

Manuel Alfonseca Moreno

**Revisión crítica del libro de Jacques Monod *El Azar y la Necesidad.*
Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna
(Éditions du Seuil, 1970)**

Índice

Prefacio

I – Jacques Monod y *El azar y la necesidad*

1.1 – Jacques Monod, su vida y su obra científica y literaria

1.2 – Sinopsis de *El azar y la necesidad*

II – Revisión crítica de *El azar y la necesidad*

2.1 – La vida según Monod

2.2 – El origen de la vida según Monod

2.3 – El evolucionismo según Monod

2.4. – Los dos tipos de azar

2.5 – El reduccionismo de Monod

2.6 – El cientificismo de Monod

2.7 – ¿Azar y diseño son incompatibles? La vida artificial como contraejemplo

III – Conclusiones

Bibliografía

1 – Bibliografía citada.

2 – Bibliografía seleccionada para saber más.

PREFACIO

Los dos últimos siglos han sido testigos de una revolución en las ciencias biológicas que solo se puede comparar con la que tuvo lugar en la física a partir del siglo XVII, y en la química desde finales del XVIII. En una ciencia que hasta entonces había sido predominantemente descriptiva, se pasó a proponer hipótesis y teorías que era posible confirmar basándose en observaciones y experimentos, como sucede en las ciencias más duras y empíricas, la física y la química. De hecho, de la combinación de la biología con esas ciencias surgieron ciencias nuevas, como la biofísica y la bioquímica, hasta el punto de que a veces se hace difícil separar unos campos de otros.

Los avances en cadena de la biología durante estos dos siglos se pueden resumir así: a) El descubrimiento de los fósiles, que amplió nuestra visión histórica de la vida añadiendo a los seres vivos conocidos un número enorme de especies extinguidas, que en algunos casos eran completamente diferentes de las actuales, mientras en otros formaban series que apuntaban a los animales y plantas que nos resultan familiares. b) La incorporación al elenco de los seres vivos de organismos microscópicos, que ampliaron con reinos nuevos las clasificaciones biológicas y permitieron encontrar la causa de muchas enfermedades, gracias a la teoría germinal de las enfermedades infecciosas, propuesta y demostrada por Louis Pasteur. c) La teoría de la evolución mediante la selección natural, propuesta en 1859 conjuntamente por Charles Darwin y Alfred Russell Wallace, aunque ha quedado adscrita al primero de los dos, debido a la publicación en ese año de su libro *El origen de las especies*. d) El descubrimiento de las leyes de la herencia por el monje agustino Johann Gregor Mendel, que aunque permanecieron ignoradas durante casi treinta años, fueron por fin redescubiertas y atribuidas correctamente a su descubridor. e) El descubrimiento de las mutaciones en el año 1900 por Hugo de Vries, uno de los redescubridores de las leyes de Mendel. La obra de ambos investigadores completó la de Darwin, que solo habló de selección natural, pero ignoró las otras dos componentes fundamentales de la evolución: el *azar* (las mutaciones) y la *necesidad* (la herencia), las dos componentes fundamentales del libro de Monod que vamos a discutir aquí. f) La ciencia de la genética, fundada por Thomas Hunt Morgan, que hizo famosa a la mosca de las frutas, convirtiéndola en el ser vivo mejor estudiado de la historia. g) La teoría sintética de la evolución o *neodarwinismo*, que combinó las tres componentes mencionadas en una teoría unificada que cambió el

enfoque de la evolución de los individuos a las poblaciones. h) El descubrimiento por Oswald Avery de la importancia de los ácidos nucleicos (en particular del ADN) para la herencia biológica. i) El descubrimiento de la estructura tridimensional del ADN por James Dewey Watson, Francis Crick y Rosalind Franklin y el desciframiento posterior del código genético y del procedimiento que utilizan las células para convertir la información genética en proteínas. En este último apartado intervino Jacques Monod, autor del libro que estamos considerando. j) La aparición de una nueva ciencia, la biología molecular, y de una nueva rama de la tecnología, la ingeniería genética, que ha llevado a obtener varias sustancias muy importantes por procedimientos biológicos, además de conducir a una nueva rama de la medicina, la terapia genética, y al proyecto Genoma Humano.

Este comentario del libro *El azar y la necesidad: ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*, pretende explicar dos cosas: la ciencia en que se apoyó Monod al escribir su libro, que aunque ya ha sido dejada atrás por descubrimientos posteriores (a los que haremos referencia a lo largo de este texto) sigue siendo válida en su mayor parte; y dejar claras las ideas subyacentes de Monod, que no siempre es consciente de que dichas ideas no son parte de la ciencia, sino de su ideología.

Jacques Monod fue un científico importante que durante los años cincuenta y sesenta se situó en el primer plano de la investigación científica sobre la biología molecular, a la que hizo dar pasos de gigante en el estudio de las bases químicas de la vida. Sus trabajos en este campo le llevaron a recibir el Premio Nobel en 1965, y le sirvieron de punto de partida para escribir el libro que estamos revisando, una de las obras de divulgación científica en su campo más importantes de su época, aunque también lo utilizó como pretexto para difundir sus ideas sobre el universo, la vida y el hombre, que pueden resumirse así: Dios no existe. El universo no tiene sentido. Nosotros somos una especie biológica más, aunque sea la única que ha conseguido abrir un campo de evolución completamente nuevo: la evolución cultural.

En la primera parte de este escrito doy un breve resumen de su vida y su obra científica, y describo con cierto detalle su libro *El azar y la necesidad*, especificando el tema de cada uno de sus nueve capítulos y los cuatro apéndices. Esto me permite prescindir en el resto de este texto del orden en que Monod aborda los distintos temas, y reordenar las cuestiones que me parecen más importantes.

La segunda parte compone alrededor de un ochenta por ciento del total de esta obra. Centrándose en la obra de Monod, analiza sus dos aspectos: el divulgativo y el ideológico. El primero es muy bueno, aunque algo complicado para el lector medio. Con el segundo, mi desacuerdo es total, y explico por qué. Esta parte está dividida en siete apartados, de los que los cuatro primeros se refieren predominantemente al aspecto divulgativo de la obra: qué es, según Monod, la vida; sus ideas respecto al origen de la vida; sus ideas respecto a la evolución; y unas consideraciones muy oportunas respecto a los dos tipos de azar que podemos detectar en el mundo. Los dos apartados siguientes hacen referencia al reduccionismo y científicismo subyacente en la obra de Monod, que no está totalmente ausente de los cuatro primeros apartados, porque ambas partes se interpenetran, tanto en el libro de Monod como en esta monografía. Pero no me reduzco a discutir teóricamente las ideas de Monod, pues en el séptimo apartado el autor de este estudio plantea un contraejemplo científico que, en su opinión, echa abajo varias de las ideas expuestas en el libro de Monod: la investigación en *vida artificial* (que no hay que confundir con la *biología sintética*), un tema de investigación moderno en el que el autor ha participado personalmente.

La tercera parte de este texto, como resultado del análisis de la parte segunda, resume una crítica de las ideas de Monod, poniendo énfasis en la intención propagandística de su libro, que sin duda alguna hace proselitismo en favor del ateísmo y del reduccionismo. Para contrarrestar esas ideas, esta tercera parte hace referencia al *dios tapa-agujeros*, que a menudo se usa para desacreditar a los creyentes, un concepto paralelo a la *ciencia tapa-agujeros*, argumento en el que caen a menudo los ateos, al que Monod no es inmune. En este contexto, se señala que es absurda la fe de estos científicos en que la ciencia conseguirá explicarlo todo, porque está demostrado científicamente que hay cosas que la ciencia jamás conseguirá. Algunos de estos límites son teóricos (como los límites lógicos de las matemáticas y de la física), otros son prácticos, pero no por ello menos aplastantes que los teóricos. Y al final se niegan las tres afirmaciones, implícitas o explícitas, de Monod: que todo en el universo es consecuencia de un azar ciego, que Dios no existe, y que el libre albedrío y la espiritualidad son ilusiones.

Termina este texto con una bibliografía que recoge las fuentes citadas en este estudio y un segundo punto en el que se añaden unas pocas obras no citadas que puedan permitir al lector, si le interesa el tema, ampliar sus conocimientos sobre el mismo.

Deseo expresar mi agradecimiento a Francisco José Soler Gil, que me propuso que escribiera esta monografía, o que en su caso le proporcionara el nombre de otra persona que pudiera abordar el proyecto. Si decidí aceptarlo, fue porque hacía poco que había leído el libro de Monod, lo tenía fresco, y me pareció que eso me ayudaría a cumplir con este trabajo. En segundo lugar, a Francisco de Paula Rodríguez Valls, que aceptó con alegría la propuesta de Soler Gil de asignarme el proyecto. En tercer lugar, a los editores, que aceptaron rápidamente la propuesta de Rodríguez Valls. Escribir este estudio me ha resultado muy agradable, y espero que cumpla sus objetivos.

I – Jacques Monod y *El azar y la necesidad*

1.1 – Jacques Monod, su vida y su obra científica y literaria

Jacques Lucien Monod nació en París en 1910 y murió en Clos Saint-Jacques, Cannes, en 1976. Bioquímico francés, especializado en Genética y Biología Molecular, fue catedrático de Química en la Facultad de Ciencias de París. Trabajó en el Instituto Pasteur de París, que dirigió desde 1971 y del que fue secretario del Consejo de Administración.

Monod colaboró en la investigación durante años con su colega François Jacob. En 1961, ambos propusieron que debía existir un paso intermedio entre las moléculas gigantes de ADN (el ácido desoxirribonucleico), que contienen la información genética de un ser vivo, y la síntesis de las proteínas. Dicho paso debía ser una molécula de ácido ribonucleico (ARN) que transcribiera la información correspondiente a un solo gen. La molécula en cuestión fue descubierta poco después y recibió el nombre de ARN mensajero.

Como paso siguiente de su colaboración, Monod y Jacob propusieron y demostraron la existencia de genes reguladores, cuya única función es activar o inhibir otros genes, promoviendo o impidiendo la síntesis de ARN mensajero. Este descubrimiento les valió en 1965 el premio Nobel de Fisiología y Medicina, que compartieron con su compatriota André Lwoff, que investigó sobre los mecanismos utilizados por los virus para infectar a las bacterias.

A finales de los años 60, los dos investigadores confirmaron la existencia de los transposones, que había sido predicha en 1951 por Barbara McClintock, que obtuvo el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1983.

Monod obtuvo también la medalla de oro de la Sociedad para el Estímulo al Progreso (1967) y el título de doctor honoris causa por la Universidad Rockefeller de Nueva York (1970).

Activo en los movimientos sociales y de protección del medio ambiente que proliferaron a partir de mayo de 1968, en 1970 publicó una obra de divulgación muy conocida, *Le hasard et la nécessité (El azar y la necesidad)*, en la que sostiene puntos de vista materialistas y afirma que la vida es un fenómeno casual.

1.2 – Sinopsis de *El azar y la necesidad*

En su famoso libro de divulgación, Jacques Monod dijo que la evolución es consecuencia de la interacción, a través de la selección natural, de dos tipos de fenómenos: el *azar* (las mutaciones, las alteraciones ambientales) y la *necesidad* (la herencia, que asegura la conservación de las características biológicas). El libro, publicado en 1970, contiene un prefacio, nueve capítulos y cuatro apéndices.

Los capítulos son:

1. *Extraños objetos*. El título hace referencia a los seres vivos. Monod distingue en primer lugar entre objetos naturales y artificiales. Los segundos, que hacen referencia a los que han sido diseñados y construidos por los seres humanos, son *teleológicos*, consecuencia de un proyecto, los primeros, según él, no parecen serlo. Pero entre los seres naturales se encuentran los seres vivos, que poseen otra propiedad que Monod llama *teleonomía*¹, que debe distinguirse de la teleología² y significa *estar dotado de un proyecto*. Es decir, el proyecto lo tienen ellos, no sus creadores, que según Monod no existen. Resumiendo: en el mundo hay tres clases de seres: seres inanimados, que no han sido diseñados por nadie y no poseen proyecto propio; seres animados (seres vivos), que no han sido diseñados por nadie, pero que poseen proyecto propio; y seres artificiales, que han sido diseñados por otros (por nosotros), y que no poseen proyecto propio. El futuro de la inteligencia artificial abre la puerta al cuarto tipo de seres, que habrán sido diseñados por otros y que además poseerán proyecto propio. Pero esta es una posibilidad que Monod no contempla, que está muy lejos de poder ser realizada, y que podría incluso ser imposible.
2. *Vitalismos y animismos*. Según Monod, las teorías filosóficas relacionadas con la biología se dividen en dos grupos: vitalistas, que suponen que en los seres vivos actúa alguna fuerza o elemento no físico que les infunde la teleonomía, que sería exclusiva de ellos, y animistas, que extiende la teleonomía a todos los seres, vivos e inertes. En el primer grupo menciona especialmente a Bergson y su

¹ Del griego *telos*, "fin", "propósito", y *nomos* "norma".

² Del griego *telos*, "fin", "propósito", y *logos* "discurso", "tratado" o "ciencia".

famoso libro *La evolución creadora*. Hoy el vitalismo está prácticamente abandonado, y ya lo estaba cuando Monod escribió su libro. En el segundo grupo menciona a Teilhard de Chardin (*El fenómeno humano*), Spencer, Marx y Engels. Monod rechaza ambas posturas, pues no cree que sea necesario recurrir a ninguna fuerza más allá de la física para explicar la vida, y también se niega a admitir que los seres inertes puedan contener ningún elemento de teleonomía, que para él es absolutamente exclusiva de los seres vivos. Esta postura es coherente con su fe en el reduccionismo, de la que hablaremos en la segunda parte de este estudio.

3. *Los demonios de Maxwell*. Este capítulo es divulgativo y explica la bioquímica celular, especialidad de Monod, al nivel en que se hallaba a finales de los años sesenta. Monod define las células vivas (y por ende los seres vivos) como máquinas químicas muy complejas que funcionan automáticamente de forma ordenada y organizada, realizando miles de reacciones químicas gracias a la acción de las proteínas, especialmente las enzimas, que actuarían como demonios de Maxwell, pero no según la versión inicial que propuso Maxwell, que parece indicar que el segundo principio de la termodinámica podría ser violado, sino en la versión modificada por Leó Szilárd y Léon Brillouin, que elimina la paradoja a que conduce la versión de Maxwell.
4. *Cibernética microscópica*. Este capítulo y el siguiente son los más difíciles para quien no sepa mucho de bioquímica, porque en ellos Monod sube el nivel de la divulgación y habla de uno de sus temas favoritos de investigación, en el que por entonces podía considerársele uno de los mayores expertos del mundo. Trata aquí de la regulación de la acción de ciertas enzimas, llamados *alostéricos*, porque no se limitan a asociarse a un substrato, sino que son capaces de detectar la presencia de otras sustancias que los activan o los inhiben. El artículo³ que en 1965 publicó Monod junto con Jeffries Wyman y Jean-Pierre Changeux describiendo el funcionamiento de estas enzimas (el modelo MWC, por las iniciales de los tres autores) es uno de los más citados del mundo.

³ Jacques Monod, Jeffries Wyman et Jean-Pierre Changeux, "On the nature of allosteric transitions: A plausible model", *Journal of molecular biology*, 1965.

5. *Ontogénesis molecular*. Este es el segundo capítulo dedicado en profundidad a la bioquímica. Como su título indica, se trata de explicar de forma reduccionista el desarrollo de los seres vivos (la *ontogénesis*) en función de la estereoquímica de las moléculas de las proteínas. El objetivo es muy ambicioso, como demuestra el hecho de que ahora mismo, más de medio siglo después, seguimos sin explicar la morfogénesis autónoma de los seres vivos, que es mucho más compleja de lo que se suponía entonces, cuando se creía que todo estaba programado en el ADN. Esto es algo que Monod reconoce explícitamente en este capítulo, aunque opina que su análisis es un buen resumen del estado de la cuestión en ese momento.
6. *Invariancia y perturbaciones*. Para Monod, la invariancia de los seres vivos consiste en el hecho de que la herencia les permite transmitir el plan de su construcción física (su anatomía) y de su funcionamiento vital (su fisiología) a su descendencia. Por lo tanto, dicha invariancia se plasma en el ADN, que a través del código genético y de los mecanismos de traducción de cada gen a la proteína correspondiente dan lugar a la aparición en las células de la sopa de proteínas que les permite realizar sus funciones vitales. Eso sí, esa invariancia no es perfecta, porque en caso contrario la evolución sería imposible. El ADN de todo ser vivo puede sufrir perturbaciones, las mutaciones, cambios aparentemente mínimos, pero que pueden tener consecuencias favorables o desfavorables, sobre los que actuará la selección natural para que, en conjunto, estadísticamente, los individuos más adaptados a su ambiente dejen más descendencia que los menos adaptados. En este capítulo Monod diferencia los dos tipos de azar, a los que dedicaremos un apartado en la segunda parte de este estudio.
7. *Evolución*. Este capítulo es el más importante del libro, pues en él Monod describe los dos elementos que intervienen en la evolución biológica y que dan título al libro que estamos revisando: el *azar* y la *necesidad*. Una vez incorporada en una dotación genética, una mutación favorable, que llegó al ADN a consecuencia del azar, al ser favorecida por la selección natural, queda fijada definitivamente y es replicada por los mecanismos de la herencia, transmitiéndose en potencia a millones de individuos. Esto es lo que Monod

llama *necesidad*, que opera a la escala macroscópica del organismo individual, no a la escala microscópica de los genes. A Monod le sorprende la *paradoja de la estabilidad de las especies*, muchas de las cuales permanecen estables durante muchos millones de años, a pesar de la enorme cantidad de ruido que introducen en sus genomas las mutaciones.

8. *Las fronteras*. En este capítulo, Monod se plantea que nuestra reacción ante la maravilla de la vida puede inducirnos a llegar a la conclusión de que hay diseño. Lo plantea, por supuesto, para negarlo, para asegurar que, como el azar interviene en la evolución, no puede haber diseño, porque azar y diseño son incompatibles, según él. En este contexto, habla del origen de la vida, del origen del sistema nervioso central, y de su uso para hacer predicciones que influyan en el comportamiento. Para Monod, estos problemas (cuya solución es de momento desconocida, misteriosa) constituyen las fronteras actuales de la biología.
9. *El reino y las tinieblas*. El último capítulo del libro tiene un título sorprendente. La palabra *reino* se refiere aquí al mundo de las ideas, a la evolución cultural, que anticipándose a Richard Dawkins, Monod considera regida en parte por reglas similares a la evolución biológica, aunque también las hay diferentes. En cuanto a las *tinieblas*, se refiere al abismo en que nos encontramos como consecuencia del avance de la ciencia, que podría llevarnos a la extinción en una guerra nuclear total, o de alguna otra forma aun peor. El libro termina con una frase significativa: *Igual que su destino, su deber no está escrito en ninguna parte. Puede escoger entre el Reino y las tinieblas*. Donde, como se ve, reincide en el fondo que subyace todo el libro.

Los apéndices tratan sobre:

1. *Estructura de las proteínas*. En este apéndice Monod explica cómo se forman las proteínas por combinación lineal de componentes pequeñas llamadas aminoácidos, de los que los seres vivos utilizan 20 (aunque hay muchos más). De ellos, 11 son hidrófilos (porque pueden unirse a moléculas de agua) y 9 son hidrófobos, que rechazan las moléculas de agua. Aunque los aminoácidos que forman una proteína se conectan uno tras otro, en línea, usualmente se disponen en estructuras tridimensionales complejas, que dan lugar a proteínas globulares con muchos entrantes y salientes, que en algunos casos les permiten engancharse

unas con otras. La presencia de los aminoácidos hidrófobos explica la preponderancia de esta forma, puesto que huyen del agua, y son más estables cuando están separados por sus hermanos hidrófilos del agua que les rodea por todas partes.

2. *Ácidos nucleicos.* Aquí Monod explica la estructura de los ácidos nucleicos, que pueden ser de dos tipos: ADN, que es el almacén genético de la célula, y ARN, que desempeña otros papeles. Todos los ácidos nucleicos están formados por cierto número de componentes pequeñas llamadas *nucleótidos*, que contienen un azúcar con cinco átomos de carbono, una molécula de ácido fosfórico, y una base nitrogenada. En el caso del ADN (*ácido desoxirribonucleico*), el azúcar es la desoxirribosa y las bases nitrogenadas son cuatro: adenina, guanina, citosina y timina. En el ARN (*ácido ribonucleico*) el azúcar es la ribosa y la timina es sustituida por el uracilo. También explica en este apéndice la estructura en doble hélice del ADN, que fue descubierta por Watson, Crick y Rosalind Franklin.
3. *El código genético.* Este apéndice cuenta con detalle el código genético en su versión ARN, en lugar de la versión ADN que a veces se utiliza. Monod explica aquí su descubrimiento del *ácido ribonucleico mensajero*, que sirve como intermediario entre el ADN y los orgánulos en donde los genes se traducen en las proteínas que representan. Monod explica el funcionamiento de la transcripción, que se realiza con ayuda de corpúsculos celulares llamados ribosomas.
4. *Sobre la significación del segundo principio de la termodinámica.* En este apéndice, Monod explica las consecuencias del segundo principio de la termodinámica, uno de los puntales de la física, que muchos físicos encuentran dificultades en aceptar, pero que Arthur Eddington defendió con las siguientes palabras: *Si tu teoría se opone al 2º Principio de la Termodinámica... le espera el colapso en la más profunda humillación*⁴. Monod menciona también la equivalencia moderna entre las dos formas de la entropía, la termodinámica y la asociada a la teoría de la información, que fue utilizada por Léon Brillouin para eliminar la paradoja asociada al demonio de Maxwell, como vimos en relación con el capítulo 3 del libro.

⁴ Eddington, A. *The Nature of the Physical World*, 1928.

II – Revisión crítica de *El azar y la necesidad*

2.1 – La vida según Monod

Monod considera a la célula viva como una máquina química muy compleja, que funciona de forma coherente e integrada gracias a ciertos mecanismos de regulación a los que califica de *sistemas cibernéticos*, haciendo referencia a la ciencia o tecnología bautizada por Norbert Wiener como *cibernética*, en su libro *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, publicado en inglés en 1948, con una segunda edición en 1961, ampliada con dos capítulos adicionales. Curiosamente, aunque Monod utiliza ampliamente en su libro el término *cibernética*, no menciona a Wiener, que sin embargo toca algunos puntos coincidentes con los que describe Monod.

Monod define los seres vivos mediante tres propiedades: la *teleonomía*, que consiste en el hecho de que *los seres vivos tienen un proyecto*; la *morfogénesis autónoma* (el hecho de que se desarrollan por sí mismos); y la *invariancia reproductiva* (el hecho de que son capaces de reproducirse conservando sus propiedades genéticas). Esta definición de Monod se diferencia de la de H.J. Muller, que en 1966 (cuatro años antes) definió un ser vivo como *todo ser capaz de reproducirse con herencia y variación*.

De acuerdo con los criterios de los que parte Monod, los seres que contiene el universo podrían dividirse en tres grupos: los seres inertes, que no tienen proyecto propio ni han sido diseñados por nadie; los seres vivos, que tienen proyecto propio, pero no han sido diseñados por nadie; y las obras del hombre, que no tienen proyecto propio y han sido diseñadas por alguien (por el hombre). Falta un último grupo: el de los seres que tuvieran proyecto propio, habiendo sido diseñados por alguien. Podríamos suponer que hipotéticas inteligencias artificiales podrían desempeñar este papel. Pero si se parte de que Dios existe, el resultado es diferente, porque todos los seres del universo serían de algún modo parte del diseño realizado por Dios, y su única distinción sería tener proyecto propio o no tenerlo (seres vivos o inertes). Finalmente, si se admiten las ideas de Teilhard de Chardin, incluso los seres inertes tendrían proyecto propio, aunque fuese de forma incipiente e indetectable.

Curiosamente, Muller pone más énfasis en la variación (las *mutaciones*), que hace posible la evolución, mientras Monod enfoca más sobre la invariancia (la herencia), que hace posible la reproducción, sin olvidar, eso sí, las mutaciones. Podría pensarse que las dos visiones son opuestas, pero en realidad son complementarias. La reproducción es *casi invariante*, y Monod se fija principalmente en la invariancia (sin olvidar el *casi*), mientras Muller se fija sobre todo en el *casi* (sin olvidar la invariancia).

Se observará que la definición de Muller se aplicaría a los ácidos nucleicos aislados, que son capaces de reproducirse (con ayuda de ciertas proteínas) con herencia y variación (las *mutaciones*). Para evitarlo, John Maynard Smith modificó así la definición de Muller: *Un ser vivo es capaz de reproducirse y de metabolizar*⁵. En cierto modo, la definición de Monod va en esa línea, puesto que además de la reproducción (casi) invariante, añade la propiedad de la teleonomía, que aunque no es lo mismo que el metabolismo, podría considerarse relacionada con él, puesto que el proyecto propio de los seres vivos, que es lo que significa la teleonomía, consiste precisamente en el conjunto de actividades que les permiten metabolizar (y por tanto, seguir viviendo) y reproducirse. Por lo tanto, podríamos decir que Monod se anticipó a John Maynard Smith en la definición de la vida más aceptada hoy día. Maynard Smith, sin embargo, no habla de la teleonomía, un concepto propio de Monod.

De las tres propiedades de los seres vivos, Monod considera la *morfogénesis autónoma*, la capacidad de los seres vivos de construirse a sí mismos, como inferior a las otras dos, como un simple mecanismo que, según él, *reposa en las propiedades de reconocimiento estereoespecífico de las proteínas*, o sea, en el hecho de que las proteínas son capaces de reconocerse mutuamente a través de su forma, de su distribución tridimensional en el espacio que les permite ajustarse unas con otras y combinarse entre sí. Esto no obsta para que reconozca que el desarrollo autónomo de los seres vivos es uno de los problemas pendientes de la biología.

Como se sabe, una proteína contiene entre 100 y 10.000 aminoácidos, sustancias químicas mucho más sencillas, que se concatenan linealmente entre sí. El número de aminoácidos que se conocen, o que ha sido posible sintetizar, es de unos 500, pero de estos, el número de los que utilizan todos los seres vivos es bastante reducido, solo 20

⁵ Maynard Smith, J. *The problems of biology*. Oxford University Press, 1986.

(o en algún caso 21 o 22). Con estas 20 piezas se construyen miles y miles de proteínas diferentes. Y la estructura de esas proteínas está codificada en las moléculas gigantes de los ácidos nucleicos, especialmente el ADN.

Una molécula de ADN es una cadena lineal gigantesca formada por componentes más sencillas, los *nucleótidos*, cada uno de los cuales está formado por una molécula de cierto azúcar con cinco átomos de carbono (la *desoxirribosa*) unida a una molécula de ácido fosfórico y a una base nitrogenada, de las que hay cuatro tipos diferentes: adenina, guanina, timina y citosina. Las dos primeras pertenecen al grupo químico de las purinas, las otras dos al de las pirimidinas. Por lo tanto, hay cuatro tipos diferentes de nucleótidos.

Sabemos que en las proteínas intervienen 20 aminoácidos diferentes. Sin embargo, solo hay cuatro nucleótidos distintos en el ADN. ¿Se pueden representar 20 aminoácidos con solo cuatro bases? Evidentemente no. Y con parejas de nucleótidos solo se podrían representar 16 aminoácidos, como mucho. Como son 20, dos nucleótidos no son suficientes: hacen falta tres.

Un gen es una parte de una macromolécula de ADN que codifica la estructura de una proteína determinada. Para ello, el ADN hace uso de un código genético que representa la sucesión de los aminoácidos de la proteína por medio de una sucesión de nucleótidos (o sea, de bases nitrogenadas). En el código genético, cada aminoácido viene representado por una sucesión de tres bases nitrogenadas consecutivas (un *codón*).

El número de aminoácidos diferentes que se pueden representar con tres nucleótidos es igual al número de combinaciones posibles de las cuatro bases tomadas de tres en tres, que vale $4^3=64$. Este número es más que suficiente para representar a los 20 aminoácidos, incluso teniendo en cuenta que algunos codones no representan un aminoácido, sino que indican dónde está el final de la cadena (dónde termina el gen) a los mecanismos de traducción de ADN a proteína, por lo que en definitiva se necesitan 21 códigos diferentes. ¿Qué solución hay? Evidentemente, que algunos aminoácidos estén representados por varios codones, lo que se llama *degeneración del código genético*. Dicho de otro modo, el código genético es redundante, pues un mismo aminoácido puede ser representado hasta por seis codones diferentes.

La cantidad de información contenida en la secuencia de aminoácidos de una proteína formada por n aminoácidos es igual a $\log_2 20^n = n \times \log_2 20 = 4,321928 \times n$. Para $n=100$, este valor es igual a 433 bits. En realidad, debido a la redundancia del código genético, el ADN utiliza más bits para representar la misma secuencia: $\log_2 4^{3n} = 6n$, que para $n=100$ vale 600 bits. Monod habla de 450 bits, que es un número bastante aproximado, aunque en la traducción del libro que yo poseo ese número aparece transformado en 2000, que es evidentemente erróneo.

La traducción de un gen para generar la proteína correspondiente se realiza en varias fases separadas, por medio de diversas moléculas de ácidos nucleicos (en este caso ARN). Primero se extrae el gen del ADN y se traduce a ARN mensajero (un proceso descubierto por Monod). Después, en un orgánulo celular llamado *ribosoma*, el ARN mensajero sirve de base para la construcción de la proteína, con la ayuda de un conjunto de moléculas muy cortas de ARN (el ARN de transferencia) del que existen tantas versiones como codones que representan a los 20 aminoácidos en los genes del ADN.

En 1958, Francis Crick, uno de los descubridores de la estructura tridimensional del ADN, publicó un artículo⁶ en el que formuló lo que él llamó *el dogma central de la biología molecular*, que podemos resumir así: *Toda la información está en los genes. La transferencia de dicha información se verifica siempre de ácido nucleico a ácido nucleico, o de ácido nucleico a proteína, pero nunca de proteína a proteína, o de proteína a ácido nucleico.*

Curiosamente, Monod no estuvo de acuerdo con el uso que hizo Crick de la palabra *dogma*, que le parecía demasiado fuerte, y se lo dijo a Crick, quien se disculpó aduciendo que, cuando la usó, él no conocía el significado exacto de la palabra *dogma*⁷.

Sin embargo, cuando Monod escribió *El azar y la necesidad*, y hasta finales del siglo XX, el dogma de Crick, representado por la figura 1, se consideraba intocable. De hecho, Monod lo presenta así en el capítulo 6, donde dice: *el mecanismo de la traducción es estrictamente irreversible. Ni se ha observado ni es concebible que la información sea jamás transferida en el sentido inverso, es decir, de proteína a ADN.*

⁶ Crick, F.H. "On Protein Synthesis", 1958.

⁷ Crick, F. *What mad pursuit: A personal view of scientific discovery*, autobiografía de Francis Crick, 1988.

Esta noción se apoya en un conjunto de observaciones tan completas y tan seguras hoy en día, y sus consecuencias en la teoría de la evolución... son tan importantes, que se la debe considerar como uno de los principios fundamentales de la biología moderna... no existe ningún mecanismo concebible por el que una instrucción o información cualquiera pueda ser transmitida al ADN.

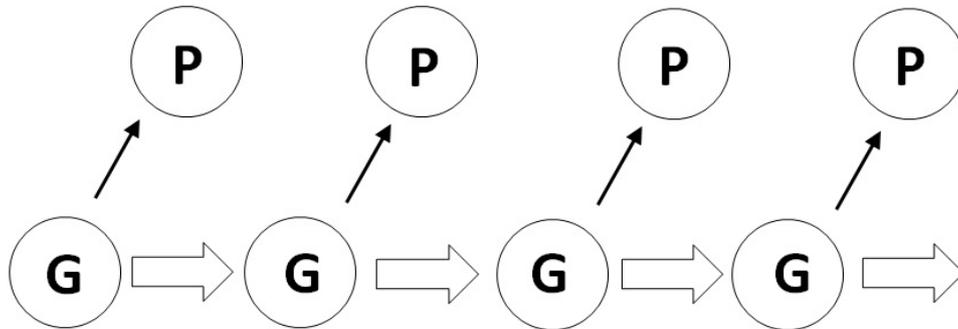


Figura 1

El párrafo anterior es un buen ejemplo de cómo incluso los mejores investigadores pueden decir cosas que los avances posteriores de la ciencia acabarán dejando obsoletas.

La epigenética y los avances que han tenido lugar en el estudio del desarrollo embrionario han llevado a la conclusión de que *el dogma central de la biología molecular no es tan intocable como se pensaba*. Las proteínas regulan la expresión de los genes, por lo que sí se produce realimentación desde ellas hacia los ácidos nucleicos. En consecuencia, la relación entre genotipo y fenotipo es más compleja de lo que pensaban Crick y Monod, y se adapta más bien a la figura 2.

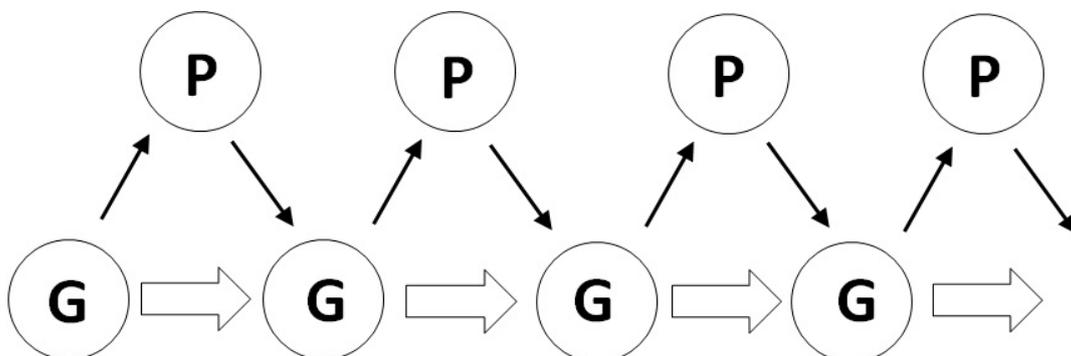


Figura 2

Cuando el número de aminoácidos es pequeño, las proteínas se llaman *oligómeros*, palabra de origen griego que significa literalmente *pocas partes*. La sucesión de aminoácidos puede adoptar dos formas diferentes: o bien da lugar a una estructura lineal, fibrosa, o bien los aminoácidos se contorsionan y se retuercen para formar estructuras espaciales complejas (*proteínas globulares*).

Las enzimas son proteínas globulares que utilizan los entrantes y salientes de su estructura para encajar con los de otras proteínas y ayudar a estas a unirse químicamente. Las enzimas desempeñan el papel de catalizadores, que facilitan la realización de reacciones químicas entre otras sustancias, mientras ellos permanecen inalterados.

Monod llama *demonios de Maxwell* a las proteínas globulares. ¿Qué es el demonio de Maxwell? Un término introducido en 1867 por James Clerk Maxwell, el creador de la teoría electromagnética que unificó la electricidad y el magnetismo, para sugerir una manera de violar el segundo principio de la termodinámica, que afirma que en un sistema aislado la entropía no puede disminuir. Dicho de otro modo, no es posible pasar energía desde un cuerpo a temperatura más baja hasta otro que esté a temperatura más alta.

Para apuntar la posibilidad de una violación del segundo principio de la termodinámica, Maxwell diseñó un experimento mental basado en la siguiente situación: tenemos un recipiente separado en dos partes por una pared en la que hay una puerta. El recipiente está lleno de moléculas de gas, cuya temperatura es una medida de la velocidad de las moléculas. Junto a la puerta hay un demonio que, al ver acercarse por la izquierda una molécula rápida, abre la puerta y la deja pasar a la parte derecha; si ve acercarse una molécula lenta, cierra la puerta. Por el contrario, cuando ve acercarse por la derecha una molécula lenta, abre la puerta, y si ve una molécula rápida, la cierra. Al final del proceso, todas las moléculas rápidas están en el compartimiento de la derecha, mientras las lentas se han acumulado en el de la izquierda. Pero eso significa que el gas de la izquierda está a baja temperatura y el de la derecha a temperatura más alta, porque la temperatura de un gas no es otra cosa que la medida de la energía cinética de las moléculas. O sea, ha pasado energía de la parte más fría a la más caliente, se ha transgredido el segundo principio de la termodinámica.

A lo largo de siglo y medio ha habido muchas explicaciones de por qué el demonio de Maxwell no podría funcionar. Una de ellas (la que cita Monod) fue propuesta inicialmente por Leó Szilárd y mejorada por Léon Brillouin, que formuló un teorema que especifica que toda adquisición de información exige un gasto de energía. Es decir, el demonio de Maxwell tendría que identificar la velocidad con que se aproxima cada molécula, y para obtener esa información tendría que gastar una energía mayor que la que pasaría de un lado al otro del recinto cuya puerta de separación vigila el demonio, por lo que el segundo principio de la termodinámica seguiría cumpliéndose.

Monod señala que las proteínas se reconocen unas a otras para realizar la miríada de reacciones químicas que tienen lugar en las células vivas, y por tanto funcionan como demonios de Maxwell que obtienen información de su entorno, pero no transgreden el segundo principio de la termodinámica.

Monod investigó especialmente sobre el funcionamiento de cierto grupo de enzimas llamadas *alostéricas*, que intervienen en la regulación de los procesos que tienen lugar en el metabolismo, crecimiento y división de las bacterias, inhibiendo o activando cada uno de los pasos de dichos procesos. Estas enzimas son oligómeros, y están formados por elementos más pequeños llamados *monómeros* o *protómeros*. Cada enzima consta usualmente de 2 o 4 monómeros, aunque en algunos casos su número puede ascender a 6, 8 o 12.

La construcción de las enzimas alostéricas estudiadas por Monod es espontánea, porque cuando los monómeros están juntos y mezclados, se unen espontáneamente para formar oligómeros. Dichas uniones apenas requieren energía, porque los monómeros no se unen mediante enlaces covalentes, sino con enlaces químicos mucho menos energéticos, como los que se forman a través de puentes de hidrógeno.

Para Monod, la cibernética de las bacterias se puede explicar perfectamente apoyándose en sus investigaciones. Hasta cierto punto, esto puede ser verdad, aunque las cosas suelen complicarse a medida que se profundiza en ellas, y casi todos los modelos con los que hasta ahora se ha intentado resolver los problemas que plantea la biología han sido simplificados hasta tal punto, que es difícil justificar tal optimismo.

Por otra parte, Monod parece caer aquí en esa forma de chauvinismo propia de muchos investigadores que consiste en estar convencidos de que su campo de

investigación es esencial y crítico para comprenderlo todo. Sus investigaciones y experiencias en el campo de las enzimas serían, por lo tanto, la clave para comprender la vida. Prácticamente lo dice así:

En un sentido muy real, es en este nivel de organización química [el de las proteínas globulares] donde está, si es que lo hay, el secreto de la vida. Y si supiéramos, no ya describir estas secuencias, sino enunciar la ley de ensamblaje a la que obedecen, se podría decir que se ha penetrado el secreto, que se ha descubierto la ultima ratio.

Veremos más adelante que el pensamiento de Monod está limitado por su postura radicalmente reduccionista, que las palabras anteriores expresan con bastante claridad.

2.2 – El origen de la vida según Monod

El origen de la vida en la Tierra, que parece ser tuvo lugar hace al menos 3500 millones de años, es uno de los dos misterios más importantes de la biología. El otro es la aparición y el sentido de la consciencia humana, que los biólogos y los neurocientíficos llaman *el problema difícil*.

Más que un problema científico, el origen de la vida es un problema histórico. Se trata de un hecho que sabemos seguro que ocurrió, pero no sabemos cómo ni cuándo, y no tenemos ninguna esperanza de encontrar restos fósiles que resuelvan el problema. El primer ser vivo, que recibe el nombre hipotético de LUCA⁸, si es que hubo un solo antepasado común, porque hay teorías que hablan de una red de seres primitivos diferentes, tuvo que ser microscópico, y aunque se han detectado algunos fósiles microscópicos, es imposible saber si alguno de ellos fue el primero, o no. Casi seguro que no.

Una de las esperanzas para descubrir algo más sobre el origen de la vida es el campo de la *biología sintética*, que tiene por objeto la construcción de seres vivos artificiales en el laboratorio, un campo en el que, a pesar de algunos avances recientes,

⁸ Siglas de *Last Universal Common Ancestor*, o “último antepasado común universal”, puesto que LUCA, si existió, fue antepasado de todos los seres vivos, sin excepción.

estamos aún muy lejos de construir células vivas artificiales que no utilicen, como punto de partida, los mecanismos ya existentes en otras células vivas.

En 1960 se predecía que hacia 1970 sería posible fabricar células vivas en el laboratorio. En su libro de 2014, Craig Venter⁹ no lo ve muy lejano, quizá para 2030. Es verdad que hemos avanzado mucho, que se han dado pasos de gigante, como la transferencia de ADN de una especie a otra (cambio artificial de especie biológica) y la introducción de ADN sintético en una célula viva en sustitución del suyo, pero el objetivo final parece estar siempre a la misma distancia, o incluso un poco más lejos. Por otra parte, después de estos avances el origen de la vida sigue siendo un misterio. El ser más sencillo capaz de hacer vida independiente (la bacteria *Mycoplasma genitalium*) es enormemente complicado y probablemente está a años-luz de LUCA.

Monod distingue tres etapas en el proceso que llevó en la Tierra a la aparición de la vida:

1. La formación de las componentes químicas fundamentales: los aminoácidos y las bases nitrogenadas de los nucleótidos (purinas y pirimidinas).
2. La formación, a partir de esas componentes elementales, de las macromoléculas correspondientes (proteínas y ácidos nucleicos).
3. La evolución de estas macromoléculas hasta dar lugar a la primera célula viva, que ya dispondría del código genético para asegurar su supervivencia y su reproducción (lo que Monod llama *teleonomía*).

Es evidente a simple vista que los tres pasos son muy diferentes. El primero es relativamente simple, como demostraron en los años 50 del siglo XX Stanley Lloyd Miller, que obtuvo aminoácidos tras someter a descargas eléctricas una mezcla de metano, hidrógeno, amoníaco y agua, y Juan Oro, que obtuvo adenina. La síntesis de estas sustancias es tan sencilla, que se las ha detectado incluso en meteoritos y asteroides (como en las muestras traídas recientemente del asteroide Bennu), lo que ha dado pábulo a la teoría de que esas sustancias fueron aportadas a la Tierra por astros de ese tipo, cuando es mucho más sencillo suponer que se generaron espontáneamente

⁹ Venter, C. *Life at the speed of Light*, 2014.

aquí, puesto que su síntesis es tan fácil y el entorno terrestre primitivo mucho más adecuado para ello.

La espontaneidad del segundo paso es un poco más difícil, aunque sí es fácil dar los primeros pasos, uniendo unos pocos aminoácidos para formar proteínas incipientes, las cadenas oligopeptídicas, que como su nombre indica están formadas por unos pocos aminoácidos (péptidos) conectados linealmente entre sí.

El paso realmente difícil es el tercero, que probablemente será necesario descomponer en varios pasos más, y no tenemos la menor idea de cómo pudo llevarse a cabo. Monod lo reconoce: *Las células más simples que podemos estudiar no tienen nada de "primitivo". Son el producto de una selección que ha podido acumular... un aparato teleonómico tan poderoso que los vestigios de las estructuras verdaderamente primitivas son indiscernibles. Reconstruir sin fósiles semejante evolución es imposible.*

Después de la muerte de Monod, los teóricos sobre el origen de la vida han ideado dos posibles pasos que podrían descomponer el gran salto correspondiente a la tercera etapa de Monod:

- *Autocatálisis*: se aplica este término a un producto químico que cataliza una reacción que genera el mismo producto químico. Un *autocatalizador* es una sustancia química capaz de reproducirse bajo ciertas condiciones. Se conocen varias sustancias autocatalíticas, como algunas *ribozimas*, que son moléculas de ARN con capacidad catalítica.
- *Autopoyesis*: un sistema complejo, separado del entorno, organizado como una red de procesos y componentes que interaccionan, se transforman, y regeneran la red de procesos que los produjo, o sea, capaz de reproducirse¹⁰.

Una célula viva es un sistema autopoyético, pero podría haber otros, como las hipotéticas máquinas auto-reproductoras de Norbert Wiener¹¹, que probablemente nadie consideraría vivas. Algunos biólogos consideran seres vivos a todos los sistemas autopoyéticos. Otros van más lejos e incluyen también los sistemas autocatalíticos. La verdad es que, a estas alturas, en la frontera, no tenemos muy claro qué está vivo y qué no, como vimos en el apartado 2.1 al hablar de la definición de la vida. Antes de abordar

¹⁰ Maturana, H.R., Varela, F.J., *Autopoiesis and Cognition: the Realization of the Living*, 1980.

¹¹ Wiener, N. *Cybernetics*, 1948 y 1961.

el problema del origen de la vida, o de pensar en crear vida, deberíamos resolver esta cuestión, que se encuentra en la frontera entre la ciencia y la filosofía.

Otro de los problemas adicionales en el camino hacia la vida es el origen del código genético. Como vimos en el apartado 2.1, el código genético permite que las células vivas representen la secuencia de aminoácidos de las proteínas por medio de cadenas de ADN.

Aunque el código genético es casi idéntico para todos los seres vivos, se han descubierto algunas variantes. Por ejemplo, el ADN de las mitocondrias (corpúsculos celulares de las células eucariotas que posiblemente son bacterias primitivas que se adaptaron a vivir en simbiosis con otras células vivas) utiliza un código ligeramente diferente. También hay pequeños cambios en algunas especies de hongos y de bacterias. Pero el hecho de que el código sea casi idéntico para todos es un indicio de que su origen fue único.

Algunos investigadores piensan que el código genético es mejorable, que se podría diseñar uno mejor. Otros no están de acuerdo, pues este código minimiza los efectos deletéreos de las mutaciones, ya que una mutación en la tercera base de un codón pocas veces hace efecto sobre la proteína representada por el gen, lo cual reduce un poco el efecto de las mutaciones, que usualmente suele ser negativo.

No se sabe cómo se originó el código genético. Actualmente hay dos maneras principales para intentar explicarlo. Ambas suponen que el código genético tenía que ser como es por alguna razón que aún no conocemos, pero difieren en la forma de enfocar el problema.

a) Propuestas desde arriba hacia abajo (*top-down*), que parten del comportamiento global para deducir los detalles, estudiando las semejanzas químicas de los aminoácidos que representan los distintos codones, la complementariedad de los codones, los posibles efectos de cambios en el código, y la redundancia. Como dice Monod, *si cierto código ha sido “escogido” para representar a cierto aminoácido, debe existir entre ellos cierta afinidad estereoquímica.*

b) Propuestas de abajo hacia arriba (*bottom-up*), que parten del comportamiento a bajo nivel para deducir las propiedades del sistema global, estudiando cómo pudieron originarse las asociaciones entre los codones y los

aminoácidos que representan, si esas asociaciones son accidentales o necesarias, y el posible doble papel del ARN como *ribozima* (codificador y enzima).

Otra alternativa es que el código sea arbitrario, que no haya ninguna razón que obligue a que cierto codón represente a cierto aminoácido, en cuyo caso habría surgido al azar. A Monod no le gusta esta posibilidad, pero no la excluye. Si esto fuera cierto, no tendríamos una explicación plausible del hecho de que el código genético sea universal. En principio, cerca del origen de la vida podrían haber aparecido distintos códigos genéticos, de los que solo uno habría sobrevivido. ¿Por qué? Eso nadie lo sabe.

Un último punto considerado por Monod a este respecto es la probabilidad *a priori* de la aparición de la vida. ¿Era alta, o era pequeña? Si el suceso ha ocurrido una sola vez, en la Tierra, y quizá también en otros planetas de nuestra galaxia, hay que llegar a la conclusión de que dicha probabilidad era muy pequeña. Según Monod, *esta idea repugna a la mayor parte de los hombres de ciencia. De un acontecimiento único la ciencia no puede decir ni hacer nada... No tenemos derecho a afirmar ni negar que la vida haya aparecido una sola vez sobre la Tierra y que, en consecuencia, antes de que existiera, su probabilidad fuese casi nula.*

2.3 – El evolucionismo según Monod

Cuando Charles Darwin publicó en 1859 *El origen de las especies por la selección natural*, que introdujo la evolución en el pensamiento biológico moderno, no era el primero que lo hacía. Antes que él, Jean-Baptiste de Monet, Caballero de Lamarck, había propuesto una teoría según la cual los seres vivos procuran adaptarse a su entorno y al hacerlo producen cambios en su propio cuerpo, cambios que serán heredados por sus descendientes. Así, los antepasados de las jirafas se esforzarían por alcanzar las hojas situadas en la parte más alta de los árboles, y al estirar su cuello lo prolongarían ligeramente. Sus hijos heredarían automáticamente ese cuello más largo.

Basándose en las experiencias de selección artificial de animales y plantas útiles para el hombre, Darwin rechazó las teorías de Lamarck y propuso que la evolución tiene lugar por la acción de la *selección natural*, que tiene como consecuencia que los seres vivos más adaptados a su entorno dejen más descendencia que los menos adaptados. Así, en el caso de las jirafas, la gran longitud de su cuello no sería consecuencia de los

esfuerzos de sus antepasados, sino de la acumulación casual de alargamientos espontáneos que irían teniendo lugar a lo largo de muchas generaciones, y que serían favorecidos por la selección natural al permitir que los animales dotados de ese rasgo alcanzaran alimentos que no estaban disponibles para los demás.

Monod rechaza la idea de que la evolución tiene lugar como una feroz *lucha por la vida*, en la que los seres más adaptados compiten contra sus congéneres menos adaptados y los eliminan, y añade que esta idea no fue propuesta por Darwin, sino por Herbert Spencer, quien sacó de ella consecuencias para la sociedad humana. Sin embargo, no se puede negar que en la vida de muchos seres la lucha desempeña un papel importante. Para los predadores, es esencial para alimentarse. Para muchos, interviene en la consecución y mantenimiento de un territorio y para el apareamiento. Incluso cuando se trata de seres que podríamos considerar pacíficos, cuya vida no parece estar sometida a grandes vaivenes, la lucha puede desempeñar un papel. Por ejemplo, las anémonas de mar entablan a veces combates encarnizados por el territorio, en las que los dos contendientes, armados con sus arpones envenenados, se enzarzan hasta que una de ellas se da por vencida y abandona la lucha. Dos babosas, compitiendo por un sitio adecuado para poner sus huevos, pueden luchar hasta la muerte. Una rata derrotada en una pelea se aparta a veces a un rincón para morir. Es cierto que muchas especies han desarrollado combates intraespecíficos ritualizados en los que la sangre no llega al río, porque el perdedor reconoce su derrota de forma incruenta, pero existen numerosas excepciones y no se puede negar que a veces la lucha termina con la muerte de uno de los contendientes.

El problema con la teoría de Darwin es que era incompleta. Explicaba cómo evolucionaban las especies acumulando cambios, pero no abordaba dos cuestiones fundamentales: cómo se producen los cambios y cómo se transmiten a la descendencia. Le faltaban las dos componentes fundamentales del *azar* y la *necesidad*.

Hoy pensamos que la evolución biológica es el resultado de la interacción compleja de cinco factores distintos:

1. La variabilidad genética de los organismos, que a su vez es el resultado de la interacción de sus genes con un conjunto enorme de factores externos e internos que producen mutaciones (radiación natural o artificial, sustancias químicas diversas) o reorganización del genoma (recombinación genética

durante la reproducción sexual, que baraja los genes, etcétera), a menudo impredecibles o desconocidos, por lo que usualmente se consideran efecto del *azar*.

2. El medio ambiente, que está sometido a variaciones que, en conjunto, podemos considerar aleatorias, al menos desde el punto de vista de los seres vivos, y que por tanto serían también efecto del *azar*.
3. La herencia biológica, que asegura que dichas mutaciones serán transmitidas a la descendencia y sometidas a la acción de la selección natural. En la formulación de Jacques Monod, este factor representa la *necesidad*.
4. La selección natural, que consiste esencialmente en la constatación de que los individuos más adaptados a su ambiente tienen más probabilidades de dejar descendencia.
5. Las reglas básicas del juego (las leyes físicas que rigen el universo). Dependiendo de qué leyes estemos hablando, esta componente puede considerarse parte del *azar* (mecánica cuántica) o de la *necesidad* (relatividad general).

En su libro *El azar y la necesidad*, Jacques Monod llama *azar* al primer factor: las mutaciones y recombinaciones de los genomas. Llama *necesidad* al tercer factor, la herencia, que asegura que dichas mutaciones y recombinaciones serán transmitidas a la descendencia y sometidas a la acción de la selección natural. No menciona directamente en este contexto el segundo factor, el medio ambiente. El quinto factor tampoco lo menciona (y no suele mencionarse), pero últimamente se le ha dado más importancia al descubrirse que las leyes del universo parecen estar finamente ajustadas para hacer posible la vida y su evolución.

El primer factor, la variabilidad genética de los organismos, es consecuencia de la versatilidad del código genético, que se basa en dos constataciones distintas e independientes:

La primera es el hecho de que los 20 aminoácidos pueden unirse unos con otros indistintamente, que no existe ninguna restricción que, por ejemplo, hiciera necesario que después de cierto aminoácido, tuviera que venir otro. Esto significa que

prácticamente todas las combinaciones posibles de los 20 aminoácidos darían lugar a proteínas viables. (Otra cosa es que todas sean funcionalmente útiles). El número de proteínas con 100 aminoácidos que se puede formar, en teoría, con los 20 aminoácidos diferentes, es igual a 20^{100} , que es mayor que 10^{130} , un número enorme, que se expresa con un uno seguido de 130 ceros, y que es muchísimas veces mayor que el número de partículas elementales (electrones, protones y neutrones) que se calcula contiene el universo visible. Si añadimos el resto de las proteínas (las que tienen entre 101 y 10.000 aminoácidos) el número de proteínas diferentes posibles se hace casi incalculable.

La segunda constatación es que los *nucleótidos* que forman parte del ADN también pueden unirse unos a otros, cualquiera que sea la base nitrogenada que lleva asociada cada uno. Esto se debe a que la unión se verifica a través del azúcar y el ácido fosfórico, cuyas moléculas alternadas forman el eje lineal de la molécula de ADN, mientras las bases nitrogenadas, que se unen químicamente a la molécula de azúcar, quedan asociadas a dicho eje mirando hacia fuera. Por otra parte, las cuatro bases nitrogenadas pueden unirse unas a otras por medio de enlaces más débiles, de puente de hidrógeno, pero en este caso la adenina siempre se une con la timina, y la guanina con la citosina (o sea, una base púrica con una pirimidínica). Esto hace posible que la cadena de ADN sea doble, pues los nucleótidos de ambas cadenas, si son complementarios, pueden unirse entre sí formando la famosa estructura en doble hélice que fue descubierta en 1953 por James Watson, Francis Crick y Rosalind Franklin.

De ambas constataciones se sigue que la estructura de cualquier proteína (la sucesión de sus aminoácidos) puede ser representada por una o más cadenas de ADN (una o más, debido a la redundancia del código genético), a pesar del número enorme de proteínas posibles. Aunque en teoría es posible un número enorme de ambas especies químicas, tanto las proteínas como los genes que las representan serían viables.

Pues bien: los nucleótidos que forman parte del ADN pueden verse sometidos a variaciones aleatorias, que se llaman *mutaciones*, y que consisten en que uno de los cuatro nucleótidos de la cadena puede ser sustituido por otro. Esto puede ocurrir debido a la acción de varios tipos diferentes de *mutágenos*, que pueden ser productos químicos como el ácido nitroso; radiaciones electromagnéticas como los rayos ultravioletas, rayos X y rayos gamma; ultrasonidos de frecuencia de unos 400 kilohercios o más; o seres

vivos como virus, bacterias u hongos. Las mutaciones fueron descubiertas en el año 1901 por el biólogo holandés Hugo de Vries.

Debido a la redundancia del código genético, el resultado de la mutación de un gen puede ser imperceptible, si un nucleótido de un codón es sustituido por otro que codifica el mismo aminoácido. O puede que cause que el gen codifique en ese punto un aminoácido diferente, en cuyo caso el gen completo dará lugar a una proteína distinta, que debido a su estructura tridimensional puede actuar de la misma manera que la antigua o de otra manera diferente. El cambio puede ser desfavorable (porque causa la pérdida de la funcionalidad de la proteína original), neutral (si no cambia nada), o puede ser favorable, permitiendo al organismo realizar alguna acción que antes no podía hacer. En principio, los cambios desfavorables serán eliminados por la selección natural, mientras que los neutrales serán mantenidos y los favorables serán favorecidos y multiplicados.

Otro elemento del azar que afecta a los genomas de los individuos es la *recombinación genética*. La reproducción sexual permite que la evolución avance más deprisa, pues cada nuevo individuo tiene un genoma único, resultado de la combinación de parte de los genomas de su padre y de su madre. En cambio, los seres que se reproducen asexualmente suelen dar lugar a clones de su único progenitor. Por otra parte, y de modo aleatorio, los genes de origen paterno y materno pueden intercambiarse en los cromosomas del hijo como resultado de la recombinación genética, que multiplica aun más el barajamiento de los genes y su distribución a las generaciones sucesivas.

La recombinación genética no solo tiene lugar durante la reproducción, sino que también desempeña un papel en circunstancias ordinarias durante la vida del ser vivo. Monod pone como ejemplo la generación de ciertas proteínas, los *anticuerpos*, que se oponen al ataque de microorganismos invasores, como las bacterias y virus que producen enfermedades. El número de especies de los atacantes es tan grande, que los genomas de los seres vivos tendrían que ser enormes para poder generar todos los anticuerpos posibles. La evolución ha conducido a los seres vivos a encontrar una solución diferente, mucho más ahorrativa. Todos los anticuerpos son generados por unos pocos genes, pero antes de convertirlos en proteínas, sus nucleótidos se redistribuyen aleatoriamente, de manera que un solo gen es capaz de generar numerosas proteínas

diferentes. Cuando se produce el ataque de un microorganismo patógeno, este proceso se pone en marcha, y en cuanto se detecta un anticuerpo capaz de enfrentarse con éxito contra el microorganismo, dicho anticuerpo empieza a ser producido en grandes cantidades, abandonando la generación de los demás. Monod hace hincapié en que este proceso aleatorio forma parte de la componente de azar de la evolución.

Esta conclusión podría convertirse en una forma de razonamiento circular. Una cosa es que la aparición al azar de mutaciones en los genomas haga posible la evolución, y otra cosa muy diferente es que la evolución haya hecho posible que los seres vivos sean capaces de utilizar el azar para mejorar su salud combatiendo con éxito las infecciones. Esta forma de intervención del azar en la recombinación genética es el resultado, no el causante de la evolución. Por lo tanto, debería analizarse de otra manera, pero Monod no cae en ello y los mezcla, en mi opinión indebidamente, y lo que es peor, trata de sacar de ahí conclusiones en favor de sus teorías subyacentes, de las que hablaremos más adelante.

Pasemos al segundo factor aleatorio que interviene en la evolución de los seres vivos: el ambiente. De acuerdo con la teoría de Darwin, una especie biológica puede estar muy bien adaptada a su ambiente, pero si este cambia (y ya hemos visto que esos cambios parecen aleatorios), dicha adaptación puede perderse, en cuyo caso la especie en cuestión podría quedar súbitamente inadaptada, e incluso extinguirse. Es cierto que, como señala Monod, los seres vivos se aíslan bastante de su ambiente, que llegan a ser *autónomos* hasta cierto punto respecto a él, y que en las relaciones mutuas entre ser vivo y entorno se dan diferencias notables, incluso dentro del mismo nicho ecológico, que dependen de la especie de ser vivo de que se trate. Pero no debemos olvidar los efectos catastróficos que puede tener un cambio ambiental sobre la existencia continuada de las especies vivas. A lo largo de la historia de la vida ha habido varias extinciones masivas que afectaron profundamente la distribución de seres vivos sobre la Tierra y dieron lugar a la sustitución de ciertas especies por otras. Que estos fenómenos no sean frecuentes no debe hacernos olvidar la posibilidad de que sucedan.

Pasemos al tercer factor: la herencia, la *necesidad* de Monod. Sus reglas fueron descubiertas, poco después de la publicación del libro de Darwin, por el fraile agustino austriaco Gregor Mendel, como consecuencia de sus experimentos en el cultivo de guisantes. Mendel descubrió las tres leyes de la herencia biológica:

- Primera ley, *principio de la dominancia y la uniformidad*: todos los híbridos de dos razas puras, una con un carácter dominante y la otra con la forma recesiva de ese carácter, exhiben el carácter dominante.
- Segunda ley, *principio de la segregación*: algunos individuos pueden transmitir un carácter que aparentemente no tenían: un carácter recesivo puede reaparecer en una generación posterior.
- Tercera ley, *principio de la combinación independiente*: dos caracteres distintos pueden transmitirse independientemente a la descendencia. Esta ley no siempre se cumple, solo es válida para caracteres cuyos genes se encuentran en cromosomas distintos, pero eso en el tiempo de Mendel no se sabía.

Mendel describió sus descubrimientos en un artículo (*Versuche über Pflanzenhybriden*, que se traduce así: *Experimentos sobre la hibridación de las plantas*) que se publicó en 1866 en los Anales de la Sociedad de Historia Natural de Brunn (Brno), una revista que hoy diríamos que tenía un bajo índice de impacto. La publicación pasó desapercibida para la mayor parte del mundo científico. Más de treinta años después, sin embargo, en el año 1900 las leyes de Mendel fueron descubiertas de nuevo, a la vez e independientemente, por tres investigadores: el holandés Hugo de Vries, que como hemos visto también descubrió las mutaciones; el alemán Carl Correns; y el austriaco Erich von Tschermak. Todos ellos investigaron la literatura científica previa, encontraron el artículo de Mendel y le atribuyeron la primacía, en un alarde de honradez científica.

La ciencia de la genética, que fue explicando las leyes de Mendel por medio de experimentos, comenzó poco después, hacia 1910, con los trabajos de Thomas Hunt Morgan con la mosca de las frutas (*Drosophila melanogaster*).

El cuarto factor es *la selección natural*, en el que se basa la obra de Darwin, que puede considerarse como el resultado de la acción de un elemento aleatorio (el medio ambiente) sobre otro elemento aleatorio (la constitución genética de los seres vivos), aunque sometido a la *necesidad* (porque los rasgos seleccionados se transmiten a la descendencia por la herencia).

El término *selección natural* ha sido mal entendido con frecuencia, sobre todo por los no especialistas. Vamos a revisar aquí algunos de los equívocos más frecuentes.

Algunos creen que la selección natural es una fuerza que actúa sobre los seres vivos para provocar la evolución. Esto no es cierto. La selección natural no es una fuerza, ni un objeto, ni una interacción, ni un fenómeno. Es, simplemente, una constatación estadística. Observamos que, en general, los individuos mejor adaptados a su medio ambiente suelen dejar más descendientes que los menos adaptados. Nada más. Es, por tanto, una cuestión de sentido común, no el resultado de la acción externa de una fuerza misteriosa.

Otros piensan que la selección natural dirige la evolución para que recorra caminos progresivos que lleven, por ejemplo, hacia el dedo único de los caballos, la trompa del elefante, el cuello de la jirafa o el cerebro del hombre. Este equívoco estuvo muy extendido durante la segunda mitad del siglo XIX, pero tampoco es cierto. La selección natural (que, repito, es una constatación estadística) no dirige la evolución. La selección artificial (en la que se apoyó Darwin para llegar al concepto de la selección natural) tampoco dirige la evolución de nuestros animales y plantas domesticados. Quien dirige esta evolución es el hombre, que utiliza la selección artificial como procedimiento de actuación. En el caso de la selección natural, se puede pensar que no la dirige nadie, que todo es consecuencia del azar, o que Dios dirige la evolución utilizando la selección natural. Más adelante consideraremos más a fondo estas dos alternativas.

Finalmente, algunos creen que la selección natural favorece la supervivencia de las especies de los seres vivos o provoca su extinción. Esto tampoco es cierto. La selección natural no se aplica a las especies, sino a los individuos, que al ser seleccionados dejan estadísticamente más descendientes que los que no lo son.

Uno de los problemas más importantes que plantea la teoría de la selección natural es el origen del *altruismo*, que se da especialmente en las especies sociales, que abundan entre los insectos, las aves y los mamíferos. El problema puede plantearse así: si un carácter ha aparecido y ha sido seleccionado positivamente, tiene que ser útil para asegurar la reproducción del genoma de los individuos de que se trate. ¿En qué sentido puede ser útil el altruismo para la conservación del genoma de un individuo si este, por

ejemplo, por ayudar a otros, renuncia a la reproducción, e incluso en algunos casos a su propia vida?

La explicación más aceptada consiste en la constatación de que los genes de un individuo no son exclusivos de él, sino que los comparte con otros muchos seres de la misma especie: con sus padres (el 50% con cada uno, en el caso de la reproducción sexual); con sus hermanos (el 50% en promedio, el 100% en el caso de gemelos idénticos); con sus primos (el 12,5% en promedio). De ahí la famosa frase de H.B. Haldane, que hace casi un siglo dijo: *Darí a mi vida por dos hermanos o por ocho primos.*

Se ha utilizado este argumento para explicar la aparición de las sociedades de insectos himenópteros (abejas, avispas y hormigas), que son *haplodiploides*, lo que quiere decir que algunos individuos (los machos) son haploides, porque nacen de huevos sin fecundar. Las hembras, en cambio, nacen de huevos fecundados y son diploides, o sea, tienen el doble de cromosomas que los machos. ¿Cómo afecta esto al problema del origen de la vida en sociedad?

Como los machos son haploides, tienen una sola dotación genética, que (salvo mutaciones aleatorias) transmiten íntegramente a todos sus hijos. Las hembras sexualmente activas, al ser diploides, transmiten a sus hijos solo la mitad de sus genes, por lo que tienen la mitad de sus genes en común con cualquiera de sus hijos. Dos hermanas hijas de los mismos padres comparten el 75% de sus genes, pues mientras los del padre son idénticos, los de la madre solo tienen un 50% de probabilidad de coincidir. La conclusión es que, desde el punto de vista de los genes, es más conveniente para una hembra renunciar a la reproducción y dedicarse a ayudar a su madre a generar más hermanas suyas, que compartirán con ella un 75% de los genes, que reproducirse por sí misma, porque sus hijos solo tendrían la mitad de sus genes.

La explicación parece razonable, y lo sería más si no fuese porque existe un contraejemplo: hay otro orden de insectos (los *isópteros*, emparentados con las cucarachas) que también forman sociedades, los termiteros, más espectaculares que las de los himenópteros. Pues bien: los isópteros son todos diploides. Por lo tanto, la explicación anterior no se les aplica. ¿Cómo surgieron las sociedades de isópteros? ¿Qué ventaja evolutiva pudo proporcionarles la vida en común? De momento, no se sabe. Pasa lo mismo con las ratas-topo, que a pesar de ser mamíferos, y por tanto

diploides, forman sociedades muy parecidas a las de los insectos, aunque constituidas por muchos menos individuos.

El caso del hombre es diferente. Al principio, el altruismo pudo favorecer la supervivencia del genoma de las familias extendidas que componían las tribus primitivas, pero a medida que crecía la población de las sociedades humanas, el altruismo se expandió gracias a la intervención de un elemento que no existía antes de la aparición del hombre: la exigencia ética, que puede expresarse con la regla de oro: *No hagas a los demás lo que no quieras que te hagan a ti; haz a los demás lo que quisieras que te hicieran a ti.*

A los demás; *a todos los seres humanos*. Si se quiere, a la especie humana, e incluso se puede extender esta exigencia para que abarque a otras especies de seres vivos. Pero se trata de una idea totalmente nueva, propia exclusivamente del hombre. A lo largo de la historia de la evolución, ningún ser vivo, microorganismo, animal o vegetal, se ha planteado nunca el objetivo de la supervivencia de su especie. Ni explícitamente, porque no tienen el concepto de la especie; ni implícitamente, porque la selección natural no favorece la supervivencia de la especie, sino la del genoma de ciertos individuos, aunque sea en detrimento de otros que pertenecen a la misma especie.

Combinadas con la selección natural, las mutaciones y la herencia completan la teoría de Darwin y han permitido construir la teoría moderna de la evolución biológica: *la teoría sintética de la evolución* o *neodarwinismo*, que surgió hacia 1930, promovida por biólogos como Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr, George Gaylord Simpson, Ronald Fisher, J.B. Haldane y Sewall Wright. La idea fundamental que condujo a esta teoría fue la aplicación de las ideas de Darwin sobre la selección natural a poblaciones de seres vivos en lugar de a individuos.

Al nivel de cada individuo vivo, las mutaciones son sucesos raros, poco frecuentes. Sin embargo, como señala Monod, al nivel de las poblaciones formadas por muchos individuos, *la mutación no es un hecho excepcional; es la regla*. Monod calculaba que la probabilidad de que un gen dado sufra una mutación está comprendida entre 10^{-6} y 10^{-8} por cada generación celular. En la actualidad se cree que la tasa es aun menor, entre 10^{-8} y 10^{-9} por cada generación para la mayoría de los organismos celulares. Pero cuando se consideran poblaciones, la tasa crece en proporción al número

de individuos. Monod calculó que en la población humana mundial de su época (tres mil millones de personas) se producían de cien mil millones a un billón de mutaciones en cada generación. Y añade: *No doy esta cifra más que para dar una idea de las dimensiones del inmenso depósito de variabilidad fortuita que constituye el genoma de una especie, pese, una vez más, a las propiedades celosamente conservadoras del mecanismo replicativo.*

Un desarrollo posterior de la teoría sintética de la evolución es la teoría del *gen egoísta* de Richard Dawkins, según la cual los seres vivos adultos no somos más que instrumentos que permiten a los genes perpetuarse. Aunque tuvo algunos detractores significativos (como Stephen Jay Gould), esa teoría fue aceptada por muchos biólogos durante las dos décadas posteriores a su enunciado.

Sin embargo, en los últimos años, los avances en la genómica y la biología evolutiva están empezando a poner en duda la exactitud de la teoría sintética de la evolución y la del gen egoísta. No nos confundamos: no se trata de que la teoría de la evolución esté en entredicho, sino que se está descubriendo que las cosas no son tan simples como parecían. Lo que sigue es una muestra de algunos de los problemas que se van detectando¹².

Epigenética: los genes están más interconectados de lo que se suponía. Una mutación en un gen puede provocar que otro pase a funcionar de manera completamente diferente, lo que complica la acción de la selección natural.

Cuasi-neutralidad: mutaciones ligeramente perjudiciales parecen ser inmunes a la selección natural y consiguen perpetuarse a lo largo de las generaciones.

El desarrollo e hibridación de los seres vivíparos (entre los que se cuentan organismos tan diferentes como los mamíferos y las plantas con flores, entre otros) no son tan sencillos como daba a entender el principio de Dobzhansky y Muller, asociado a la teoría sintética de la evolución, que tiene que ver con la formación de híbridos de dos especies diferentes. Intervienen efectos hasta ahora insospechados, como la impronta genómica (diferencias sustanciales en la expresión de los genes maternos y paternos durante el desarrollo).

¹² *The year in evolutionary biology*, Annals of the New York Academy of Sciences, 2008.

El dogma fundamental de la teoría sintética (*el genotipo determina unívocamente el fenotipo*) está en entredicho. Se dan los dos casos posibles: dos genotipos diferentes pueden dar lugar al mismo fenotipo; y un mismo genotipo puede dar lugar a dos fenotipos diferentes. No solo es cierto (cosa que ya se sabía) que el genotipo es plástico, y dependiendo del ambiente puede dar lugar a varios fenotipos diferentes. Así, la oruga y la mariposa en la que se convierte tienen el mismo genoma, pero aspectos muy diferentes. Y las diversas estirpes de células de un mismo individuo adulto (como neuronas y células epiteliales) tienen formas muy diferentes, pero comparten exactamente el mismo genoma. Lo inesperado es la constatación de que varios genotipos distintos pueden dar lugar al mismo fenotipo; un revés para la teoría del gen egoísta de Dawkins. La relación entre el genotipo (los genes) y el fenotipo (el aspecto físico de los seres vivos adultos) resulta ser multívoca en ambos sentidos, y el desarrollo del fenotipo a partir del genotipo está más profundamente influido por el ambiente de lo que se pensaba. Y se han descubierto varias formas en las que otras componentes de la célula, aparte de los cromosomas que contienen el ADN, pueden influir en el desarrollo de los seres vivos.

El segundo tema fundamental del libro *El gen egoísta* de Richard Dawkins fue la aplicación a la evolución cultural de las reglas de la evolución biológica. Aquí Monod se anticipó a Dawkins, pues en el libro que estamos comentando hace lo mismo seis años antes. La cuestión estaba en candilero en los años setenta, pues yo también lo propuse independientemente en uno de mis libros¹³, y poco después lo hizo también Dobzhansky¹⁴. Dawkins, además, introdujo el concepto de *meme*, paralelo al de gen, y aplicado a los elementos culturales elementales o atómicos, un término que ha pasado al lenguaje corriente.

La evolución cultural es exclusiva del hombre, aunque haya algunos atisbos de ella en algunas especies animales: los primates, especialmente los más próximos a nosotros; los cetáceos; e incluso algunas aves, como los córvidos y los psitaciformes (los cuervos y los loros). Pero ninguna de esas especies puede competir con nosotros en el uso de la mente y la razón, y en su aplicación para construir un lenguaje y una tecnología.

¹³ Alfonseca, M. *Human cultures and evolution*, 1979.

¹⁴ Dobzhansky, T., Boesiger, E. *Human culture: a moment in evolution*, 1983.

Para Monod, a partir del momento en que los antepasados del hombre actual desarrollaron una cultura, la evolución de nuestra especie fue aflojando desde el punto de vista biológico y se fue concentrando en el punto de vista cultural. *Una vez hubo dominado su entorno, el Hombre ya no tenía frente a sí otro adversario serio que él mismo. La lucha intraespecífica directa, la lucha a muerte, se convertía desde entonces en uno de los principales factores de selección en la especie humana. Fenómeno extremadamente raro en la evolución de los animales.* Esta evolución favorecería sobre todo un aumento de la inteligencia y la imaginación, pero también la cohesión social del grupo, el respeto de las leyes, y la agresividad hacia los grupos ajenos.

Al considerar nuestra situación actual desde el punto de vista evolutivo, Monod cayó en el mismo error que Darwin, en su obra *El origen del hombre*, que sin duda ha influido a Monod. Veamos un párrafo de Darwin: *Entre los salvajes, los débiles de cuerpo o mente son rápidamente eliminados; y los que sobreviven suelen exhibir un estado de salud vigoroso. Nosotros, los hombres civilizados, por el contrario, hacemos lo posible por contrarrestar el proceso de eliminación; construimos asilos para los imbéciles, los tullidos y los enfermos; promulgamos leyes para proteger a los pobres; y nuestros médicos hacen lo que pueden para salvar la vida de todo el mundo hasta el último momento. Hay razones para creer que la vacunación ha salvado a miles de personas, que por su constitución débil habrían sucumbido a la viruela. Así, los miembros débiles de las sociedades civilizadas propagan su tipo. Nadie que haya observado la cría de animales domésticos dudará de que esto debe ser muy dañino para la raza humana.*

Parece increíble, pero después de una vida dedicada casi exclusivamente a meditar sobre su teoría de la evolución, Darwin cometió el grave error de no saber aplicarla a la especie humana. Lo demuestra claramente el párrafo que acabo de citar. Y Monod cae en la misma trampa, como demuestra este otro párrafo: *En una época reciente, incluso en las sociedades relativamente “avanzadas”, la eliminación de los menos aptos, física e intelectualmente, era automática y cruel. La mayoría no alcanzaba la pubertad. Hoy, muchos de estos enfermizos genéticos sobreviven lo bastante como para reproducirse. Gracias a los progresos del conocimiento y de la ética social, el mecanismo que defendía a la especie contra la degradación, inevitable al abolirse la selección natural, ya no funciona más que para las tareas muy graves.*

El error de Darwin y de Monod consiste en creer que la selección natural actúa con independencia del ambiente. Si no, no se concibe cómo pudo pensar que las características genéticas que permitieron al hombre adaptarse al ambiente de los *salvajes*, término que usa Darwin, deben seguir siendo favorables cuando se aplican al ambiente de las *sociedades civilizadas*. La supervivencia y la capacidad de reproducirse de *los débiles* solo significa que esos individuos están ahora adaptados al ambiente en que se encuentran.

Los avances de la ciencia médica durante los últimos siglos han hecho posible que muchos seres humanos a los que la herencia o la variabilidad genética ha dotado de genes deletéreos, perjudiciales, productores de enfermedades o de debilidad física, no mueran durante la niñez, como antes sucedía, sino que lleguen a la edad adulta y puedan dejar descendencia, perpetuando de este modo sus genes “nocivos”, que poco a poco se extienden a un número cada vez mayor de individuos. Hay quien se pregunta si la humanidad futura tendrá tal cantidad de taras genéticas en su dotación normal que los seres humanos solo podrán mantenerse en vida artificialmente, apoyándose por completo en los medios de la medicina.

Es discutible si este panorama es preocupante, como dice Monod, siguiendo a Darwin. Lo que esto significa es que el hombre se ha adaptado a un medio ambiente de fabricación propia. Los genes que hubieran sido letales en otras condiciones pasan, en las nuevas circunstancias, a ser indiferentes o incluso beneficiosos. Las leyes de la evolución y la selección natural siguen funcionando, pero el ambiente ha cambiado.

Una cuestión diferente es lo que ocurriría si una catástrofe natural o provocada hiciera imposible el mantenimiento de nuestro ambiente artificial medicalizado. ¿Llegaría a extinguirse la especie humana? Es posible, aunque ahí tendríamos que enfrentarnos, como en otros casos de extinción, con un cambio brusco de medio ambiente.

Aunque esto le parece preocupante, Monod llega a afirmar que nuestro mayor peligro no es ninguno de estos, sino otro muy distinto, del que hablaremos en los apartados 2.5 y 2.6.

Para concluir este apartado, es importante distinguir, por una parte, una teoría científica, el evolucionismo científico, que es una rama de la biología. La *teoría*

científica de la evolución está fuertemente contrastada con datos de otras ciencias, como la embriología, la anatomía comparada, la paleontología, la biogeografía, o la biología molecular (el análisis del ADN). Por otra parte, existen dos posiciones contrapuestas, que no son ciencia, aunque sus partidarios respectivos suelen afirmar que se trata de teorías científicas.

1. La afirmación de que *la evolución es consecuencia del puro azar*.
2. La afirmación de que *la evolución es un ejemplo de diseño*.

Los biólogos ateos suelen presentar la primera alternativa como un hecho científico demostrado, aunque no lo es. Piénsese en ello. ¿Cómo podría demostrarse científicamente semejante afirmación? ¿Qué experimentos podríamos realizar para conseguirlo? ¿Algún lector es capaz de diseñarlos?

En cambio, los partidarios del *diseño inteligente* sostienen que esta es una teoría científica y aducen diversos argumentos. El problema es que existen otras explicaciones que no precisan del diseño explícito y que echan abajo las afirmaciones de los partidarios de esta teoría.

Resumiendo: Para resolver este dilema tendríamos que responder a alguna de las preguntas siguientes:

- ¿Hay alguna forma de demostrar científicamente que *la evolución es consecuencia del azar y no del diseño*?
- ¿Hay alguna forma de demostrar científicamente que *la evolución es consecuencia del diseño y no del azar*?

Más tarde explicaré algunas razones que parecen llevar a la conclusión de que la respuesta a ambas preguntas debe ser negativa. Monod, sin embargo, responde a esta pregunta eligiendo la primera alternativa.

2.4. – Los dos tipos de azar

Cuando no sabemos por qué sucede algo, solemos decir que se debe al *azar*. Pero esta afirmación es ambigua, porque no hay un solo tipo de azar, sino dos:

El *azar epistemológico*, en el que lo que ocurre tiene causas perfectamente reconocibles, pero tan complejas que quedan fuera del alcance de nuestro conocimiento. Casi todos los juegos de azar (dados, ruleta, el bombo de la lotería) son ejemplos de este tipo de azar. Tirar un dado se ajusta a las leyes de la mecánica, pero las condiciones son tan complejas, que nos resulta imposible predecir el resultado de cada tirada. Este tipo de azar es el que Jacques Monod llamó *incertidumbre operacional* en su libro *El azar y la necesidad*:

Se emplea este término... a propósito del juego de dados, o de la ruleta, y se utiliza el cálculo de probabilidades para prever el resultado de una jugada. Pero estos juegos puramente mecánicos y macroscópicos, no son «de azar» más que en razón de la imposibilidad práctica de gobernar con una precisión suficiente el lanzamiento del dado o el de la bola. Es evidente que un mecanismo de lanzamiento de muy alta precisión es concebible, y permitiría eliminar en gran parte la incertidumbre del resultado... Ocurre igual, como se verá fácilmente, en... numerosos fenómenos en los que se emplea la noción de azar y el cálculo de probabilidades por razones puramente metodológicas.

El *azar ontológico* o *azar físico*, que no se debe a nuestro desconocimiento, sino que corresponde a un verdadero indeterminismo. Monod lo llama *incertidumbre esencial*, y lo describe así:

Es el caso, por ejemplo, de lo que se puede llamar «coincidencias absolutas», las que resultan de la intersección de dos cadenas causales independientes una de otra. Supongamos, por ejemplo, que el Dr. Dupont sea llamado urgentemente para visitar a un enfermo, mientras que el fontanero Dubois trabaja en la reparación urgente de la techumbre de un inmueble vecino. Cuando el Dr. Dupont pasa por debajo del alero del inmueble, al fontanero se le cae inadvertidamente su martillo, cuya trayectoria (determinista) es interceptada por la del médico, que muere con el cráneo roto. Decimos que no hubo suerte. ¿Qué otro término emplear para un acontecimiento así, imprevisible por su misma naturaleza? El azar aquí debe evidentemente ser considerado como esencial, inherente a la independencia total de las dos series de acontecimientos cuyo encuentro produjo el accidente.

Monod pone como ejemplo de azar ontológico a un médico que ha sido llamado por un paciente, pero que mientras camina hacia su casa recibe en la cabeza el impacto de un martillo que se le ha caído a un fontanero que estaba arreglando una tubería. Aunque la trayectoria del martillo al caer es determinista, su coincidencia en un punto del espacio con la cabeza del médico es aleatoria, totalmente impredecible. Usa este ejemplo para afirmar paralelamente que las mutaciones del genoma son sucesos de azar ontológico, no epistemológico.

Según la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, debida sobre todo a Niels Bohr, la física de las partículas elementales no es determinista, sino aleatoria, con indeterminismo físico. Si esto es verdad (todos los intentos de descubrir variables ocultas que convertirían el indeterminismo físico en epistemológico han fracasado), el cosmos parece ser intrínsecamente aleatorio, y su evolución solo se puede seguir de forma estadística.

Einstein, que siempre se opuso a esta interpretación de una de las bases fundamentales actuales de la física, la mecánica cuántica (*Dios no juega a los dados*), intentó echarla abajo con el experimento mental EPR, por las siglas de sus tres autores (Einstein-Podolsky-Rosen), pero su intento no dio resultado, pues en 1964 John Stewart Bell formuló la desigualdad que lleva su nombre, que permitía distinguir experimentalmente entre las interpretaciones clásicas y las basadas en el indeterminismo físico, que al ser llevada a la práctica por medio de experimentos confirmó las predicciones de Bohr frente a las de Einstein.

El principio de incertidumbre de Heisenberg nos proporciona una fuente de azar al señalar que es imposible conocer dos propiedades de la materia (energía y tiempo; posición y momento) con precisión absoluta. Si conocemos una de ellas con una precisión enorme, la otra automáticamente se nos escapa de las manos. Esto significa que cierto tipo de sistemas, llamados *caóticos*, aunque puedan ser deterministas, se nos convierten automáticamente en sistemas sometidos al azar. Veamos cómo.

Un *sistema caótico* es aquel cuya evolución, a partir de dos condiciones iniciales casi idénticas, al cabo de cierto tiempo le hace pasar a dos estados muy diferentes entre sí. Ocurre que muchas de las leyes físicas que conocemos dan lugar a comportamientos caóticos. Por lo tanto, si en uno de estos sistemas partimos de dos condiciones iniciales diferentes, pero que difieren en menos del límite establecido por el principio de

incertidumbre, no podremos predecir el estado final de ese sistema al cabo de cierto tiempo. ¿Es esto azar? Y si lo es, ¿es azar epistemológico, o azar físico?

Algunos piensan que es una forma de *azar epistemológico*, puesto que se nos dice que no sabemos predecir el resultado porque no podemos conocer con suficiente aproximación las condiciones iniciales. Pero otros piensan que se trata de *azar físico*, pues al revés de lo que explica Monod al hablar del azar epistemológico, la imposibilidad no es práctica, sino teórica.

Una posición distinta respecto a este debate, que comparto, es que el azar podría no existir, o al menos ser compatible con el diseño. Cuando se dice esto, se suele interpretar que la palabra *azar* se refiere exclusivamente al que aquí hemos llamado *azar ontológico*, *azar físico*, o *incertidumbre esencial*, ya que, como he señalado más arriba, el azar epistemológico no es verdadero azar, sino que hace referencia a nuestra ignorancia. Más adelante elaboraré un poco más esta idea.

2.5 – El reduccionismo de Monod

El problema de la mente es muy antiguo, y a lo largo de la historia se le han dado al menos cuatro contestaciones diferentes, que pertenecen al campo de la filosofía, más que al de la ciencia:

1. *Monismo reduccionista o funcionalismo biológico*: la mente está totalmente determinada por el cerebro, y este por la red de neuronas que lo constituye. El pensamiento humano es un epifenómeno. La libertad de elección es una ilusión. Somos máquinas programadas.
2. *Monismo emergentista*: la mente es un producto evolutivo emergente autoorganizado, que ha surgido como sistema complejo a partir de sistemas más simples formados por las neuronas. Las estructuras subyacentes no determinan por completo la evolución de los fenómenos mentales, aunque estos sí pueden influir sobre aquellas.
3. *Dualismo neurofisiológico*: la mente y el cerebro son diferentes, pero están tan íntimamente unidos que constituyen una unidad, son dos estados complementarios y

únicos de un mismo organismo. No todo en el hombre es materia, hay también espíritu, aunque estos dos elementos no pueden separarse.

4. *Dualismo metafísico*: la mente y el cerebro son dos realidades diferentes. La primera es una sustancia espiritual y no espacial, capaz de interactuar con el cerebro, que es material y espacial. Ambas entidades pueden existir independientemente la una de la otra, aunque el cuerpo sin la mente se descompone.

Aunque el dualismo metafísico al estilo de Descartes apenas tiene partidarios actualmente, el dualismo neurofisiológico no está, ni mucho menos, excluido, a menos que se parta del postulado materialista, que afirma que solo existe la materia en el sentido más amplio del término: que solo existe lo que la ciencia puede detectar y manipular. En ese caso es lógico que se elija una de las dos primeras posturas sobre el problema de la mente.

El libro *El azar y la necesidad* es una divulgación de muy alto nivel, pues Monod utiliza sus conocimientos super-especializados sobre las enzimas y su modo de actuar para dar explicaciones. En los capítulos 4 y 5 trata de utilizarlos para justificar su fe en el reduccionismo y en contra del emergentismo, aunque no lo llama así, sino *holismo* u *organicismo*.

Al principio, Monod parece distinguir bien entre filosofía y ciencia, aunque luego la diferencia se va difuminando, como cuando desacredita a los partidarios del emergentismo afirmando que tienen un *profundo desconocimiento del método científico y del papel esencial que en él juega el análisis*. O sea, desprecia una idea distinta de la suya recurriendo a la falacia *ad hominem*: atacando personalmente a sus contrarios, como en el párrafo citado.

La postura de Monod se adapta perfectamente al monismo reduccionista, y por tanto es materialista. Lo que dice en este libro a este respecto no es, para él, una hipótesis, sino un axioma, una postura previa que se anticipa a sus ideas. Que lo presente como un hecho científico incuestionable es típico entre los científicos materialistas modernos, que ni siquiera se dan cuenta de que con ello incurren en *petitio principii*: *petición de principio*, presentar una idea como si estuviera demostrada, por el mero hecho de afirmarla, sin proporcionar argumentos. Las dos falacias lógicas mencionadas son típicas, conocidas desde la antigüedad.

Para justificar su fe reduccionista, Monod aduce que los pocos fenómenos enzimáticos que conocemos a fondo tienen lugar al nivel microscópico y por tanto son automáticamente reduccionistas. Eso sí, reconoce que desconocemos millones de casos más, no solo enzimáticos, que tienen lugar en varios niveles, desde los seres vivos más diminutos a los más complejos, terminando en el cerebro humano. Pero, ¡por favor!, todos esos millones de casos que no conocemos a fondo, ¿cómo no van a ser reduccionistas? Ese, más o menos, es el tenor de su decepcionante razonamiento.

Monod recurre a un paralelo entre los seres vivos y los ordenadores electrónicos de su época, que estaban por entonces en la tercera generación. Eran ordenadores muy grandes, aunque ya utilizaban circuitos integrados que empaquetaban en un chip gran número de componentes. Por supuesto, el funcionamiento de un ordenador puede explicarse con los métodos del reduccionismo, porque ha sido diseñado de abajo arriba, ensamblando un conjunto de partes más pequeñas. Monod reconoce que un ser vivo, incluso la célula más pequeña, es mucho más complejo que un ordenador, pero sigue fiel a su fe reduccionista anunciando que también en este caso todo su funcionamiento podrá explicarse algún día por métodos exclusivamente analíticos (descomponiendo el ser vivo en partes), y se burla de la idea *holista* que afirma que el todo es más que la suma de sus partes, calificando esta discusión de *querrela estúpida*.

El reduccionismo de Monod se nota especialmente en su tratamiento del cerebro humano y la consciencia, el *problema difícil* de los neurocientíficos. Esta cuestión la trata en el capítulo 8 de su libro, dedicado a las fronteras actuales de la ciencia, puesto que Monod reconoce desde el principio que se trata de un problema sin resolver. Por supuesto, su postura reduccionista le empuja a suponer que algún día las investigaciones sobre el cerebro convergerán en una explicación válida. Aunque, añade, *por el momento casi no convergen más que en las dificultades que comportan*. Como veremos en las conclusiones, esta forma de abordar el problema es la versión científicista del *dios de los huecos*, acusación típica de los científicistas contra los creyentes.

Un poco más adelante insiste en su axioma reduccionista al afirmar que *nos podríamos preguntar si no habrá más que una diferencia “cuantitativa” (grado de complejidad), o quizá se trate de una diferencia “cualitativa”*. Esta pregunta para mí no tiene sentido. Nada permite suponer que las interacciones elementales sean de diferente naturaleza a diferentes niveles de integración. O sea, que no tiene sentido

sugerir que lo que ocurre en el cerebro, cuando pensamos, podría no ser reduccionista. El dogmatismo de su modo de pensar queda aquí muy claro.

Monod se adentra también en la polémica, que en su tiempo estaba en pleno auge, entre el origen innato (genético) o adquirido (por aprendizaje) de nuestro comportamiento. Hoy esta polémica se ha resuelto, pero no a favor de ninguna de las dos posturas extremas, pues se acepta la influencia de ambas. Nuestro comportamiento está influido a la vez por los genes y por la educación.

Queda, por supuesto, el problema del libre albedrío, en el que Monod no entra, seguramente porque niega su existencia. Como niega, no solo el emergentismo, sino también el dualismo, que considera una ilusión, aunque una ilusión útil, porque *sería sumamente vano esperar disiparla en la aprehensión inmediata de la subjetividad, o aprender a vivir afectivamente, moralmente, sin ella.*

Más adelante añade: *Renunciar a la ilusión que ve en el alma una «sustancia» inmaterial, no es negar su existencia, sino al contrario comenzar a reconocer la complejidad, la riqueza, la insondable profundidad de la herencia genética y cultural, como de la experiencia personal, consciente o no, que en conjunto constituyen el ser que somos, único e irrecusable testigo de sí mismo.* Dice, en resumen, que la idea del alma (o del espíritu) puede mantenerse, siempre que la veamos como metáfora de la enorme complejidad de nuestra herencia y nuestra experiencia.

Monod utiliza a veces en su libro el término *filosofía* al referirse a ideas que rechaza, como en el capítulo 2, cuando arremete contra las corrientes vitalistas y las que llama peyorativamente *animistas*. Es verdad que las ideas vitalistas a lo Bergson están hoy abandonadas, pero en cambio las *animistas* no lo están, ni mucho menos, porque Monod aplica el nombre de animismo a la doctrina que considera que el alma o espíritu es una de las componentes fundamentales del ser.

Después del capítulo 2, a lo largo del resto del libro, apenas se ocupa del dualismo, salvo para despreciarlo y considerarlo periclitado en su versión cartesiana, porque no menciona nada que se parezca al dualismo neurofisiológico, quizá porque no lo conoce, o porque lo considera incluido en lo que él llama *animismo*. Tampoco menciona a Aristóteles, cuya doctrina puede considerarse hasta cierto punto dualista, pues llamó *materia* al cuerpo de los seres vivos y *forma* a su alma, aunque excluyó a los

seres inanimados de la posesión de alma. Su única referencia a Aristóteles es para señalar que su ciencia y su cosmología fueron abolidas por Galileo y Descartes.

¿Es verdad, como dice Monod, que la biología le ha dado datos para llegar a estas conclusiones? No. Son conclusiones no científicas que derivan de su axioma reduccionista de partida, que Monod jamás pone en duda, porque forma la base de su pensamiento.

2.6 – El cientificismo de Monod

En el prefacio de su libro, Monod dice esto de la filosofía: *Resulta imprudente hoy en día, por parte de un hombre de ciencia, emplear la palabra “filosofía” ... Se tiene la seguridad de que será acogida con desconfianza por los científicos y, a lo mejor, con condescendencia por los filósofos. No tengo más que una excusa, pero la creo legítima: el deber que se impone, hoy más que nunca, a los hombres de ciencia de considerar a su disciplina dentro del conjunto de la cultura moderna, para enriquecerla no solo de conocimientos técnicos importantes, sino también de las ideas salidas de su ciencia, que puedan considerarse humanamente significativas. La ingenuidad misma de una visión nueva (la de la ciencia siempre lo es) puede a veces iluminar con un nuevo día antiguos problemas.* Es decir, acepta la filosofía solo en cuanto esta disciplina discuta ideas sugeridas por la ciencia. Nada más.

En la sinopsis de esta monografía se mencionó que en el capítulo 2 Monod rechaza tanto las corrientes vitalistas como las que él llama animistas. En el apartado anterior señalamos que también rechaza la filosofía dualista cartesiana y el emergentismo. Para sustituirlas, recurre al reduccionismo y aplica el cientificismo, que afirma que la ciencia es la única base válida del conocimiento humano, sin percatarse de que al decir esto no se hace ciencia, y por tanto su punto de partida es contradictorio.

Claro que él no llama cientificismo a esta postura, sino *postulado de la objetividad*, que define así: *la negativa sistemática de considerar capaz de conducir a un conocimiento “verdadero” toda interpretación de los fenómenos dada en términos de causas finales, es decir, de “proyecto”.* Este postulado sería un principio ineludible de la ciencia, *la piedra angular del método científico.* Y eso a pesar de que en el capítulo 1 dedica un apartado a los *objetos dotados de un proyecto*, como las máquinas

creadas por el hombre. Por lo tanto, niega para el conjunto del universo lo que admite para una pequeña parte del mismo: el hombre en relación con sus creaciones y productos, y por extensión, cualquier posible ser inteligente extraterrestre.

En el último capítulo, Monod intenta justificar que la ética humanística tradicional, basada en los derechos humanos y las religiones, está periclitada, y para ello parte de la afirmación implícita de que el único conocimiento válido es el conocimiento científico. O sea, la fe científicista.

Consideremos la afirmación anterior: *el único conocimiento válido es el conocimiento científico*. ¿Qué ciencia podría haber llegado a esa conclusión? ¿La física? ¿La biología? Es obvio que ninguna ciencia puede justificarla. Por lo tanto, no se trata de una afirmación científica. Pero entonces, si la afirmación es verdadera, nos lleva a una contradicción. Luego es falsa. En consecuencia, las disquisiciones del último capítulo del libro de Monod caen por su base, porque se basan en una afirmación falsa.

Monod expresa explícitamente su fe científicista con estas palabras: *La verdad del conocimiento no puede tener otra fuente que la confrontación sistemática de la lógica y de la experiencia. No acabo de comprender cómo es posible que una idea tan simple y tan clara no haya podido, en el reino de las ideas, aparecer con toda claridad más que cien mil años después de la emergencia del Homo sapiens.*

Está claro, ¿no? La única fuente del conocimiento humano es la ciencia, entendida como la propuesta de hipótesis o teorías (*la lógica*), que se confrontan sistemáticamente con la experimentación (*la experiencia*). Monod rechaza, por lo tanto, la teología, puesto que no cree que Dios exista, por lo que estaría de acuerdo con Richard Dawkins cuando este afirma que la teología es una materia sin contenido. Y se asombra de que hayan sido necesarios *tantos milenios para que aparezcan en el reino de las ideas las del conocimiento objetivo como única fuente de verdad auténtica.*

Digámoslo con otras palabras: “Es asombroso que hayamos tardado tanto en darnos cuenta de que el científicismo es la única filosofía válida”.

Monod habla también de la filosofía griega, y afirma que Platón lo entendió todo al revés, porque mira hacia el pasado (hacia una mítica edad de oro), en lugar de hacia el futuro, como la ciencia, pero al mismo tiempo, como veremos más abajo, rechaza la

teoría del progreso indefinido. Menciona por último la filosofía en esta referencia, que aparece en el capítulo 9 de su libro:

Durante centenares de miles de años el destino de un hombre se confundía con el de su grupo, de su tribu, fuera de la cual no podía sobrevivir... Es de ellos sin duda de quienes hemos heredado la exigencia de una explicación, la angustia que nos constriñe a buscar el sentido de la existencia. Angustia creadora de todos los mitos, de todas las religiones, de todas las filosofías y de la ciencia misma... La invención de los mitos y de las religiones, la construcción de vastos sistemas filosóficos, son el precio que el hombre debe pagar para sobrevivir como animal social sin caer en un puro automatismo.

Lo cual quiere decir, evidentemente, que las religiones y los sistemas filosóficos son todos falsos, y su única utilidad ha sido estabilizar la sociedad humana. Sólo la ciencia proporciona conocimiento verdadero. Naturalmente, dado su cientificismo axiomático, Monod piensa que ha llegado el momento de renunciar a las religiones y a las filosofías diferentes del cientificismo, para así apoyarse únicamente en la ciencia.

¿Y si no aceptamos esa visión del mundo? Monod nos amenaza con *el abismo de las tinieblas*. Con el fin de la humanidad. Con la guerra atómica o algo peor. Veamos cómo lo dice:

En tres siglos, la ciencia, fundada por el postulado de objetividad, ha conquistado su lugar en la sociedad: en la práctica, mas no en las almas. Las sociedades modernas están construidas sobre la ciencia. Le deben su riqueza, su poderío y la certeza de que riquezas y poderes, aún mucho mayores, serán mañana, si él lo quiere, accesibles al Hombre. Pero también, igual que una "elección" inicial en la evolución biológica de una especie puede comprometer el porvenir de toda su descendencia, igual la elección, inconsciente en el origen, de una práctica científica ha lanzado la evolución de la cultura por un camino de sentido único; trayecto que el progresismo cientificista del siglo XIX veía desembocar infaliblemente en una expansión prodigiosa de la humanidad, mientras que hoy vemos abrirse delante nuestro un abismo de tinieblas.

Y repite esta idea para cerrar el libro:

Esto es quizás una utopía. Pero no es un sueño incoherente. Es una idea que se impone por la sola fuerza de su coherencia lógica. Es la conclusión a la que lleva necesariamente la búsqueda de la autenticidad. La antigua alianza ya está rota: el hombre sabe al fin que está solo en la inmensidad indiferente del Universo de donde ha emergido por azar. Igual que su destino, su deber no está escrito en ninguna parte. Puede escoger entre el Reino y las tinieblas.

El hombre está solo. Dios no existe. Y cuanto antes nos libremos de esa idea antigua de la existencia de Dios, antes nos salvaremos de la catástrofe que nos amenaza. ¿Esto es ciencia? No. Es una muestra más de lo ilusos que somos los seres humanos, que a menudo creemos que la solución a los problemas del mundo es esta: *Haz lo que yo digo, o caerás en el abismo.*

¿En qué consiste el problema, según Monod? En que *las sociedades “liberales” de Occidente enseñan aún, con desdén, como base de su moral, una repugnante mezcla de religiosidad judeocristiana, de progresismo científicista, de creencia en los derechos “naturales” del hombre y de pragmatismo utilitarista.* Nótese que Monod llama *cientificismo* a la creencia en el progreso indefinido, en el que él no cree, porque la mala utilización de los avances de la ciencia le ha llevado a desconfiar de dicho progreso, y no se da cuenta de que su modo de pensar es también científicista. Eso sí, si queremos salvarnos, tenemos que renunciar a la religiosidad judeocristiana y a los derechos del hombre y sustituirlos por una *ética del conocimiento* basada en sus teorías.

Monod introduce en la descripción de sus ideas conceptos filosóficos, a menudo sin darse cuenta de que lo hace. El concepto de *teleonomía*, por ejemplo, que es fundamental para su pensamiento, es más filosófico que científico, igual que la *teleología*, que rechaza frontalmente. Este capítulo 9 que estoy comentando contiene más ideas filosóficas que científicas, aunque probablemente Monod creía que estaba haciendo ciencia. ¿Dónde está aquí el conocimiento objetivo al que tan a menudo hace referencia? Monod no distingue sus ideas personales del conocimiento objetivo. ¿Tiene acaso conocimiento objetivo sobre la existencia o la inexistencia de Dios? Por supuesto que no, pero a pesar de ello niega su existencia.

El objetivo del científicismo está condenado al fracaso. Defender una filosofía que afirma que la filosofía ha muerto es contradictorio en sí mismo. Sostener que la

ciencia puede prescindir de la filosofía es absurdo. La ciencia no tiene sentido sin la filosofía, porque la ciencia se basa en dos presuposiciones filosóficas:

- a) Existe una realidad ordenada que nos incluye (presuposición ontológica).
- b) Esa realidad es inteligible y comprensible por la mente humana (presuposición epistemológica).

Sin esas dos presuposiciones la ciencia no es posible.

Una buena respuesta al libro de Monod la dio Joseph Ratzinger en la tercera homilía de su libro *Creación y pecado*, cuando escribió esto:

Pero ahora concluye Monod de manera sorprendente: De esta manera es como ha surgido toda la biosfera; así es como ha surgido también el hombre, como producto de fallos azarosos.

¿Qué podemos decir a esta respuesta?... Los grandes proyectos de la vida no son producto ni del azar ni del error. Tampoco son producto de una selección, a la que se le confieren predicados divinos, que en este punto no son más que un moderno mito ilógico y acientífico. Los grandes proyectos de la vida nos remiten a una razón creadora, mostrándonos hoy el espíritu creador con más claridad y brillantez que nunca. Por eso podemos decir hoy con renovada alegría y certeza: Sí, el hombre es un proyecto de Dios... El hombre no es un error, sino que ha sido querido como fruto del amor... Él puede descubrir en sí mismo... el lenguaje del espíritu de la creación, que le interpela y que le da fuerzas para decir: Sí, Padre, tú me has querido.

2.7 – ¿Azar y diseño son incompatibles? La vida artificial como contraejemplo

La *vida artificial* es la rama de la ingeniería informática que construye programas que emulan el comportamiento de los seres vivos, ya sean seres vivos artificiales aislados, o bien colonias, como hormigueros o colmenas. La vida artificial no debe confundirse con la *vida sintética*, de la que hablamos en el apartado 2.2, en relación con el origen de la vida.

Una de las herramientas más utilizadas en la vida artificial (y en otros campos relacionados) son los *algoritmos genéticos*, que simulan la evolución biológica dentro del ordenador y la hacen actuar sobre los entes que son objeto de la investigación. En estos experimentos, se utiliza una mezcla de *azar y necesidad* (justamente el título del libro de Monod). El azar se aplica usualmente con un generador de números aleatorios o pseudo-aleatorios que modifican el funcionamiento del resto del algoritmo. Al estar programado previamente, el resto del algoritmo representa la necesidad.

En paralelo con la evolución biológica, los experimentos sobre vida artificial se basan en los cinco factores siguientes:

1. *Variaciones espontáneas de los individuos (mutaciones, recombinación y otras herramientas)*, que usualmente aplican generadores de números pseudo-aleatorios para modificar la herencia, y por tanto son una forma de expresar el azar (o el pseudo-azar).
2. *Variaciones espontáneas del medio ambiente*, que usualmente también aplican algoritmos pseudo-aleatorios y en consecuencia corresponden también al azar, aunque este elemento se utiliza menos en los experimentos que yo conozco.
3. *La herencia* de las características de los individuos, que permite construir la sucesión de generaciones en que consiste el experimento.
4. *Una función de adecuación (fitness)*, que mide la adaptación al medio de cada individuo simulado, y un programa de *selección* que garantiza que los individuos más adaptados dejan más descendencia o pasan directamente a la generación siguiente.
5. *Las leyes básicas del sistema*, que son muy variadas. En el caso del programa Tierra¹⁵, diseñado por Thomas S. Ray durante los años 90, dichas leyes son las instrucciones de un lenguaje de programación parecido al lenguaje de la máquina de un ordenador, que al combinarse permiten a los individuos simulados (pequeños programas que se ejecutan en una máquina virtual) reproducirse y competir por los recursos (la memoria disponible).

¹⁵ [https://en.wikipedia.org/wiki/Tierra_\(computer_simulation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tierra_(computer_simulation))

¿Qué diferencia hay entre azar y pseudo-azar? El hecho de que los números aparentemente aleatorios obtenidos por pseudo-azar son en realidad el resultado de la aplicación de un algoritmo, que a partir del último número generado permite calcular el siguiente. Por lo tanto, el pseudo-azar no es un verdadero azar, pero permite obtener resultados azarosos como si lo fuera.

Con estos programas se obtienen resultados sorprendentes. En el programa Tierra, por ejemplo, a lo largo de las generaciones aparecieron espontáneamente programas parásitos, que aprovechan los programas de otros individuos para reproducirse, y programas antiparásitos, que se oponen a los parásitos, impidiéndoles que los utilicen para reproducirse.

Mis experimentos de vida artificial están diseñados por mí. Son un ejemplo claro de diseño. Pero es un diseño que utiliza el azar; o, si quieren, el pseudo-azar. Pues bien: el matemático Gregory Chaitin demostró en 1975¹⁶ que azar y pseudo-azar son matemáticamente indistinguibles. Esto quiere decir que, si nos dan una sucesión de números obtenidos a partir de un algoritmo de generación de números pseudo-aleatorios, no seremos capaces de reconstruir dicho algoritmo, y ni siquiera podremos detectar que se ha utilizado. No podremos distinguir esa sucesión de otra formada realmente por números elegidos al azar. Por lo tanto, podemos utilizar ambos términos (azar y pseudo-azar) indistintamente.

Mi situación respecto a mis experimentos de vida artificial es especial, privilegiada. Mientras un experimento se está ejecutando, yo puedo pararlo, analizar el estado del sistema y actuar en consecuencia, modificando las condiciones. Para ello puedo modificar el estado de uno o más de los entes simulados (lo que sería equivalente a un milagro), o bien puedo alterar el funcionamiento del generador de números aleatorios, saltándome uno o más de estos, forzando un nuevo punto de partida del azar, o realizando muchas otras acciones que modifican la evolución del sistema y que resultarían indetectables para hipotéticos seres pensantes dentro del mismo (esto sería equivalente a la acción de la Providencia).

Supongamos que en algún momento en el futuro surgieran seres inteligentes en uno de mis experimentos de vida artificial. No teman, eso está tan lejos que, si fuera

¹⁶ Chaitin, G. *Randomness and Mathematical Proof*, Scientific American, 1975.

posible, estoy seguro de que yo no voy a verlo, aunque la idea me ha servido para escribir una novela de ciencia-ficción: *La escala de Jacob*. Es plausible incluso que sea imposible, que no seremos capaces de hacerlo ni siquiera en un futuro remoto. Pero hagamos ese *experimento mental*. Supongamos que esos seres inteligentes existen, que han surgido de mi experimento como resultado de una evolución. ¿Qué pensarían esos seres sobre el mundo en el que habrían aparecido? ¿Qué su mundo ha sido diseñado, o que es resultado del azar?

Desde mi posición privilegiada, yo conozco la respuesta a esa pregunta: *su mundo ha sido diseñado y el azar (o el pseudo-azar) es una de las herramientas de ese diseño*.

En el año 2011, Fernando Sols señaló¹⁷ que el teorema de Chaitin demuestra que también es imposible distinguir entre el azar y el diseño en la evolución de la vida.

A lo largo del siglo XX, a consecuencia en parte del libro de Monod, se ha intentado utilizar el hecho de que en la evolución biológica interviene el azar para sacar la consecuencia de que Dios no existe. Estos razonamientos pueden resumirse de la siguiente forma:

En los procesos de la evolución biológica intervienen el azar y la selección natural.

Por lo tanto, Dios no existe (o al menos, Dios no es necesario).

Veamos ahora cómo podrían razonar los hipotéticos seres inteligentes que puedan surgir en el futuro a partir de mis experimentos de vida artificial. Es evidente que podrían utilizar el siguiente razonamiento:

*En los procesos que han dado lugar a nuestra aparición intervienen el azar (o el pseudo-azar, pero recuerden, ambos son indistinguibles) y la selección natural (a través de la función de *fitness*).*

Por lo tanto, nuestro mundo no ha sido diseñado (o al menos, un diseñador es innecesario).

¹⁷ Sols, F. *Heisenberg, Gödel y la cuestión de la finalidad en la ciencia*, Simposio Internacional *Ciencia y Religión en el siglo XXI: ¿diálogo o confrontación?*, 2011.

En este caso concreto nosotros podemos ver la situación desde fuera, lo que nos permite afirmar que esos hipotéticos seres inteligentes, si llegan a esta conclusión, estarán equivocados, porque sabemos que yo (el diseñador del experimento de vida artificial de donde salieron ellos) sí existo, y no soy en absoluto innecesario. Pero esta constatación implica que el mismo razonamiento, aplicado a nosotros y a la vida en la Tierra, no tiene validez: su conclusión no se sigue de la premisa.

Pasemos ahora a nuestro mundo. En él existen seres inteligentes (nosotros) y nos planteamos la misma pregunta que mis hipotéticos seres inteligentes simulados. Y solo hay tres respuestas posibles:

1. *El universo es resultado del azar.* Queda por explicar cómo puede surgir algo por azar.
2. *El universo ha sido diseñado y creado por Dios.* En tal caso, lo que nosotros llamamos azar quizá para Dios no lo sea, y sea pseudo-azar. O incluso aunque lo sea. Si yo puedo usar el azar en mis diseños, ¿por qué Dios no podría hacerlo?
3. *Que el universo haya sido diseñado por seres inteligentes distintos de Dios.* O sea: que vivimos en una simulación. Esta es la idea del filósofo Nick Bostrom¹⁸ y los que piensan como él.

La primera solución no ofrece una explicación, sino que la remonta a una hipótesis equivalente, y la tercera es un simple vuelo de fantasía, imposible de demostrar, más bien ciencia-ficción que ciencia. Además, el planteamiento de Bostrom es erróneo, porque no consideró una posibilidad mucho más probable que las que sí tuvo en cuenta. Este es el razonamiento de Bostrom:

Una civilización *post-humana* tecnológicamente madura dispondría de un poder de computación enorme. Basándonos en este hecho empírico, *al menos una* de las siguientes afirmaciones es verdad:

- (1) O bien todas las inteligencias que hay en el universo se extinguen antes de ser capaces de simular universos como el nuestro.

¹⁸ Bostrom, N. "Are you living in a computer simulation?" *Philosophical Quarterly* 2003.

- (2) O bien ninguna de las inteligencias que hay en el universo desea simular universos como el nuestro.
- (3) O bien el número de simulaciones tiene que ser mucho mayor que el de civilizaciones primordiales, por lo que lo más probable es que nosotros estemos viviendo en una simulación.

Bostrom afirma que las dos primeras opciones son poco probables, lo que significa que la tercera es la más probable, es decir, que seguramente vivimos en una simulación. Este razonamiento es una forma más de tratar de escapar de Dios proponiendo un sustituto (nosotros viviríamos en una simulación creada por otra inteligencia parecida a la nuestra), pero aparte de la cuestión de que no habría explicación para la existencia de esa inteligencia, el razonamiento tiene un problema importante. Existe una cuarta posibilidad, que Bostrom no ha tenido en cuenta:

- (4) Quizá seamos una de las primeras civilizaciones inteligentes del universo, en cuyo caso nadie ha tenido aún la oportunidad de generar simulaciones de universos.

Esta opción, que Bostrom ha olvidado señalar, es, de hecho, la más probable, por lo que la afirmación de que vivimos en una simulación no puede sostenerse.

Pero hay quienes prefieren esta alternativa, por dos motivos: porque les gusta la ciencia-ficción; y porque están dispuestos a aceptar cualquier cosa antes que la existencia de Dios. Thomas Nagel dijo algo así en su libro *The Last Word: Quiero que el ateísmo sea verdadero... No es solo que no creo en Dios y que, naturalmente, espero estar en lo correcto en mi creencia. ¡Es que ansío que no exista ningún Dios! No quiero que exista un Dios; no quiero que el universo sea así.*

No es posible dialogar y llegar a acuerdos cuando ambas partes dan por supuestas premisas de partida totalmente contradictorias.

Recordemos las dos preguntas mencionadas al principio de esta segunda parte:

- ¿Hay alguna forma de demostrar científicamente que *la evolución es consecuencia del azar y no del diseño*? El teorema de Chaitin demuestra que esto no se puede demostrar por medio de la ciencia, por lo que la afirmación que sostiene que *la evolución es consecuencia del puro azar* no es científica, aunque sus partidarios afirman –falsamente– que lo es.

- ¿Hay alguna forma de demostrar científicamente que *la evolución es consecuencia del diseño y no del azar*? El teorema de Chaitin también sugiere que esto tampoco se puede demostrar por medio de la ciencia, por lo que la afirmación que sostiene que *la evolución es un ejemplo de diseño* tampoco es científica. Cuando los partidarios del *diseño inteligente* sostienen que esa es una teoría científica, seguramente están equivocados.

En conclusión: *La ciencia no puede distinguir entre azar y pseudo-azar, entre azar y diseño. Quienes sostienen una cosa o la otra no hacen ciencia, sino filosofía, o lo que es peor, se dejan influir por una ideología.*

Propongo el nombre de *evolución providencial* para la teoría (no científica) que sostiene que *Dios dirige y controla la evolución del mundo y de la vida, pero por el teorema de Chaitin no es posible probarlo científicamente*. Dicho de otro modo, lo que para nosotros es azar, quizá sea pseudo-azar para Dios.

III – Conclusiones

Cuando un científico profesa fe ciega en el reduccionismo, en la afirmación de que todo lo que ocurre en los niveles superiores de la vida, incluida la consciencia humana, se puede explicar basándose en lo que ocurre en los niveles microscópicos, suele creer que basta con explicar de forma completa el funcionamiento de uno de esos sistemas microscópicos para tener derecho a asegurar que el reduccionismo es cierto, y que no hay nada que no se pueda explicar de ese modo, desde la formación progresiva de un mamífero placentario en el seno materno, o la de un ave en el huevo, hasta el funcionamiento del cerebro humano, la formación de pensamientos y el libre albedrío. Desde ese punto de vista, este último no sería más que una ilusión, porque en el fondo seríamos máquinas hechas de carne que solo actuamos como no tenemos más remedio que actuar.

Monod es experto en uno de esos niveles microscópicos, el de las enzimas alostéricas, que regulan el metabolismo, crecimiento y división de las bacterias. Y el motivo por el que ha escrito el libro que estamos comentando puede resumirse precisamente con el párrafo anterior. Monod es reduccionista, y cree que sus estudios e investigaciones al nivel microscópico, si no lo explican todo en todos los niveles, harán posible que algún día la ciencia llegue a obtener una explicación completa. Y esto es así, aun cuando dos de los problemas pendientes cuando Monod escribió este libro, más de medio siglo después siguen sin resolverse. Sí, se han obtenido algunos avances, pero no parece que ninguno de esos dos problemas tenga solución fácil, ni inmediata.

El primer problema es el desarrollo de los seres pluricelulares, que en los casos más complejos (como los mamíferos) estamos aún muy lejos de conocer a fondo, y más aun de explicarlos.

Monod lo reconoce explícitamente en el capítulo 5 cuando dice: *Mas es preciso reconocer que esta «reducción a lo microscópico» de los fenómenos de la morfogénesis no constituye, por el momento, una verdadera teoría de estos fenómenos. Se trata más bien de una posición de principio que especifica solamente los términos en los que una teoría así debería ser formulada para que se pueda considerar que aporta algo más que una simple descripción fenomenológica. Este principio define el fin a alcanzar, pero no ilumina más que débilmente la vía a seguir para conseguirlo. Piénsese en el formidable problema que representa la interpretación, a escala molecular, del desarrollo de un*

aparato tan complejo como el sistema nervioso central, en el que miles de millones de interconexiones específicas entre células deben ser realizadas, algunas a distancias relativamente considerables.

El segundo problema es la relación entre la mente y el cerebro, que recibe el nombre de *problema difícil de la consciencia*, lo que da a entender que estamos casi tan lejos de resolverlo como hace siglos, a pesar de los avances de la neurofisiología y de los éxitos detectando las zonas del cerebro que se iluminan cuando se piensa en una cosa determinada o se experimenta alguna experiencia mental.

Existe cierto paralelismo entre la actitud de algunos seguidores de una fe religiosa y la de los científicos que practican lo que se puede considerar como fe en el reduccionismo. Desde el siglo XIX, una de las acusaciones típicas contra los creyentes era la de que estos recurren al *dios de los huecos*: que utilizan a Dios para explicar las cosas que aún desconocemos sobre la estructura del mundo; que sostienen que el origen de esos fenómenos tiene que ser milagroso.

Estamos muy lejos de saberlo todo. Probablemente nunca llegaremos a saberlo, a pesar de que los medios, y algunos científicos, nos hablan a menudo de la *teoría del todo*. La ciencia es incompleta, y probablemente siempre lo será, siempre habrá misterios. A los creyentes se nos acusa de apoyarnos en los misterios (los *huecos de la ciencia*, las cuestiones aún no resueltas) para justificar la existencia de Dios. Según ese punto de vista, Dios sería un tapa-agujeros, el *deus ex machina* de la tramoya greco-romana que resolvía los problemas insolubles en que el dramaturgo había enredado a sus personajes. A medida que avance la ciencia, los agujeros se irán llenando y la necesidad de recurrir a Dios desaparecerá.

Es posible que esta acusación pueda aplicarse a algunos creyentes, pero desde luego no se aplica a todos. Muchos científicos, aunque sean creyentes, no recurren a lo que no sabemos para justificar la existencia de Dios. No dicen, por ejemplo, que la ciencia jamás podrá resolver el problema del origen de la vida, porque para su aparición, al principio de la historia de la Tierra, fue necesaria la intervención directa de Dios. Es decir, que el origen de la vida habría sido un hecho milagroso. Tampoco conozco a nadie que afirme que será imposible construir vida sintética, aunque aún estamos muy lejos de lograrlo, más de lo que creen algunos de los que trabajan en ese campo.

Es verdad que es probable que jamás lleguemos a descubrir cómo se originó la vida en la Tierra (si es que se originó en la Tierra), pero no porque tuviera carácter milagroso, sino porque han desaparecido todos los documentos (fósiles) en que podríamos basarnos para averiguarlo. Y muchos científicos, cualquiera que sea su ideología, se oponen a esa teoría que se ha dado en llamar *diseño inteligente*, cuya filiación como investigación científica parece discutible. Un biólogo evolucionista tan significado como Simon Conway Morris, conocido por el descubrimiento de los fósiles cámbricos de Burgess-Shale, señala que, además de sus fallos científicos, esta teoría tiene también fallos teológicos, y por eso la califica como un movimiento cuasi-científico/cuasi-teológico¹⁹.

Ya que mencionamos a Conway Morris, viene a cuento señalar que este paleontólogo se ha posicionado en contra de la teoría de Stephen Jay Gould, que afirma que la evolución es un proceso dominado totalmente por el azar, y que la aparición en la Tierra del hombre (o de cualquier otra especie de ser vivo) ha sido contingente; que en un planeta que gire alrededor de otra estrella en el que hubiera aparecido la vida y hubiese tenido tiempo para evolucionar, el camino seguido habría sido completamente distinto²⁰. En contra de esa idea, y apoyándose en el fenómeno biológicamente constatado de la evolución convergente, que da lugar a la aparición de formas y procesos semejantes en seres vivos muy diferentes entre sí (como los ojos de los vertebrados y los de los cefalópodos) Conway Morris publicó otro libro en el que sostiene la hipótesis opuesta a la de Gould²¹. En el libro que hemos revisado aquí, Monod no se posiciona en este debate, que por otra parte surgió después de su muerte. Pero sospecho, dada la preponderancia del azar en su visión de la evolución, que habría tomado partido por Gould y contra Conway Morris, lo que no deja de ser una pura elucubración por mi parte.

Es curioso que entre los biólogos reduccionistas ocurre algo similar al dios tapagujeros. Hay algunos que, como Monod en este libro, sostienen que estamos muy lejos de explicarlo todo por medio de la ciencia, pero no hay que preocuparse: más pronto o más tarde lo conseguiremos. Es cierto que tenemos huecos en la explicación científica

¹⁹ Conway Morris, S. "Darwin's Compass: How Evolution Discovers the Song of Creation". The Boyle Lecture 2005.

²⁰ Gould, S.J. *Wonderful life* 1989.

²¹ Conway Morris, S. *The crucible of life* 1998.

del mundo, pero esos huecos los irá tapando la ciencia poco a poco. En lugar del *dios tapa-agujeros*, aquí tenemos la *ciencia tapa-agujeros*. Se trata de un artículo de fe, que además no se apoya en la realidad, porque la ciencia tiene límites que jamás podrá atravesar.

Los límites de la ciencia son de dos tipos: unos son teóricos, otros prácticos. Entre los límites teóricos podemos citar, en matemáticas, los teoremas de incompletitud de Kurt Gödel, el teorema de la parada de Alan Turing, el teorema de Gregory Chaitin sobre la distinción entre azar y pseudo-azar, y la demostración de la imposibilidad de controlar una superinteligencia artificial, si llegara a existir. El primero demuestra que jamás podremos construir un sistema axiomático que explique la aritmética y que sea a la vez consistente y completo. El segundo, que hay ciertos problemas que un ordenador (ordinario o cuántico) no puede resolver. Del tercero he hablado con más detalle en esta monografía. El cuarto es un trabajo relativamente reciente, mío y de mi equipo²².

La física también da lugar a la aparición de límites teóricos en la investigación científica, señalando cuestiones que jamás tendrán explicación. Uno de ellos es el hecho de que, al estudiar la estructura microscópica del mundo a niveles cada vez más pequeños, jamás podremos alcanzar la explicación de todos ellos. Siempre quedará un nivel (el último descubierto) que solo podremos describir, pero no explicar. Y si algún día conseguimos explicarlo añadiendo un grado más, este nuevo grado solo podremos describirlo, no explicarlo, con lo que nos encontraremos exactamente en la misma posición. En este momento, el último grado corresponde al mundo de los quarks, los leptones y los bosones, cuya existencia y propiedades ahora mismo nadie puede explicar.

Hay otro tipo de límites, los prácticos, que se aplican sobre todo a la biología y la tecnología. En el caso de la biología, uno de ellos es el origen de la vida, mencionado más arriba. Otro es el problema difícil de la consciencia, al que también se ha hecho referencia en varias ocasiones. Hay también problemas informáticos que, en principio, podrían resolverse, pero para ello se necesitaría un ordenador tan grande como el universo funcionando durante un tiempo mayor que la edad actual del universo. Estos

²² Alfonseca, M.; Cebrián, M.; Fernández Anta, A.; Cobiello, L.; Abeliuk, A.; Rahwan, I. "Superintelligence Cannot be Contained: Lessons from Computability Theory", *Journal of Artificial Intelligence Research* 2021.

límites prácticos son tan aplastantes como los teóricos. La posibilidad de construir inteligencias artificiales semejantes a los seres humanos podría ser otro de estos casos. Y lo anterior no quiere decir que sea necesaria la intervención milagrosa de Dios para que esas cosas existan.

Cuando los medios de comunicación y algunos científicos lanzan las campanas al vuelo prediciendo que, en cosa de diez, veinte, cincuenta, o incluso doscientos años (he visto estas variadas predicciones) seremos capaces de construir inteligencias artificiales que rivalizarán en todo con nosotros, o un sistema nuevo de defensa contra las infecciones utilizando nano-robots que correrían por nuestro aparato circulatorio y que nos ayudarán a alcanzar la inmortalidad, me sorprende nuestra credulidad y, por qué no decirlo, nuestra soberbia. ¿De verdad alguien puede creer que en unos pocos años vamos a ser capaces de realizar lo que a la evolución de la vida le costó unos 4000 millones de años? Permítanme que lo dude.

Resumiendo: el libro de Monod, *El azar y la necesidad*, considerado como pura divulgación científica, es muy bueno, aunque a un nivel que podría resultar demasiado alto para algunos lectores, pero al mismo tiempo tiene otro objetivo, que no llamaré solapado, porque es bastante evidente: hacer proselitismo de sus ideas no científicas sobre el significado del mundo y de la vida. Según Monod, partidario del reduccionismo, acaso sin darse cuenta de que no es ciencia, todo en el universo es consecuencia de un azar ciego, Dios no existe (lo dice, directa o indirectamente, en los capítulos 2 y 9), y el libre albedrío y la espiritualidad son ilusiones, útiles, eso sí, para hacer viable la vida social, pero nada más.

Seguramente Monod no se dio cuenta de que esas afirmaciones no son científicas, sino ideológicas. Como científicista, necesita creer que todo lo que él dice es ciencia, puesto que, según él, solo la ciencia puede servir de base válida para el conocimiento humano. Una falacia muy común entre los científicos los impulsa a creer que *como yo soy científico, todo lo que yo digo o hago es ciencia*. Stephen Hawking, por citar a alguien muy conocido, también cayó en esa trampa en su libro *El gran diseño* cuando dijo al principio del capítulo primero: *La filosofía ha muerto... Los científicos se han convertido en los portadores de la antorcha de los descubrimientos en nuestra búsqueda de conocimiento*. Y a continuación plantea una teoría (el realismo de modelos) que no es ciencia, sino filosofía.

Podemos perdonarle a Monod su fe en el azar ciego, pues la demostración por Gregory Chaitin del teorema matemático que afirma que azar y providencia son indistinguibles fue posterior a la publicación de su libro. Sin embargo, las tres afirmaciones mencionadas un poco más arriba (todo en el universo es consecuencia de un azar ciego, Dios no existe, y el libre albedrío y la espiritualidad son ilusiones), carecen de base.

La primera por el teorema de Chaitin, que asegura que es imposible distinguir lo que es azar y lo que es diseño.

La segunda, porque la ciencia no puede demostrar la existencia ni la inexistencia de Dios, puesto que su objeto de estudio es el mundo material, y Dios, si existe, no pertenece a ese mundo, y por tanto no puede ser estudiado por la ciencia, que como mucho puede proporcionar indicios de su existencia (como el ajuste fino), pero no pruebas definitivas.

Y la tercera, porque es típico del cientificismo afirmar que todo aquello que no sabemos explicar no existe. Se ha hecho, por ejemplo, con el transcurso del tiempo, sobre el cual existen dos teorías filosóficas diferentes. A bastantes científicos modernos les gusta afirmar, siguiendo una de ellas, que el transcurso del tiempo es una ilusión. Recuérdese la carta de pésame que envió Albert Einstein en 1955, que contenía esta afirmación: *la distinción entre pasado, presente y futuro es solo una ilusión, aunque persistente*. Curiosa manera de consolar a una persona que ha perdido a un ser querido. Pasa lo mismo con el libre albedrío y la espiritualidad, que hasta ahora han permanecido fuera del alcance de la ciencia, aunque desde un punto de vista diferente sí tienen explicación.

Bibliografía

1 – Bibliografía citada

ALFONSECA, M. *Human cultures and evolution*. Vantage Press, New York, 1979.

ALFONSECA, M.; CEBRIÁN, M.; FERNÁNDEZ ANTA, A.; COBIELLO, L.; ABELIUK, A.; RAHWAN, I. “Superintelligence Cannot be Contained: Lessons from Computability Theory”, *Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR)* 70 (2021) 65-76. DOI: <https://doi.org/10.1613/jair.1.12202>.

BERGSON, H. *L'évolution créatrice*, Félix Alcan, 1907. Traducción española: *La evolución creadora*, Espasa Calpe, Austral, 1973.

BOSTROM, N. “Are you living in a computer simulation?” *Philosophical Quarterly* Vol. 53, No. 211, pp. 243-255, 2003. <https://simulation-argument.com/simulation/>

CHAITIN, G. *Randomness and Mathematical Proof*, Scientific American 232, No. 5, mayo 1975, pp. 47-52.

CONWAY MORRIS, S. “Darwin’s Compass: How Evolution Discovers the Song of Creation”. The Boyle Lecture 2005, *FAITH Magazine* Nov.-Dec. 2005.

CONWAY MORRIS, S. *The crucible of creation: The Burgess Shale and the rise of animals*, Oxford University Press, 1998.

CRICK, F.H. “On Protein Synthesis”. In: Sanders, F.K., Ed., *Symposia of the Society for Experimental Biology, Number XII: The Biological Replication of Macromolecules*, Cambridge University Press, Cambridge, 138-163, 1958.

CRICK, F. *What mad pursuit: A personal view of scientific discovery*, Basic Books, New York, 1988.

DARWIN, CH. *The descent of man*, 1871. Traducción española: *El origen del hombre*. Edaf, Madrid, 1979.

DAWKINS, R. *The selfish gene*, Oxford University Press, 1976. Traducción española: *El gen egoísta. Las bases biológicas de nuestra conducta*. Salvat, Barcelona, 1994.

DOBZHANSKY, T., BOESIGER, E. *Human culture: a moment in evolution*. Columbia University Press, New York, 1983.

- EDDINGTON, A. *The Nature of the Physical World*. MacMillan 1928.
- GOULD, S.J. *Wonderful life*, W.W. Norton & Co. 1989. Traducción española: *La vida maravillosa*. RBA Editores 1989.
- MATURANA, H.R., VARELA, F.J. *Autopoiesis and Cognition: the Realization of the Living*, D. Reidel, Dordrecht, 1980.
- MAYNARD SMITH, J. *The problems of biology*. Oxford University Press, 1986.
- MONOD, J.; WYMAN, J; CHANGEUX, J.P. “On the nature of allosteric transitions: A plausible model”, *Journal of molecular biology*, mayo 1965, p. 88-118.
[DOI https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(65\)80285-6](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(65)80285-6)
- MONOD, J. *Le hasard et la nécessité, Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Éditions du Seuil, 1970. Traducción española: *El azar y la necesidad*, Tusquets, Metatemas, 1981.
- NAGEL, T. *The last word*, Oxford University Press, 1997.
- Ratzinger, J. *Creación y pecado*. EUNSA, 1992. Título alternativo: *En el principio creó Dios: consecuencias de la fe en la creación*.
- SOLS, F. *Heisenberg, Gödel y la cuestión de la finalidad en la ciencia*, Simposio Internacional *Ciencia y Religión en el sigloXXI: ¿diálogo o confrontación?* Fundación Ramón Areces, noviembre 2011.
https://sgfm.elcorteingles.es/SGFM/FRA/recursos/doc/Libros/580047617_24102012131732.pdf
- TEILHARD DE CHARDIN, P. *Le phénomène humaine*, Éditions du Seuil, 1955.
Traducción española: *El fenómeno humano*, Taurus, 1967.
- VENTER, C. *Life at the speed of Light*, Penguin, 2014. Traducción española: *La vida a la velocidad de la luz*. Crítica, 2015.
- WIENER, N. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press, 1948-1961. Traducción española: *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, Tusquets, 1998.

2 – Bibliografía para saber más

- ALFONSECA, M. *Un universo en evolución*. CEU Ediciones, Madrid, 2023.

- ALFONSECA, M. *Evolución biológica y cultural en la historia de la vida y del hombre*. CEU Ediciones, Madrid, 2017.
- ALFONSECA, M. *Viajes hacia lo infinitamente pequeño y lo infinitamente grande*. Ediciones Logos e Instituto de Filosofía Universidad Austral, Buenos Aires, 2015.
- ARANA, J. *¿Qué es la conciencia?* Editorial Senderos, Sevilla, 2022.
- FLEW, A. *Dios existe*. Trotta, Madrid, 2012.
- NAGEL, TH. *La mente y el cosmos*. Biblioteca Nueva, Madrid, 2014.
- PÉREZ DE LABORDA, M. ET AL. (EDS.) *¿Quiénes somos? Cuestiones en torno al ser humano*. Eunsa, Pamplona, 2018.
- RODRÍGUEZ VALLS, F. *Orígenes del hombre. La singularidad del ser humano*. Biblioteca Nueva, Madrid, 2017.
- RODRÍGUEZ VALLS, F. *¿Qué es la Antropología?* Editorial Senderos, Sevilla, 2020.
- SOLER GIL, F. J. *Mitología Materialista de la Ciencia*. Encuentro, Madrid, 2013.
- SOLER GIL, F. J. & ALFONSECA, M. (EDS.) *60 preguntas sobre ciencia y fe respondidas por 26 profesores de universidad*. Stella Maris, Barcelona, 2014. 2ª edición: *Preguntas sobre ciencia y fe: Respondidas por profesores de Universidad*. Schedas, Madrid, 2020.