
EN EL CENTENARIO DE DARWIN

FRANCISCO J. AYALA

ABSTRACT. This paper advances three stances. First, that Darwin's most significant intellectual contribution was to take into science's realm the origin and diversity of living organisms. The Copernican Revolution postulated the idea that the Universe is ruled by natural laws, which explain natural phenomena. Darwin complemented that revolution by extending such commitment to the living world. Second, natural selection consists on a creative process that can explain the appearance of genuine novelty. This creative process is point out with a simple example and is made clear with two analogies, artistic creation and the "typing monkeys," where similarities are shared, as well as marked with important differences. The creative power emerges from a distinctive interaction between chance and necessity, or between hazard and deterministic processes. The third one deals with the nature of scientific method, its virtues and its limits.

KEY WORDS. Scientific revolution, scientific method, Darwin, natural selection, creative process, novelty, chance, necessity, natural law.

El presente artículo avanza tres proposiciones. La primera es que la contribución intelectual más significativa de Darwin es que llevó el origen y la diversidad de los organismos al dominio de la ciencia. La revolución copernicana consistió en un compromiso con el postulado de que el universo está gobernado por leyes naturales que explican los fenómenos naturales. Darwin complementó la revolución copernicana extendiendo ese compromiso al mundo viviente.

La segunda proposición es que la selección natural es un proceso creativo que puede explicar la aparición de novedad genuina. El proceso creativo de la selección natural se muestra con un ejemplo sencillo y se aclara con dos analogías, la creación artística y los "monos mecanógrafos", con las que comparte similitudes y muestra diferencias importantes. Dicho poder creativo emerge de una interacción distintiva entre azar y necesidad, o entre procesos al azar y determinísticos.

A tercera proposición concierne la naturaleza del método científico, sus virtudes y sus límites.

Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, Irvine, California, USA. / fjayala@uci.edu

DOS REVOLUCIONES:
DE COPÉRNICO A DARWIN

La historia de la ciencia habla de dos revoluciones, la 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 manera 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.

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 anunciaron 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 llamada "revolución copernicana" dio comienzo propiamente con la publicación en 1543, el año de la muerte de Nicolás Copérnico, de su *De Revolutionibus Orbium Celestium* ("Sobre las revoluciones de las esferas celestiales"), y culminó con la publicación, en 1687, de la *Philosophiæ 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 mediana; que el universo es inmenso en espacio y en tiempo; y que los movimientos de los planetas en torno al sol se pueden explicar por las mismas leyes sencillas que explican el movimiento de los objetos físicos en nuestro planeta. Leyes como la que postula que la fuerza es igual a la masa por la aceleración o la que postula que la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional a 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 llevados al 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 tiene 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". *Natural Theology* es un argumento sostenido que infiere la existencia de Dios a partir del obvio diseño de los seres humanos y sus órganos, así como el diseño de toda clase de organismos, en sí mismos, y en sus relaciones entre ellos y con su entorno.

DISEÑO SIN DISEÑADOR

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 asir. Así, Darwin pudo proporcionar una explicación natural 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. Tanto 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 to 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 repetidamente 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 por la cual trabajar". De forma incesante prosiguió sus observaciones y realizó experimentos para poner a prueba la teoría y resolver posibles objeciones.

CHARLES DARWIN

Charles Darwin (1809-1882) fue hijo y nieto de médicos. Se matriculó como estudiante de medicina en la Universidad de Edimburgo. Sin embargo, después de dos años abandonó Edimburgo y se trasladó a la Universidad de Cambridge para proseguir sus estudios y prepararse para ser clérigo. No fue un estudiante excepcional, pero estaba profundamente interesado en la historia natural. El 27 de diciembre de 1831, unos meses después de su graduación en la Universidad de Cambridge, Darwin zarpó, como naturalista, a bordo del *HMS Beagle* en un viaje alrededor del mundo que

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

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

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

EL ORIGEN DE LAS ESPECIES

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

La Introducción y los capítulos I a VIII del *Origen* explican de qué modo la selección natural justifica las adaptaciones y los comportamientos de los organismos, su "diseño". El prolongado argumento comienza en el capí-

tulo I, donde Darwin describe la exitosa selección de las plantas y los animales domésticos y, con considerable detalle, el éxito de los criadores de palomas que buscan “mutaciones” exóticas. El éxito de los criadores de plantas y animales manifiesta cuánta selección se puede llevar a cabo aprovechando las variaciones espontáneas que ocurren en los organismos, pero que casualmente cumplen los objetivos de los criadores. Una mutación que aparece primero en un individuo se puede multiplicar por medio de la crianza selectiva, de modo que tras unas cuantas generaciones esa mutación se vuelve fija en una variedad, o “raza”. Las razas conocidas de perros, ganado, pollos, y plantas comestibles han sido obtenidas por este proceso de selección practicado por personas con objetivos particulares.

Los siguientes capítulos (II-VIII) del *Origen* extienden el argumento a las variaciones propagadas por medio de la selección natural para beneficio de los propios organismos, más que por selección artificial de rasgos deseados por los humanos. Como consecuencia de la selección natural, los organismos exhiben diseño, esto es, exhiben órganos y funciones adaptativas. Pero el diseño de los organismos, tal como éstos existen en la naturaleza, no es “diseño inteligente”, más bien, es el resultado de un proceso natural de selección, que fomenta la adaptación de los organismos a sus entornos. Así es como funciona la selección natural: los individuos que tienen variaciones beneficiosas, es decir, variaciones que mejoran su probabilidad de supervivencia y reproducción, dejan más descendientes que los individuos de la misma especie que tienen menos variaciones beneficiosas. En consecuencia, las variaciones beneficiosas se incrementarán en frecuencia a lo largo de las generaciones; las variaciones menos beneficiosas o perjudiciales serán eliminadas de la especie. Con el paso del tiempo, todos los individuos de la especie poseerán las características beneficiosas; nuevas características continuarán acumulándose durante eones de tiempo.

Los organismos exhiben un diseño complejo, pero el diseño más bien ha surgido de forma gradual y acumulativa, paso a paso, impulsado por el éxito reproductivo de los individuos con elaboraciones cada vez más complejas. La evolución es una consecuencia de que los organismos se adapten a diversos entornos en distintos lugares, y de las condiciones siempre cambiantes del entorno a lo largo del tiempo, y a que las variaciones hereditarias se vuelvan disponibles en un momento determinado y mejoren las oportunidades de los organismos de sobrevivir y reproducirse. La evidencia de la evolución biológica del *Origen* se halla en el centro de la explicación que Darwin da del “diseño,” porque esta explicación, la selección natural, implica que la evolución biológica ocurre.

Darwin dedica a la evidencia de la evolución cinco capítulos (IX-XIII), dos capítulos a la geología y paleontología, dos capítulos a la biogeografía y un capítulo al estudio comparativo de la anatomía y embriología de los

organismos. En el conclusivo capítulo XIV del *Origen*, Darwin regresa al tema dominante de la adaptación y el diseño. En un elocuente párrafo final, afirma la “grandeza” de su visión:

Así, la cosa más elevada que somos capaces de concebir, es decir, la producción de los animales superiores, es una consecuencia directa de la guerra de la naturaleza, del hambre y la muerte. Hay grandeza en esta visión de que la vida, con sus diversos poderes, ha sido originalmente alentada en unas pocas formas o en una sola; y que, mientras este planeta ha ido girando de acuerdo con la constante ley de la gravedad, a partir de un comienzo tan simple se han desarrollado y se están desarrollando *un sinfín de formas, las más bellas y más maravillosas.*

DEL DISEÑO INTELIGENTE
A LA SELECCIÓN NATURAL

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 buscamos a su autor. 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 diseño intenso y comprometido de la *Tortura de Cuauhtémoc* de Siqueiros en el Museo de Bellas Artes de México proclama que el cuadro fue creado por 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 profusas y maravillosas fueron trasladados al dominio de la ciencia.

Darwin aceptaba que los organismos estaban “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 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 agarrar. Pero Darwin procede a dar una explicación natural del diseño. Por tanto, trasladó al dominio de la ciencia aquellos aspectos de los seres vivos aparentemente con 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 algunos círculos religiosos, no tanto porque proponía el origen evolutivo de los seres vivos (que ya se había propuesto y aceptado antes 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”. Desde entonces, la configuración del universo ya no fue 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. Algunos 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 dos 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 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, en primer lugar, 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 aparecen como subproductos de la selección natural impulsora de la adaptación.

SELECCIÓN Y CREACIÓN

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 alternativas 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 debería 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 los pigmentos pudiese dar como resultado un todo ordenado como es la obra de arte final. Pero la probabilidad de que la *Tortura de Cuauhtémoc* de Siqueiros, hubiera resultado de la combinación al azar de pigmentos, o que la catedral de Salamanca haya resultado de la asociación al azar del mármol, los ladrillos y otros 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 prueba en contra de la teoría de la evolución de Darwin, ejemplos que muestran que los procesos al azar no pueden dar lugar a resultados organizados, con sentido. Así, se señala que un grupo de monos mecanografiando al azar jamás escribirían *El Origen*

de las especies, ni siquiera si dejamos que muchas generaciones de monos, durante millones de años, se sienten ante 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 alguna frase 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 necesitamos 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 escoge las combinaciones 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 (no al azar o direccional).

La analogía entre un pintor o un arquitecto y la selección natural es deficiente en un sentido importante. Normalmente un pintor parte de una preconcepción de lo que quiere pintar y modificará a conciencia la pintura para que represente lo que quiere. 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 físicoquímicas 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 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.

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 está 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 1 500 especies de *Drosophila* en el mundo. Aproximadamente 500 de ellas han evolucionado en el archipiélago, aunque se trata de un área pequeña, aproximadamente la quinta parte de la superficie de España. 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 aún 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 aquellas que son poco o nada adaptativas.

AZAR Y NECESIDAD

No obstante, 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 a la necesidad entrelazadas 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. Este es el descubrimiento fundamental de Darwin: que hay un proceso que es creativo aunque no sea consciente. Y esta es la revolución conceptual que Darwin completó: que todo en la naturaleza, incluyendo el origen de los organismos 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.

EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Las revoluciones copernicana y darwiniana de manera conjunta han consumado la revolución científica al incorporar todos los objetos y procesos naturales, inorgánicos o vivientes, al ámbito de la investigación científica. ¿Existe algún eslabón perdido importante en nuestra explicación científica de los fenómenos naturales? Para mí lo hay en el origen del universo. La creación u origen del universo implica una transición de la nada al ser. Un fenómeno de transición sólo se puede investigar científicamente si tenemos cierto conocimiento sobre los estados y entidades a ambos lados de la frontera. La nada, sin embargo, no es objeto de investigación o comprensión científica. Por tanto, en la medida que concierne a la ciencia, el origen del universo permanecerá para siempre como un misterio.

La ciencia es un medio de conocimiento maravillosamente exitoso. La ciencia busca explicaciones del mundo natural mediante la formulación de hipótesis que están sujetas a la posibilidad de falsación empírica o corroboración. Una hipótesis científica se pone a prueba asegurándose de si sus predicciones sobre el mundo de la experiencia, derivadas como consecuencias lógicas de las hipótesis, están o no de acuerdo con lo que realmente se observa.

Este es el elemento crítico que diferencia las ciencias empíricas de otras formas de conocimiento: el requerimiento de que las hipótesis científicas sean falsables empíricamente. El filósofo Karl Popper ha llamado a esto el *criterio de demarcación* de las ciencias empíricas respecto a otras formas de conocimiento. Una hipótesis que no esté sujeta a la posibilidad de falsación empírica no pertenece al dominio de la ciencia.

La ciencia es un modo de examinar la naturaleza del universo, que tiene gran éxito y enormes consecuencias. Lo testimonian la proliferación de departamentos científicos en universidades y otras instituciones de investigación, los enormes presupuestos que de buena gana destinan a la investigación, tanto el sector público como el privado, así como su impacto

económico. La Oficina Presupuestaria del gobierno de los Estados Unidos ha estimado que se puede atribuir el cincuenta por ciento de todo el crecimiento económico de los Estados Unidos al conocimiento científico y los avances tecnológicos ocurridos desde el final de la Segunda Guerra Mundial. De hecho, la tecnología derivada del conocimiento científico impregna nuestras vidas: los rascacielos de nuestras ciudades, los túneles y puentes, los cohetes que llegan a la luna, los teléfonos que nos facilitan la comunicación instantánea entre los continentes, los ordenadores que ejecutan cálculos complejos en millonésimas de segundo, las vacunas y medicamentos que mantienen a raya a los parásitos bacterianos, las terapias génicas que remplazan el DNA de las células defectivas. Todos estos notables logros testimonian la validez del conocimiento científico del que se derivan.

El conocimiento científico también es sobresaliente en el sentido de que emerge por medio del consenso y el acuerdo entre científicos, y también porque el conocimiento nuevo se construye sobre logros del pasado más que empezando de nuevo en cada generación o con cada nuevo practicante. Ciertamente, los científicos están en desacuerdo entre en sí en muchas cosas, pero éstas suelen ser cuestiones todavía no planteadas o resueltas, y los desacuerdos normalmente no cuestionan los conocimientos previos. Los científicos modernos no ponen en duda la existencia de los átomos, o que en el universo hay millones de estrellas, o que la herencia está encastada en el DNA.

MÁS ALLÁ DE LA CIENCIA

La ciencia es un modo de conocimiento, pero no es el único. El conocimiento también deriva de otras fuentes, como el sentido común, la experiencia artística y religiosa, y la reflexión filosófica. En *El mito de Sísifo*, el gran escritor francés Albert Camus afirmó que aprendemos más sobre nosotros mismos y sobre el mundo a partir de la contemplación de una noche estrellada y del aroma de la hierba que del proceder reduccionista de la ciencia. No necesitamos adherirnos a tal afirmación de opuestos para sostener la validez del conocimiento adquirido a través de las formas no científicas de inquirir. Esto se puede comprobar simplemente señalando que la ciencia, en el sentido moderno que hemos usado aquí, nació en el siglo XVI, pero la humanidad durante siglos construyó ciudades y caminos, produjo instituciones políticas y sofisticados códigos legales, propuso profundas filosofías y sistemas de valores, y creó magníficas obras de arte plástico, así como música y literatura. Así pues, aprendemos sobre nosotros mismos y sobre el mundo en el que vivimos, y también nos beneficiamos de los productos de este conocimiento no científico. Los cultivos que recolectamos y los ganados que cuidamos emergieron milenios antes que

la ciencia moderna naciese, a partir de prácticas descubiertas por campesinos de Oriente Medio, las sierras andinas y las mesetas mayas.

No es mi intención en esta sección final desvelar los extraordinarios frutos de los modos no científicos de investigar. Pero he sostenido la opinión de que nada en el mundo de la naturaleza escapa del modo científico de conocimiento, y que debemos esta universalidad a la revolución de Darwin. Simplemente deseo añadir algo que es obvio, pero que a veces es oscurecido por el triunfalismo de algunos científicos. La visión científica del mundo, a pesar de su éxito y de su universalidad, es incompleta sin remedio. Hay cuestiones de valor y significado que quedan fuera del dominio de la ciencia. Incluso cuando poseemos una comprensión científica satisfactoria de un objeto o proceso natural, quedan todavía cuestiones que muchos pueden pensar que son de igual o más importancia. El conocimiento científico puede enriquecer las percepciones estéticas y morales e iluminar el significado de la vida y del universo, pero estos son temas que quedan fuera del dominio de la ciencia.

El 28 de abril de 1937, al principio de la Guerra Civil Española, la aviación nazi bombardeó la pequeña ciudad vasca de Guernika, la primera vez que se destruía a propósito una población civil desde el aire. Hacía poco que el gobierno de la República Española había encargado al pintor español Pablo Picasso que pintase un gran lienzo para el pabellón español en la Exposición Mundial de París de 1937. En un delirio de energía maniaca, un Picasso enrabado bosquejó en diez días su famoso "Guernika", un inmenso óleo de 3.5 por 7.82 metros. Supongamos que ahora describo el cuadro, su tamaño y doy las coordenadas de todos los dibujos, así como los pigmentos usados y la calidad del lienzo. Esta descripción sería de interés, pero no sería satisfactoria si omitiese completamente el análisis estético y las consideraciones sobre su significado, el mensaje dramático de la inhumanidad del hombre con el hombre transmitido por la figura alargada de la madre con su estrechado hijo asesinado, las caras sufrientes de los personajes, el caballo herido y la imagen satánica del toro.

Sea el "Guernika" una metáfora de lo que deseo expresar. El conocimiento científico, como la descripción del tamaño, los materiales y la geometría del "Guernika", es satisfactorio y útil. Pero una vez que la ciencia ha dicho esto, queda todavía mucho acerca de la realidad que tiene interés, las cuestiones sobre el valor y significado de la vida y del universo que están para siempre más allá del alcance de la ciencia.

Partes de este artículo derivan de una conferencia dictada por el autor en la Universidad de Salamanca, España, el 16 de junio de 2009, asociada con el título de Doctor *Honoris Causa* en filosofía, otorgado por esa Universidad al autor el 19 de junio de 2009.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, F.J. (1999), *La teoría de la evolución*, 3a edición, 2001. Madrid: Cambio Colección.
- Ayala, F.J. (2007), *Darwin y el diseño inteligente. Creacionismo, cristianismo y evolución*. Madrid: Alianza Editorial.
- Ayala, F.J. and C.J. Cela Conde (2006), *La piedra que se volvió palabra. Las claves evolutivas de la humanidad*. Madrid: Alianza Editorial.
- Barlow, N. (1958), *The Autobiography of Charles Darwin*. London: Collins.
- Cela Conde, C.J. and F.J. Ayala (2001), *Senderos de la evolución humana. Trails of Human Evolution*, Fourth Printing, 2006. Madrid: Alianza Editorial.
- Cela-Conde, C.J. and F.J. Ayala (2007), *Human Evolution. Trails from the Past*. Oxford: Oxford University Press.
- Darwin, C.R. (1871), *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray.
- Darwin, C. *El origen de las especies. Por medio de la selección natural*. Prólogo de Francisco J. Ayala. 2009. Madrid: Alianza Editorial.
- Eldredge, N. (2005), *Darwin*. New York: Norton.
- Numbers, Ronald L. (1998), *Darwinism Comes to America*. Cambridge, MA: Harvard University Press: