

Francisco J. Ayala

Nomenat pel Consell de Govern del dia 28 de setembre de 2004. Fou investit el dia 11 de maig de 2006

DARWIN EN LA HISTORIA DE LAS IDEAS

Francisco J. Ayala

University of California, Irvine, CA 92697, USA

Excelentísimo y Magnífico Señor Rector

Ilustrísimos Profesores

Señores Alumnos

Señoras y Señores

Resumen del argumento

Copérnico, Kepler, Galileo y Newton, en los siglos XVI y XVII, iniciaron una concepción del Universo como materia en movimiento regida por leyes naturales. Sus descubrimientos expandieron el conocimiento humano y causaron una revolución fundamental, consistente en un compromiso con el postulado de que el Universo obedece a leyes inmanentes que dan cuenta de los fenómenos naturales. Con ello se inicia la ciencia en el sentido moderno: explicación a través de leyes naturales.

Darwin completó la Revolución Copernicana extendiéndola al mundo viviente. A Darwin se le da merecidamente el crédito de haber demostrado la evolución de los organismos. Más fundamental todavía es que descubrió la selección natural, el proceso que explica el "diseño" de los organismos. La Revolución Copernica había dejado fuera de su alcance el origen y la diversidad de los seres vivientes, pues éstos manifiestan estar "diseñados"; los animales tienen ojos obviamente diseñados para ver, como las alas lo están para volar. Los filósofos y teólogos concluían que donde hay diseño, hay Diseñador; y excluían así la posibilidad de explicar el origen y diversidad de los organismos por medio de causas naturales, que son "ciegas."

La teoría de la evolución explica el "diseño" de los organismos y su inexhaustible diversidad por medio de dos procesos naturales, uno de azar y el otro determinista. El poder creativo de la evolución surge de una interacción distintiva entre la casualidad y la necesidad, entre el proceso aleatorio de las mutaciones genéticas y la direccionalidad impuesta por la selección natural en respuesta a los requisitos del ambiente.

La teoría de la evolución muestra que el azar y la necesidad, la contingencia y el determinismo, están entretreídos en el meollo de la vida, en un proceso creador que ha producido las entidades más diversas, complejas y bellas del mundo natural: los millones de especies de organismos, con sus adaptaciones exquisitas para satisfacer sus necesidades, los ojos para ver, las manos para coger, los riñones para regular la composición de la sangre.

De Copérnico a Darwin

La publicación en 1859 de *El Origen de las Especies* por Charles Darwin inició una nueva era en la historia intelectual de la humanidad. A Darwin se le ha dado merecidamente el crédito por la teoría biológica de la evolución. Darwin, ciertamente, acumuló evidencias demostrando que los organismos evolucionan y descubrió el proceso, la selección natural, por el cual evolucionan. Darwin demostró que los organismos evolucionan; que los seres vivientes, incluyendo al hombre, son descendientes de antepasados muy diferentes de ellos; que los seres vivientes están relacionados entre sí porque tienen antepasados comunes. Quien quiera tomarse el esfuerzo de estudiar la evidencia y de juzgarla sin prejuicios no puede dudar que, por

ejemplo, el hombre y los monos antropoides descienden de antepasados comunes que vivían hace unos diez millones de años; o que los mamíferos, del hombre al ratón y a la ballena, descienden de reptiles que vivían hace más de 200 millones de años.

Pero más importante que la evidencia de la evolución es que Darwin proveyera una explicación causal del origen de los organismos. Tal explicación causal es la teoría de la selección natural. Con ella, Darwin extiende al mundo orgánico el concepto de naturaleza derivado de la astronomía, la física y la geología: la noción de que los fenómenos naturales pueden ser explicados como consecuencias de leyes inmanentes, sin necesidad de postular agentes sobrenaturales.

Darwin completó la revolución copernicana al extrapolar a la biología la noción de la naturaleza como un sistema ordenado de materia en movimiento. Las adaptaciones y diversidad de los organismos, el origen de formas nuevas y exquisitamente organizadas, incluso el origen de la humanidad misma podían ser explicados a partir de Darwin como resultados de un proceso ordenado de cambios gobernados por leyes naturales.

Los descubrimientos de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton en los siglos dieciséis y diecisiete habían introducido gradualmente la noción de que el universo y sus funciones podían ser explicados por la razón humana. Estos científicos y sus contemporáneos demostraron que la tierra no es el centro del universo, sino un pequeño planeta girando en torno a una estrella típica; que el universo es inmenso en espacio y tiempo; y que los movimientos de los planetas alrededor del sol pueden ser explicados por las mismas leyes simples que dan cuenta del movimiento de los objetos físicos en nuestro planeta.

Tales descubrimientos expandieron enormemente el conocimiento humano, pero la revolución intelectual que estos científicos originaron fue más fundamental: un compromiso con el postulado de que el universo obedece leyes inmanentes que dan cuenta de los fenómenos naturales. El funcionamiento del universo entraba así en el dominio de la ciencia: la explicación a través de leyes naturales. Los fenómenos físicos podrían ser explicados siempre y cuando las causas fueran adecuadamente conocidas.

Sin embargo, el origen de los organismos y sus maravillosas adaptaciones había sido dejado sin explicación natural y atribuido al diseño de un Creador omnisciente. Dios había creado las aves y las abejas, los peces y los corales, los árboles en la selva y, por encima de todo, al hombre. Dios nos había dado ojos para que pudiéramos ver, y había proveído a los peces con branquias para respirar en el agua. Filósofos y teólogos argumentaban que el diseño funcional de los organismos manifestaba la existencia de un Creador omnisciente. Donde quiera que haya diseño, hay un diseñador; la existencia de un reloj revela la existencia de un relojero.

El teólogo inglés William Paley en su *Teología Natural* (1802) elaboró el "argumento del diseño" como una demostración eficaz de la existencia del Creador. El diseño funcional del ojo humano, argüía Paley, provee evidencia conclusiva de un Creador omnisciente. Sería absurdo suponer –escribió– que el ojo humano por puro azar

"hubiera consistido, primero, en una serie de lentes transparentes... segundo, en una tela negra o membrana, extendida detrás de esas lentes para recibir la imagen formada por haces de luz transmitida a través de ellas y puesta a la distancia geométrica precisa, y sólo en ésta, en la que una imagen clara podría ser formada...en tercer lugar, en un largo nervio que comunica esa membrana y el cerebro."

Los *Tratados Bridgewater*, publicados entre 1833 y 1840, fueron escritos por eminentes científicos y filósofos para establecer "el Poder, Sabiduría y bondad de Dios como se manifiestan en la Creación". La estructura y los mecanismos de la mano del hombre, por ejemplo, eran citados como evidencia incontrovertible de que la mano había sido diseñada por el mismo Poder omnisciente que había creado el mundo.

Los avances de las ciencias físicas habían llevado así a la humanidad a una concepción esquizofrénica de la realidad, que persistió hasta mediados del siglo diecinueve. Las explicaciones científicas, derivadas de las leyes naturales, dominaban el mundo de la materia no viviente, tanto en la tierra como en los cielos. Las explicaciones sobrenaturales, dependientes de las acciones insondables del Creador, daban cuenta del origen y la configuración de las criaturas vivas, las realidades más diversificadas, complejas e interesantes del mundo.

Fue el genio de Darwin el que resolvió esta esquizofrenia intelectual. Darwin completó la revolución copernicana al introducir en la biología la noción de sistema natural de materia en movimiento explicable por la razón humana.

Diseño sin diseñador

Las dificultades aparentes superadas por Darwin no deben menospreciarse. Los seres vivientes dan evidencia de diseño, y donde hay diseño hay diseñador. Que el ojo del ser humano está constituido para ver y el ala del pájaro para volar parece implicar de manera irrefutable que alguien los ha diseñado específicamente para tales propósitos. Cuando admiramos la catedral de Palma o el castillo de Bellver sabemos que fueron creados por artistas y artesanos con propósitos bien definidos.

Antes de Darwin, las adaptaciones y la diversidad de los seres vivientes eran aceptadas como hechos sin explicación, o eran atribuidas a la sabiduría omnisciente del Creador. Dios creó las aves, los peces, las plantas, los planetas y, sobre todo, Dios creó al ser humano a su imagen y semejanza. A él le dio ojos para que pudiera ver, y a los peces agallas para que pudieran respirar en el agua. De hecho, los teólogos argüían que el diseño funcional de los organismos manifiesta la existencia de un Creador sabio. En el siglo XIII, Santo Tomás de Aquino formula tal argumento en su "quinta vía" para demostrar la existencia de Dios. Como estudiante en la Universidad de Cambridge, Darwin había leído el libro *Natural Theology* de William Paley, dedicado en su totalidad a demostrar que la organización compleja y precisa de los organismos, en sí mismos y en sus relaciones de unos con otros, prueba contundentemente la existencia de dios.

Darwin acepta la premisa de que los organismos están adaptados para vivir en sus ambientes—el pez en el agua, la cebra en la pradera y la lombriz en el intestino—y tienen órganos específicamente diseñados para llevar a cabo ciertas funciones—las agallas para respirar en el agua, las patas para correr y las alas para volar—. Darwin acepta la organización funcional de los seres vivos, pero pasa a dar una explicación *natural* de tal organización. Con ello, reduce al dominio de la ciencia los únicos fenómenos naturales que todavía quedaban fuera de ella: la existencia y organización de los seres vivos.

Mi argumento es que la contribución intelectual más trascendente de Darwin fue el haber extendido la revolución copernicana al mundo de los seres vivientes. El origen y la naturaleza adaptativa de los organismos podían ser ahora explicados, al igual que los fenómenos del mundo inanimado, como el resultado de leyes naturales manifiestas en procesos naturales.

Selección natural

La publicación de *El origen de las especies* en 1859 tuvo un impacto considerable en la sociedad del siglo XIX. El libro se convirtió en tópico de salón sujeto a vehementes ataques y aun al ridículo. Los ataques mencionaban frecuentemente el origen del ser humano "a partir del mono" como proposición ofensiva e inaceptable. Pero subyacente a ésta y otras críticas, residía una objeción más fundamental: la que se opone a la explicación causal de los aspectos finalistas de los fenómenos naturales que elimina los agentes sobrenaturales como principios explicativos de los procesos de la naturaleza.

Darwin resume el argumento central de la teoría de la evolución por medio de la selección natural de la manera siguiente:

"Dado que se producen más individuos que los que pueden sobrevivir, tiene que haber en cada caso una lucha por la existencia, ya sea de un individuo con otro de su misma especie o con individuos de especies distintas o con las condiciones físicas de la vida [...]. Viendo que indudablemente se han presentado variaciones útiles al hombre, ¿puede acaso dudarse de que del mismo modo lleguen a aparecer en otros organismos, en la grande y compleja batalla de la vida, variaciones útiles en el transcurso de muchas generaciones sucesivas? Si esto ocurre, ¿podemos dudar—recordando que nacen muchos más individuos de los que acaso pueden sobrevivir—que los individuos que tienen ventaja, por ligera que sea, sobre otros tendrán mas probabilidades de sobrevivir y reproducir su especie? Y al contrario, podemos estar seguros de que toda variación perjudicial, por poco que lo sea, tiene que ser rigurosamente eliminada. A esta conservación de las diferencias y variaciones favorables a los individuos y la destrucción de las que son perjudiciales he llamado yo *selección natural*."

La explicación darwiniana de la evolución de los seres vivos por medio de la selección natural es, como tantas otras proezas de la mente humana, extremadamente simple al mismo tiempo que muy poderosa. El punto de partida es la existencia de variaciones hereditarias, un hecho observado que Darwin consideraba incontrovertible, aun cuando ignoraba los mecanismos de mutación que dan origen a la variación hereditaria. Otro hecho observable es que sólo una fracción de los organismos sobreviven hasta su madurez y se reproducen; la mayoría mueren antes de dejar descendencia. Basándose en parte en la experiencia adquirida por los ganaderos y agricultores que practican la selección artificial, Darwin arguye que unas variantes hereditarias deben ser más ventajosas que otras con respecto a la probabilidad de multiplicarse de sus poseedores. Es decir, los organismos que poseen variantes favorables tendrán una probabilidad mayor de sobrevivir y reproducirse que los organismos carentes de ellas. Así pues, el proceso de la reproducción a través de las generaciones llevará al aumento gradual de las variantes hereditarias beneficiosas y a la eliminación de las variantes desventajosas.

La selección natural fue propuesta por Darwin para dar cuenta de la organización adaptativa, o "diseño", de los seres vivos; es un proceso que promueve o mantiene la adaptación. El cambio evolutivo a través del tiempo y la diversificación evolutiva (multiplicación de especies) no son directamente promovidas por la selección natural y no se tienen que dar en cada caso, aunque son normalmente consecuencia de la adaptación a ambientes cambiantes en el espacio y en el tiempo. Este punto merece un énfasis; la selección natural fomenta directamente la adaptación de los organismos a sus entornos, no la evolución, aunque el cambio evolutivo resulta ser a menudo una consecuencia. (Por ello se da a veces el así llamado *punctuated equilibrium* o "estancamiento evolutivo", los ejemplos de organismos con una morfología que ha cambiado poco o nada en millones de años).

La formulación moderna del principio de selección natural se hace en términos genéticos y estadísticos, como "reproducción diferencial." La selección natural implica que unos genes y combinaciones genéticas son transmitidos a las siguientes generaciones más frecuentemente en promedio que los alternativos. Las unidades genéticas favorecidas se harán, pues, más comunes en cada generación siguiente y sus

alternativas menos comunes. La selección natural es simplemente una tendencia estadística en la tasa relativa de reproducción de unidades genéticas alternativas.

Novedad y creación

La selección natural es capaz de generar novedades al incrementar la probabilidad de combinaciones genéticas que de lo contrario serían extremadamente improbables. La selección natural es así, en cierta forma, creativa. Produce combinaciones genéticas adaptativas que de lo contrario no habrían existido.

El papel creativo de la selección natural no debe ser entendido en el sentido de la creación "absoluta" que la teología cristiana predica del acto Divino por el cual el universo fue traído al ser *ex nihilo*. La selección natural podría más bien ser comparada con un pintor que crea una pintura mezclando y distribuyendo pigmentos sobre el lienzo. El lienzo y los pigmentos no son creados por el artista, pero la pintura sí. La probabilidad de que una combinación aleatoria de los pigmentos pudiera resultar en el todo ordenado que es el producto final del arte, tal como *Las Meninas* de Velázquez, es infinitamente pequeña. De la misma forma, la combinación de unidades genéticas responsables de la formación del ojo humano nunca habría llegado a existir por un proceso aleatorio, como son las mutaciones genéticas. Ni siquiera si tenemos en cuenta los tres o cuatro mil millones de años durante los cuales la vida ha existido en la tierra. La complicada anatomía del ojo, como el exacto funcionamiento del riñón, son el resultado de un proceso no-aleatorio, la selección natural.

Fundamentalistas religiosos y otros críticos de la teoría de la evolución han alegado que los procesos aleatorios no pueden producir resultados coherentes, tales como el ojo o la mano. Dicen que una serie de monos tecleando al azar las letras de una máquina de escribir nunca producirían *El origen de las especies*, incluso si miles de monos continuaran aporreando las teclas durante miles de años.

La incapacidad de producir por azar una obra coherente como *El origen de las especies* es cierta, pero el ejemplo de los monos o la referencia a la evolución como proceso de azar, no lo es. La selección natural es, por el contrario, un proceso direccional, que fomenta la adaptación, puesto que los individuos que se reproducen más eficazmente son precisamente aquellos que poseen variaciones que son útiles a sus portadores. El proceso ocurre, además, paso a paso, por la acumulación de cambios pequeños, que, a través de miles y millones de generaciones, dan paso a cambios importantes.

La analogía de los monos sería más apropiada si existiese un proceso gradual semejante a la selección natural, mediante el cual palabras con significado (como "el", "origen", "especies", etc.) fueran seleccionadas y se convirtieran en las teclas de una máquina de escribir de segundo orden. En estas máquinas, a su vez, cada vez que apareciera una frase con sentido (como "el origen de las especies"), ésta se convertiría en una tecla en máquinas de escribir de tercer orden, en las que los párrafos coherentes serían seleccionados siempre que apareciesen y se incorporarían de nuevo como teclas en máquinas de cuarto orden; y así sucesivamente. Al final aparecen páginas y capítulos con sentido.

No es apropiado llevar la analogía tan lejos, ya que ninguna analogía es completamente satisfactoria, pero el argumento es claro. La evolución no es el resultado de procesos puramente aleatorios, sino que existe un proceso selectivo o direccional que acumula las combinaciones adaptativas, puesto que éstas se multiplican más eficazmente con la reproducción de los individuos en que se dan. Las mutaciones genéticas son cambios que tienen lugar tanto si son útiles a los organismos como si no y, en este sentido, son eventos fortuitos. Pero la selección natural preserva y multiplica lo útil, y elimina lo nocivo.

Un ejemplo simple

La manera como la selección natural puede generar novedades paso a paso, en respuesta a los desafíos del entorno, puede ilustrarse mediante un ejemplo sencillo pero real. Ciertas bacterias de la especie *Escherichia coli*, abundante en el intestino humano y de otros animales, requieren la presencia de cierta sustancia, el aminoácido histidina, para poder reproducirse en un caldo de cultivo. Cuando una muestra de estas bacterias es introducida en un tubo de laboratorio con una pequeña cantidad de caldo de cultivo (digamos cinco centímetros cúbicos) que contiene histidina, las bacterias se reproducen rápidamente y en un par de días dan lugar a unos 10.000 o 15.000 millones de bacterias. En estas bacterias aparecen mutaciones espontáneas que las hacen resistentes a la estreptomycinina con una incidencia de una por cada 100 millones (1×10^{-8}) de bacterias. Es de esperar que entre 100 y 150 bacterias sean resistentes a la estreptomycinina, debido a mutación espontánea, en el cultivo bacteriano. Si se añade al cultivo una concentración apropiada del antibiótico, los 10 a 15 mil millones de bacterias del cultivo mueren, excepto las 100 o 150 que poseen la mutación que las hace resistentes. Ese centenar de bacterias comienza entonces a reproducirse, de manera que un par de días más tarde tendremos en el cultivo otra vez entre 10.000 y 15.000 millones de bacterias, pero que ahora son todas resistentes a la estreptomycinina.

Entre las bacterias que requieren histidina para reproducirse, aparecen espontáneamente mutaciones que las hacen capaces de reproducirse sin histidina, en proporciones de cuatro entre cien millones (4×10^{-8}). Si pasamos las bacterias resistentes a la estreptomycinina a un cultivo en el que hay estreptomycinina pero no histidina, sólo las 400 a 600 bacterias que no necesitan histidina son capaces de sobrevivir y reproducirse. Pero éstas lo hacen y al cabo de dos días habrán producido miles de millones, todas resistentes a la estreptomycinina y sin necesidad de histidina.

La probabilidad de que las dos mutaciones (resistencia a la estreptomycinina e independencia de la histidina) se produzcan por azar en una sola bacteria es extremadamente pequeña (incidencia de cuatro mutaciones por cada diez mil millones de millones de bacterias, $1 \times 10^{-8} \times 4 \times 10^{-8} = 4 \times 10^{-16}$), de manera que no cabe esperar que haya ni siquiera una bacteria entre los miles de millones de bacterias del cultivo, ni tampoco en un cultivo que fuera cien o mil veces mayor. Sin embargo, con la selección natural se han producido bacterias todas ellas con las propiedades apropiadas. Notemos el diseño aparente del resultado: las bacterias tienen precisamente aquellas propiedades que les hacen posible sobrevivir y reproducirse en el entorno en que existen.

La selección natural produce, como muestra el ejemplo, combinaciones de genes (propiedades) que serían de otro modo sumamente improbables, ya que procede paso a paso. El ojo humano no apareció de repente en su perfección actual. Su formación requiere la integración apropiada de muchos genes y, por lo tanto, no puede haber resultado de un proceso puramente de azar. Órganos que les hacían capaces de percibir la luz aparecieron en nuestros antepasados de hace cientos de millones de años, primero en forma de enzimas capaces de reaccionar a la luz y más adelante en forma de estructuras sencillas que reaccionaban no sólo a la luz, sino también a su dirección e intensidad, hasta que gradualmente aparecieron ojos sencillos y eventualmente ojos más complejos como los que los humanos poseemos.

La capacidad de reaccionar a la luz y de reaccionar cada vez mejor, fue sin duda ventajosa para los individuos que la poseían dada la presencia universal de la luz solar en el entorno de los organismos que viven sobre la superficie de la Tierra. No es por ello sorprendente que más de 30 tipos distintos de ojos hayan evolucionado en distintos tipos de animales. Los ojos de los humanos, los caracoles y las mariposas son muy diferentes

en su organización y funcionamiento, aunque todos comparten la capacidad de utilizar la luz solar.

El proceso de selección natural puede explicar la formación y multiplicación de constituciones genéticas que nunca hubieran llegado a existir bajo la acción fortuita de los procesos de mutación y recombinación, puesto que las combinaciones genéticas complejas tienen una probabilidad *a priori* estrictamente infinitesimal. En este sentido, la selección natural es un proceso definitivamente creativo aun cuando no sea responsable de la creación de los elementos constitutivos, es decir, los genes.

Ni monos ni pintor

El pintor y sus cuadros son una analogía pobre de la evolución y los organismos porque el pintor tiene una idea preconcebida de lo que quiere pintar, mientras que la evolución no tiene previsión, ni opera de acuerdo con un plan preconcebido. La selección natural es un proceso puramente natural que procede de la interacción entre las características de entidades biológicas y físico-químicas. La selección natural es simplemente el resultado de la multiplicación diferencial de los organismos. La selección natural da apariencia de intencionalidad ya que está condicionada por el entorno: como vimos con el ejemplo bacteriano, cuáles son los individuos que se reproducen más eficazmente es simplemente una cuestión de qué individuos poseen por azar una variación que les hace reproducirse más eficientemente que los otros.

El equipo de monos mecanógrafos es también una mala analogía, si implicamos que existe "alguien" que selecciona las combinaciones de letras y palabras que tienen sentido. En la evolución no hay nadie seleccionando las combinaciones ventajosas. Estas se seleccionan a sí mismas porque se multiplican más eficazmente que las alternativas peor adaptadas al entorno.

Pero la analogía de los monos mecanógrafos es mejor que la del pintor, al menos si asumimos que no tiene que obtenerse un texto particular, sino simplemente uno que tenga sentido. Tal es el caso de la evolución. No se encamina a producir tipos de organismos predeterminados, sino sólo organismos adaptados a sus entornos actuales. Qué características serán seleccionadas depende de cuáles sean las condiciones particulares del entorno y de cuáles sean las variaciones presentes en los organismos que allí viven. Esto a su vez depende del proceso fortuito de mutación, así como de la historia previa de los organismos (es decir, de los atributos y composición genética que tengan éstos, como consecuencia de su historia evolutiva). La selección natural es un proceso "oportunista". Las variables que determinan el proceso en un momento dado son el entorno, la constitución preexistente de los organismos y las mutaciones fortuitas.

Adaptación y oportunismo

Los cambios evolutivos en la constitución genética de una población dan lugar con frecuencia a una mejor adaptación. Esto se debe simplemente a que los organismos con probabilidad mayor de reproducirse son precisamente aquellos que poseen variaciones ventajosas con relación al ambiente.

Avanzaré aquí ciertas observaciones que son apropiadas para comprender mejor cómo la adaptación es el resultado del proceso de selección natural. La selección natural tiene lugar solamente con respecto a las condiciones del ambiente en que los organismos viven en un momento determinado; ni la selección natural ni la adaptación evolutiva resultante son capaces de anticipar las necesidades futuras. Los cambios ambientales que puedan llegar a ocurrir en un ambiente futuro no afectan de manera alguna a la eficiencia reproductiva de los organismos en un momento dado. Cuando surge una situación ambiental nueva, si una población es incapaz de reaccionar adaptativamente, el resultado es la extinción. El registro fósil es testigo de que la mayoría de las especies que existieron a través de la historia de la vida acabaron extinguiéndose.

El curso evolutivo de una población no puede fluir en todas las direcciones teóricamente posibles, sino que está condicionado por la historia anterior de la población, dado que la configuración genética de una población está determinada por los ambientes en que la población ha vivido en el pasado. Los genes y combinaciones genéticas que existen en una población en un momento dado son aquéllos que han sido favorecidos por la selección natural en los ambientes en que la población ha vivido hasta ese momento. Y la configuración genética de una población en un momento dado delimita sus potencialidades evolutivas: los únicos genes y combinaciones genéticas que pueden ser multiplicados por la selección natural en esa población son aquéllos que existen en la población en tal momento.

Un ejemplo obvio es la colonización de la tierra firme por los seres vivos. Las plantas colonizaron la tierra firme durante el periodo geológico llamado Silúrico; los animales durante el Devónico. Con ello se conquistaron ambientes nuevos y diversos para la evolución de la vida. Aparecieron nuevas plantas, pero las adaptaciones básicas de la vida vegetal permanecieron en todas ellas; tales adaptaciones habían surgido en el pasado, limitando así las posibilidades evolutivas de sus descendientes. Las adaptaciones que tuvieron lugar en las características anatómicas y fisiológicas de los animales no eran posibles en las plantas, ni las de las plantas en los animales.

La selección natural es un proceso puramente oportunista: cuando surge una nueva situación ambiental, una población determinada o responde con una adaptación apropiada o se extingue. La adaptación a una situación ambiental determinada puede tener lugar, sin embargo, de maneras diversas; cual de ellas aparecerá en una población depende de la configuración genética preexistente y de circunstancias accidentales como las mutaciones y la recombinación genética. Tomemos como ejemplo la adaptación de las plantas a las condiciones características de los desiertos. La adaptación fundamental ocurre como respuesta a las condiciones de sequía que predominan durante la mayor parte del año, y a veces durante varios años sucesivos, y que llevan consigo el peligro de desecación.

Distintos grupos de plantas han satisfecho la necesidad urgente de economizar las reservas de agua de maneras diferentes. Los cactus, por ejemplo, han transformado las hojas en espinas y los troncos en barriles que contienen reservas de agua; la fotosíntesis tiene lugar en la superficie del tronco en vez de en las hojas. Otras plantas carecen de hojas durante el estío, pero en cuanto llueve producen rápidamente hojas, flores y semillas. Un tercer tipo de adaptación es el siguiente: las semillas germinan dando plantas efímeras que crecen, florecen y producen nuevas semillas, todo ello durante las pocas semanas que duran las lluvias; durante el resto del año las semillas permanecen quiescentes en el suelo.

El proceso de la selección natural explica la diversidad y la evolución de los organismos como una consecuencia de su adaptación a las variadas y siempre cambiantes condiciones de vida. Los registros fósiles muestran que la vida ha evolucionado en una forma fortuita. Las radiaciones, expansiones, relevos de una forma por otra, giros ocasionales pero irregulares y las siempre presentes extinciones, pueden ser explicadas por la selección natural, sujeta al capricho de la mutación genética y el reto ambiental. La explicación científica de estos acontecimientos no necesita recurrir a un plan preordenado por un diseñador omnisciente y todopoderoso, o ser el resultado de alguna fuerza inmanente que dirige el proceso hacia resultados definitivos. La evolución biológica se diferencia de una pintura o de un artefacto en que es un proceso natural, no es el resultado de un diseño preconcebido por un artista o un artesano.

Azar y necesidad

La selección natural da cuenta del "diseño" de los organismos, porque las variaciones adaptativas son precisamente aquéllas que tienden a incrementar la tasa de supervivencia y reproducción de sus portadores, a costa de variaciones maladaptativas, o menos adaptativas. Los argumentos de Paley, contra la increíble improbabilidad de la explicación por azar del origen de los organismos, son razonables en cierto sentido. Pero Paley, como otros autores antes de Darwin, no fue capaz de discernir que hay un proceso natural (la selección natural) que no es aleatorio, sino más bien orientado (hacia la adaptación) y que es capaz, en interacción con procesos aleatorios, de generar orden o "crear". Las características que los organismos adquieren en su historia evolutiva no son fortuitas, sino determinadas por su utilidad para los organismos en que existen. Pero el carácter fortuito de las mutaciones y las circunstancias del entorno hacen que las adaptaciones varíen de un lugar a otro y de una especie a otra.

El azar es parte integral del proceso evolutivo. Las mutaciones que producen las variaciones hereditarias disponibles para la selección natural, aparecen al azar, independientemente de si son benéficas o no para sus portadores. Pero este proceso aleatorio (así como otros que vienen a actuar en el gran teatro de la vida) es contrarrestado por la selección natural, la cual preserva lo que es útil y elimina lo perjudicial. Sin mutación, la evolución no podría ocurrir porque no habría variaciones que pudieran ser diferencialmente transmitidas de una generación a otra. Pero sin selección natural, el proceso de mutación produciría desorganización y extinción, porque la mayoría de las mutaciones son desventajosas. Mutación y selección han llevado conjuntamente al maravilloso proceso que empezando desde organismos microscópicos ha resultado en las orquídeas, las aves y los seres humanos.

La teoría de la evolución nos muestra el azar y la necesidad entrelazados en el meollo de la vida, la casualidad y el determinismo entretejidos en un proceso natural que ha creado las realidades más complejas, más diversas y más bellas del Universo: los seres vivos, y entre ellos el ser humano, capaz de pensar y de amar, capaz de libre albedrío y de analizar el proceso mismo de la evolución que le ha traído a la existencia.

Tal es el descubrimiento fundamental de Darwin: que existe un proceso natural que es creador aun cuando no es consciente. Y tal es la revolución conceptual completada por Darwin: que todas las realidades naturales, incluyendo el origen mismo de los seres vivos, pueden ser explicadas por procesos materiales gobernados por leyes naturales. Esto no es nada menos que una visión fundamental que ha cambiado para siempre la forma en que la humanidad se concibe a sí misma y a su lugar en el universo.