LAI, D.-H.; H. HASHIMI, Z.-R. LUN, **F.J. AYALA** and J. LUKES. 2008. «Adaptations of *Trypanosoma brucei* to gradual loss of kinetoplast DNA: *Trypanosoma equiperdum* and *Trypanosoma evansi* are petite mutants of *T. brucei*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105:1999-2004.
- AYALA, F.J.** 2007. «Human Evolution. The Three Grand Challenges of Human Biology». In: D.L. HULL and M. RUSE (eds.). *The Cambridge Companion to the Philosophy of Biology* (Cambridge University Press: New York), pp. 233-254.
- AYALA, F.J.** 2007. «Evolutionary History of the Malaria Parasites». In: M. TIBARYENC (ed.). *Encyclopedia of Infectious Diseases. Modern Methodologies* (John Wiley & Sons, Inc: Hoboken, NJ), pp. 175-187.
- RODRIGUEZ-TRELLES, F.; R. TARRIO and **F.J. AYALA**. 2006. «Origins and Evolution of Spliceosomal Introns». *Annu. Rev. Genet.* 40:47-76.
- BALAKIREV, E.S.; M. ANISIMOVA and **F.J. AYALA**. 2006. «Positive and Negative Selection in the β -Esterase Gene Cluster of the *Drosophila melanogaster* Subgroup». *J. Mol. Evol.* 62:496-510.
- LIM, C.S.; L. TAZI and **F.J. AYALA**. 2005. «*Plasmodium vivax*: Recent world expansion and genetic identity to *Plasmodium simium*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:15523-15528.
- AYALA, F.J.** and M. COLUZZI. 2005. «Chromosome speciation: Humans, *Drosophila*, and mosquitoes». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:6535-6542.
- HAAG, K.L.; L. ALVES-JUNIOR, A. ZAHA and **F.J. AYALA**. 2004. «Contingent, non-neutral evolution in a multicellular parasite: natural selection and gene conversion in the *Echinococcus granulosus* antigen B gene family». *Gene* 333:157-167.
- BALAKIREV, E.S. and **F.J. AYALA**. 2004. «The β -esterase gene cluster of *Drosophila melanogaster*: is ψ Est-6 a pseudogene, a functional gene, or both?». *Genetica* 121:165-179.

- RODRÍGUEZ-TRELLES, F.; R. TARRIO and **F.J. AYALA**. 2003. «Convergent neofunctionalization by positive Darwinian selection after ancient recurrent duplications of the *xanthine dehydrogenase* gene». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:13413-13417.
- BALAKIREV, E.S. and **F.J. AYALA**. 2003. «Pseudogenes: Are They "Junk" or Functional DNA?». *Annu. Rev. Genet.* 37:123-151.
- ZUROVCOVÁ, M. and **F.J. AYALA**. 2002. «Polymorphism Patterns in Two Tightly Linked Developmental Genes, *Idgf1* and *Idgf3*, of *Drosophila melanogaster*». *Genetics* 162:177-188.
- MACHADO, C.A. and **F.J. AYALA**. 2002. «Sequence variation in the dihydrofolate reductase-thymidylate synthase (*DHFR-TS*) and trypanothione reductase (*TR*) genes of *Trypanosoma cruzi*». *Molecular & Biochemical Parasitology* 121:33-47.
- RODRÍGUEZ-TRELLES, F.; R. TARRIO and **F.J. AYALA**. 2001. «Erratic overdispersion of three molecular clocks: GPDH, SOD, and XDH». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:11405-11410.
- MACHADO, C.A. and **F.J. AYALA**. 2001. «Nucleotide sequences provide evidence of genetic exchange among distantly related lineages of *Trypanosoma cruzi*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:7396-7401.
- RICH, S.M. and **F.J. AYALA**. 2000. «Population structure and recent evolution of *Plasmodium falciparum*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97:6994-7001.
- RODRÍGUEZ-TRELLES, F.; R. TARRIO, and **F.J. AYALA**. 2000. «Disparate Evolution of Paralogous Introns in the *Xdh* Gene of *Drosophila*». *J. Mol. Evol.* 50:123-130.
- OCHANDO, M.D. and **F.J. AYALA**. 1999. «Fitness of wild-caught *Drosophila melanogaster* females: allozyme variants of GPDH, ADH, PGM, and EST». *Genetica* 105:7-18.
- RICH, S.M. and **F.J. AYALA**. 1999. «Circumsporozoite Polymorphisms, Silent Mutations and the Evolution of *Plasmodium falciparum*. Reply». *Parasitology Today* 15:39-40.
- AYALA, F. José, A. RZHETSKY and **F.J. AYALA**. 1998. «Origin of the metazoan phyla: Molecular clocks confirm paleontological estimates». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:606-611.
- TARRIO, R.; F. RODRÍGUEZ-TRELLES and **F.J. AYALA**. 1998. «New *Drosophila* introns originate by duplication». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:1658-1662.
- RICH, S.M.; R.R. HUDSON and **F.J. AYALA**. 1997. «*Plasmodium falciparum* antigenic diversity: Evidence of clonal population structure». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:13040-13045.
- BARRIO, E. and **F.J. AYALA**. 1997. «Evolution of the *Drosophila obscura* Species Group Inferred from the *Gpdh* and *Sod* Genes». *Molecular Phylogenetics and Evolution* 7:79-93.
- BALAKIREV, E.S. and **F.J. AYALA**. 1996. «Is Esterase-P Encoded by a Cryptic Pseudogene in *Drosophila melanogaster*?». *Genetics* 144:1511-1518.
- OCHANDO, M.D.; A. REYES and **F.J. AYALA**. 1996. «Multiple paternity in two natural populations (orchard and vineyard) of *Drosophila*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93:11769-11773.

- MESTRES, F.; L. SERRA and **F.J. AYALA**. 1995. «Colonization of the Americas by *Drosophila subobscura*: Lethal-Gene Allelism and Association With Chromosomal Arrangements». *Genetics* 140:1297-1305.
- ESCALANTE, A.A. and **F.J. AYALA**. 1995. «Evolutionary origin of *Plasmodium* and other Apicomplexa based on rRNA genes». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92:5793-5797.
- AYALA, F.J.** 1994. «On the Scientific Method, Its Practice and Pitfalls». *Hist. Phil. Life Sci.* 16:205-240.
- AYALA, F.J.;** A. ESCALANTE, C. O'UIGIN and J. KLEIN. 1994. «Molecular genetics of speciation and human origins». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91:6787-6794.
- AYALA, F.J.** 1993. «*Trypanosoma* and *Leishmania* have clonal population structures of epidemiological significance». *Biological Research* 26:47-63.
- AYALA, F.J.** 1993. «Junk Science and DNA Typing in the Courtroom». *Contention* 2:45-60.
- BARRIO, E.; A. LATORRE, A. MOYA and **F.J. AYALA**. 1992. «Phylogenetic reconstruction of the *Drosophila obscura* group, on the basis of the mitochondrial DNA». *Mol. Biol. Evol.* 9:621-635.
- GUO, P.; L.D. MUELLER and **F.J. AYALA**. 1991. «Evolution of behavior by density-dependent natural selection». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 88:10905-10906.
- MUELLER, L.D.; P. GUO and **F.J. AYALA**. 1991. «Density-dependent natural selection produces trade-offs in life history traits». *Science* 253:433-435.
- TIBAYRENC, M.; F. KJELLBERG and **F.J. AYALA**. 1990. «A clonal theory of parasitic protozoa: The population structure of *Entamoeba*, *Giardia*, *Leishmania*, *Naegleria*, *Plasmodium*, *Trichomonas*, and *Trypanosoma*. Medical and taxonomical consequences». *Proc. Nat. Acad. Sci., USA* 87:2414-2418.
- MILOSEVIC, M.; A. MOYA and **F.J. AYALA**. 1990. «Overcompensation as a mechanism for maintaining polymorphism: egg-to-adult viability in *Drosophila*». *Genetica* 82:183-187.
- BIERBAUM, T.J.; L.D. MUELLER and **F.J. AYALA**. 1989. «Density-dependent evolution of life history traits in *Drosophila melanogaster*». *Evolution* 43(2):382-392.
- MOYA, A. and **F.J. AYALA**. 1989. «Fertility interactions in *Drosophila*: Theoretical model and experimental tests». *J. Evolutionary Biology* 2:1-12.
- LATORRE, A.; E. BARRIO, A. MOYA and **F.J. AYALA**. 1988. «Mitochondrial DNA evolution in the *Drosophila obscura* group». *Mol. Biol. Evol.* 5(6):717-728.
- TIBAYRENC, M. and **F.J. AYALA**. 1988. «Isozyme Variability in *Trypanosoma cruzi*, the Agent of Chagas' Disease: Genetical, Taxonomical, and Epidemiological Significance». *Evolution* 42(2):277-292.
- MARINKOVIC, D.; N. TUCIC, A. MOYA and **F.J. AYALA**. 1987. «Genetic Diversity and Linkage Disequilibrium in *Drosophila melanogaster* with Different Rates of Development». *Genetics* 117:513-520.
- MARINKOVIC, D. and **F.J. AYALA**. 1986. «Genetic variation for rate of development in natural populations of *Drosophila melanogaster*». *Genetica* 71:123-132.
- LATORRE, A.; A. MOYA and **F.J. AYALA**. 1986. «Evolution of mitochondrial DNA in *Drosophila subobscura*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 83:8649-8653.

- MUELLER, L.D.; L.G. BARR and **F.J. AYALA**. 1985. «Natural selection vs. random drift: evidence from temporal variation in allele frequencies in nature». *Genetics* 111:517-554.
- SERRADILLA, J.M. and **F.J. AYALA**. 1983. «Alloprocoptic selection: a mode of natural selection promoting polymorphism». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 80:2022-2025.
- SEAGER, R.D.; **F.J. AYALA** and R.W. MARKS. 1982. «Chromosome interactions in *Drosophila melanogaster*. II. Total fitness». *Genetics* 102:485-502.
- MUELLER, L.D. and **F.J. AYALA**. 1981. «Trade-off between *r*-selection and *K*-selection in *Drosophila* populations». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 78:1303-1305.
- TOSIC, M. and **F.J. AYALA**. 1980. «Overcompensation» at an enzyme locus in *Drosophila pseudoobscura*. *Genetical Research Cambridge* 36:57-67.
- SNYDER, T.P. and **F.J. AYALA**. 1979. «Frequency-dependent selection at the *Pgm-1* locus of *Drosophila pseudoobscura*». *Genetics* 92:995-1003.
- BRUCE, E.J. and **F.J. AYALA**. 1978. «Humans and apes are genetically very similar». *Nature* 276:264-265.
- McDONALD, J.F.; G.K. CHAMBERS, J. DAVID and **F.J. AYALA**. 1977. «Adaptive response due to changes in gene regulation: A study with *Drosophila*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 74:4562-4566.
- AVISE, J.C. and **F.J. AYALA**. 1976. «Genetic differentiation in speciose versus depauperate phylads: evidence from the California minnows». *Evolution* 30:46-58.
- VALENTINE, J.W. and **F.J. AYALA**. 1976. «Genetic variability in krill». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 73:658-660.
- AYALA, F.J.** 1975. «Genetic differentiation during the speciation process». *Evolutionary Biology* 8:1-78.
- FONTDEVILA, A.; J. MÉNDEZ, **F.J. AYALA** and J.F. McDONALD. 1975. «Maintenance of allozyme polymorphisms in experimental populations of *Drosophila*». *Nature* 255:149-151.
- AYALA, F.J.**; M.L. TRACEY, D. HEDGECOCK and R.C. RICHMOND. 1974. «Genetic differentiation during the speciation process in *Drosophila*». *Evolution* 28:576-592.
- AYALA, F.J.** and C.A. CAMPBELL. 1974. «Frequency dependent selection». *Ann. Rev. Ecology & Systematics* 5:115-138.
- GILPIN, M. and **F.J. AYALA**. 1973. «Global models of growth and competition». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 70:3590-3593.
- AYALA, F.J.**; D. HEDGECOCK, G.S. ZUMWALT and J.W. VALENTINE. 1973. «Genetic variation in *Tridacna maxima*, an ecological analog of some unsuccessful evolutionary lineages». *Evolution* 27:177-191.
- AYALA, F.J.** and W.W. ANDERSON. 1973. «Evidence of natural selection in molecular evolution». *Nature* 241:274-276.
- AYALA, F.J.** and J.R. POWELL. 1972. «Allozymes as diagnostic characters of sibling species in *Drosophila*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 69:1094-1096.
- AYALA, F.J.**; J.R. POWELL and Th. DOBZHANSKY. 1971. «Polymorphisms in continental and island populations of *Drosophila willistoni*». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 68:2480-2483.

- AYALA, F.J.** 1971. «Environmental fluctuations and population size». *Nature* 231:112-114.
- AYALA, F.J.** 1971. «Competition between species: frequency dependence». *Science* 171:820-824.
- AYALA, F.J.** 1970. «Teleological explanations in evolutionary biology». *Philosophy of Science* 37:1-15.
- AYALA, F.J.** 1969. «Experimental invalidation of the principle of competitive exclusion». *Nature* 224:1076-1079.
- AYALA, F.J.** 1969. «An evolutionary dilemma: fitness of genotypes versus fitness of populations». *Canad. J. Genetics and Cytology*. 11:439-456.
- AYALA, F.J.** 1968. «Genotype, environment, and population numbers». *Science* 162:1453-1459.
- AYALA, F.J.** 1966. «Effects of natural selection in populations of *Drosophila serrata*». *Genetics* 54:319.
- AYALA, F.J.** 1965. «Evolution of fitness in experimental populations of *Drosophila serrata*». *Science* 150:903-905.

Deusto Forum

Evolución, ética y religión

Los ensayos de este volumen introducen al lector en las cuestiones suscitadas por la teoría de la evolución respecto de la ética y la religión. Francisco J. Ayala —autoridad mundial en biología evolutiva— se pronuncia por separar las cuestiones de hecho (ciencia), valor (ética) y sentido (religión) y la compatibilidad entre ciencia y religión. Completa el libro una semblanza intelectual del profesor Ayala (exordio a cargo de D. Bermejo), además de una introducción y una selección bibliográfica realizada por el propio autor.

Bolumen honen saioek eboluzioaren teoriak etikaren eta erlijioaren inguruan sorrarazitako gaien inguruko sarrera osatzen dute, irakurleei begira. Francisco J. Ayalak —biologia ebolutiboko mundu mailako adituak— bereizi egiten ditu gertaera (zientzia), balioa (etika) eta zentzua (erlijioa), eta zientziaren eta erlijioaren bateragarritasunaren alde agertzen da. Liburua osatzeko, Ayala irakaslearen azalpen intelektuala, (D. Bermejoren hitzaurrea), sarrera bat eta autoreak berak egindako bibliografia aukeratua jasotzen dira.



Deusto

Publicaciones