

EL REDUCCIONISMO FISCALISTA EN LA OBRA BIOLÓGICA DE LINUS PAULING

Francisco Javier Serrano Bosquet. Instituto Tecnológico de Monterrey

Resumen: Linus Pauling, uno de los científicos más importantes e influyentes en el desarrollo de la biología del siglo XX, llevó a cabo sus trabajos de investigación en este ámbito marcado fuertemente por su concepción estructuralista de la química. No exenta de críticas, su concepción fiscalista de la biología le permitió estudiar no sólo fenómenos bioquímicos puntuales, sino extender sus exploraciones hasta el campo de la evolución molecular. A lo largo de las siguientes páginas intentaremos ver en qué consistió dicha concepción reduccionista así como los problemas de carácter ontológico y epistemológico con los que se tuvo que enfrentar.

Abstract: Linus Pauling, one of the most important and influential developer of biology in the 20th century, carried out his research work in this area strongly marked by a structuralist conception of chemistry. Not without criticism, his biology fiscalist conception allowed studies not only in specific biochemical phenomena, but extended his explorations to the field of molecular evolution. In the following pages we will try to see what this reductionist conception consisted in, as well as the ontological and epistemological problems that it faced.

Introducción

Linus Pauling, uno de los químicos más importantes del siglo XX fue también uno de los principales protagonistas en la constitución y desarrollo de la biología contemporánea. Los cambios producidos entre 1929 y 1935 en el Instituto Tecnológico de California —institución en la que trabajó como docente e investigador desde 1927 hasta 1963— con la creación de la nueva división de biología, la figura y el dinero omnipresentes de Warren Weaver¹, así como la necesidad que Pauling siempre manifestó por abordar nuevos y cada vez más complicados retos, fueron espoleándole hacia el estudio de sustancias orgánicas. En la amplia bibliografía existente en torno a la vida y obra del científico estadounidense se suele hacer referencia a esta época como un periodo de quiebra

1 Warren Weaver era entonces director de la División de Ciencias Naturales del Instituto Rockefeller. Conocido por algunos historiadores como “el principal banquero de la ciencia estadounidense” [Hager, Thomas (1998), p. 58], su principal objetivo al frente de esta división fue intentar sentar las bases de una nueva biología parecida y basada en los principios de la nueva mecánica cuántica. Muy pronto supo ver en el joven Pauling una de las personas indicadas para forjar el nacimiento de una nueva biología a la que, el mismo Weaver, bautizaría en 1938 como biología molecular.

con respecto a su trabajo anterior. Sin embargo, y a pesar del gran giro que el nuevo rumbo emprendido significaba —adentrarse en el ámbito de las ciencias de la vida— no podemos hablar de una total fractura con respecto a sus inclinaciones y preocupaciones anteriores. Debemos hablar, por el contrario, de una continuidad señalando, eso sí, los diferentes objetos de estudio en los que se centró y los diversos niveles de aproximación que llevó a cabo en cada momento. Pero debemos notar, ante todo, el mantenimiento de una posición teórica que se hace evidente si observamos la perspectiva metodológica, ontológica y epistemológica bajo la cual llevó siempre a cabo su trabajo. Aunque las sustancias cambiaran, aunque las motivaciones y problemas fueran en principio distintos, las respuestas finales seguían estando dentro del mismo orden: el descubrimiento de la estructura de las moléculas, las fuerzas que intervienen, sus propiedades y funcionamiento desde el punto de vista químico.

El debate filosófico en la arena de la biología

A mediados de los años 30 uno de los problemas principales con el que tenían que enfrentarse los biólogos era el de entender la naturaleza de los enlaces presentes en las sustancias “vivas”. Estos enlaces eran clasificados en dos grupos, los llamados enlaces “fuertes” y “débiles”. El más fuerte era el enlace químico covalente, el más débil el enlace de hidrógeno, también llamado fuerzas de Van der Waals. Muy pronto se vio cómo, a pesar de su debilidad, de ser efímeros y evanescentes, los enlaces de hidrógeno² jugaban un importante papel en la formación de las estructuras de las moléculas biológicas y, por consiguiente, de sus funciones específicas. Pero incluso Pauling, considerado entonces uno de los pocos científicos poseedores de una comprensión esencialmente completa del enlace químico, era tan sólo un pionero orientado en una tierra salvaje aún por explorar, una tierra sobre la cual había que construir un nuevo mundo: la biología molecular.

Durante cerca de sesenta años Linus Pauling estuvo fascinado con la idea de poder entender por qué hay organismos vivos en cualquier rincón de la Tierra, qué mecanismos habían sido los causantes del surgimiento de la vida y en qué consiste esa capacidad que muestran tantas formas distintas de vida de reproducirse de forma tan precisa. Todas estas cuestiones, propias desde hacía mucho tiempo de la reflexión y estudio biológico, empezaban entonces a ser debatidas en otros foros y por otros personajes. ¿Qué fue lo que ocurrió en el mundo de las ciencias de la vida para que un químico como Pauling se convirtiera en uno de sus protagonistas principales? Las razones de ello tenemos que buscarlas en el proceso de constitución y fundamentación de la nueva biología.

² De forma muy sencilla podemos adelantar que estos enlaces tan sólo se dan mientras dos grupos de átomos están lo suficientemente próximos como para producir fluctuación de cargas en los campos eléctricos respectivos. Esto hace que las cargas opuestas se atraigan y de ese modo se forme el enlace.

Los nuevos protagonistas

Desde la primera formulación de la teoría celular de Schleiden y Schwann³ (1.838-39) hasta la aparición en *Nature* del artículo de Watson y Crick sobre la estructura molecular del ADN (1953)⁴, la larga etapa de fundación de la biología contemporánea estuvo acompañada por un intenso cuestionamiento sobre su régimen filosófico. La constitución y desarrollo de las diversas ciencias de la vida que se dieron cita durante el siglo XX, se vieron siempre salpicadas por importantes cuestionamientos internos que, desde el siglo anterior, venían exigiendo la toma de una postura por parte del científico. Dentro de los debates entonces llevados a cabo, ligados en la mayoría de las ocasiones a la definición de vida, herencia (reproducción), relación forma/función entre otras, se escucharon las voces de mecanicistas, vitalistas, irracionalistas, organicistas, reduccionistas, deterministas... intentando dirigir, no sólo la interpretación de los nuevos descubrimientos, sino el desarrollo de las mismas investigaciones. Mientras, el empirismo lógico —inspirado en el fenomenismo de Mach, el primer Wittgenstein, la teoría de la relatividad y la teoría cuántica— mantenía la voz cantante en la génesis y desarrollo de la *filosofía de las ciencias inductivas* y, por extensión, de la *filosofía de la biología*.

En cualquier caso, tanto desde unas posturas como desde otras, las cuestiones fundamentales ante las que el biólogo tenía que responder eran las mismas; la naturaleza de la vida y el papel que la biología como disciplina científica debía desempeñar en su explicación. Cuestiones como *¿Qué es la vida? ¿En qué sentido puede considerarse la biología una ciencia? ¿Cómo explica la biología el mundo vivo?* se convirtieron en algunas de las primeras cuestiones a resolver y ante las que la biología del siglo XX supo dar —tal y como señalara Ernest Mayr⁵— tres grandes respuestas; la fisicista (o fisicalista), la vitalista y la organicista.

Fue dentro de este complejo contexto científico y filosófico donde aparecieron en el ámbito de la biología personajes provenientes de otros campos, como los de la física y la química. Fue el caso de Linus Pauling, cuya aportación no quedó reducida al descubrimiento de nuevos fenómenos biológicos, sino que fue mucho más allá al introducir y desarrollar nuevas prácticas de investigación biológica inspiradas en el modelo fisicalista que tan buenos resultados le había dado en el ámbito de la química. Ahora bien, ¿en qué consistió ese fisicalismo o fisicismo?

3 Investigaciones microscópicas sobre la concordancia de la estructura y el crecimiento de las plantas y los animales (1839)

4 Watson, J. D. y Crick, F. H. C (1953)

5 Mayr, Ernest (1998)

Fisicismo. La agonía de una materia viva

Aunque encontramos los primeros intentos de mecanización de la imagen del mundo en los filósofos griegos y el desarrollo tecnológico de finales de la Edad Media y comienzo del Renacimiento, su consolidación podemos situarla en la utilización de las matemáticas como instrumento de refuerzo de la explicación del cosmos —contribuyendo a la mecanización de la imagen del mundo— en las obras de Galileo, Kepler y Newton. En el ámbito biológico, por su parte, hallamos las más claras referencias en las obras de Descartes y La Mettrie. La aplicación a finales del siglo XIX del experimentalismo en biología —que tan buenos resultados mostrara en otros campos— había dado como resultado un notorio cambio en la visión de la realidad y la propagación de un materialismo filosófico que, una vez iniciado en el campo de la fisiología, se extendió por todo el campo de las ciencias de la vida. Esta nueva perspectiva vendría a sustituir a un idealismo que aún subsistía en la embriología, la taxonomía, la anatomía comparada y los estudios que sobre la evolución y la conducta animal entonces se realizaban.

Pero no fue hasta mediados del siglo XIX cuando la concepción mecanicista de los fenómenos biológicos empezó a asumir un claro papel protagonista dentro de la ciencia. Frente a las teorías vitalistas de la primera mitad del siglo, los químicos probaron experimentalmente la posibilidad de obtener de modo sintético un gran número de sustancias orgánicas, lo que significaba que éstas no tenían una naturaleza distinta a la de las sustancias inorgánicas. A ello se vino a sumar la demostración de que el principio de conservación de la energía era aplicable tanto a los acontecimientos del mundo viviente como a los del mundo inanimado, dando lugar al reforzamiento de la reconciliación que empezaba a darse entre la biología, la física y la química⁶.

Los fisiólogos, por su parte, fueron capaces de probar que el método experimental era tan posible y fecundo en su campo como lo era en el de la física. Destacaron los nombres de fisiólogos como Franz Joseph Gall, François Magendie y Johannes Peter Müller. Pero, por encima de todos, hay que señalar a Claude Bernard, autor de una de las más importantes obras de metodología de la ciencia del siglo XIX: “Introducción al estudio de la medicina experimental”⁷.

Esta nueva tendencia antivitalista se vio favorecida por el uso de aparatos cada vez más precisos en el estudio de fenómenos fisiológicos y por las concepciones formuladas por Mayer y Helmholtz sobre las transformaciones energéticas.

⁶ Serrano Bosquet, Francisco Javier (2006), p. 19.

⁷ Claude Bernard, 1865. Quienes deseen adentrarse en la obra y filosofía de Claude Bernard se recomienda la lectura de la obra de Escarpa Sánchez-Garnica, Dolores (2004).

El fin del vitalismo

A pesar de ello, la adopción del mecanicismo no fue inmediata. Si ya en el siglo XVII apareció un gran número de contraargumentaciones frente a diversos aspectos del fisicismo, fue en Alemania —donde más estudios biológicos se llevaban a cabo— donde apareció en el siglo XIX toda una serie de argumentaciones agrupadas bajo la etiqueta de vitalistas. Dicho rótulo resultaba válido en cuanto que las argumentaciones presentadas defendían la existencia de propiedades específicamente biológicas en los seres vivos, pero se mostraba insuficiente en cuanto que no permitía dar cuenta de la gran heterogeneidad existente⁸. De ahí que, frente a los intentos hechos por los últimos vitalistas, la fragilidad de este tipo de explicaciones se hiciera cada vez más evidente.

Ernest Mayr señaló cuatro razones y factores fundamentales del rápido declive del vitalismo en el siglo XX⁹: el vitalismo se veía cada vez más como un concepto metafísico que científico; la creencia de que los organismos estaban formados por una sustancia especial fue perdiendo apoyo; todos los intentos por demostrar la existencia de una fuerza vital no material acababan fracasando; el desarrollo de nuevos conceptos biológicos que —resultado principalmente del auge que vivieron la genética y el darwinismo — explicaban los fenómenos que solían citarse como pruebas del vitalismo, empezaban a describirse desde una perspectiva mecanicista¹⁰.

Primeras notas en torno al fisicalismo de Linus Pauling

En la década de 1930, momento en el que Linus Pauling comenzó a desarrollar sus primeros trabajos en el ámbito de la biología, el positivismo ya había señalado que toda investigación biológica debía estar centrada en el estudio de los fenómenos biológicos en términos físicos y químicos. El universo —vendría a decir en ese sentido el mismo Pauling— está constituido “por sustancias (formas de materia) y energía radiante”¹¹ por lo que, a la hora de intentar encontrar la razón primera de todo cuanto hay, debemos buscar en la

8 Muchas de estas contraargumentaciones quedaron invalidadas durante las primeras décadas del siglo XX a través del concepto de *programa genético*.

9 Mayr, Ernest (1982)

10 Ciertamente, no obstante, que el fin del vitalismo entre los biólogos dio lugar a varias situaciones curiosas, entre las que cabe destacar la siguiente. Mientras algunos de los físicos más importantes —como fue el caso de Niels Bohr— empezaron a sugerir que los organismos podían estar regidos por leyes especiales que no se dan en la naturaleza inanimada, muchos biólogos empezaron a ver que ciertos principios recientemente descubiertos por la física —teoría de la relatividad, principio de la complementariedad, mecánica cuántica y principio de incertidumbre— permitían conocer mejor los procesos biológicos.

11 Pauling, Linus (1947), p. 3.

Naturaleza la unidad última que constituye el universo material, los átomos de la mecánica cuántica, y las relaciones que se producen entre ellos, los enlaces que se dan entre los átomos. Esta última parte es fundamental para entender el pensamiento y obra científica del químico estadounidense. Las propiedades de todo cuanto existe —señalaba Pauling— no es tan sólo producto de la mera reunión de sustancias, de materia, como apuntaba la química descriptiva, ni su realidad y características se hallaban tan sólo en la mente del científico. Ya sean físicas o químicas, las propiedades que observamos en la materia —viva o inerte— son reales y resultado de la disposición e interacción real que se da entre los átomos que constituyen la materia. Es decir, son consecuencia de su estructura interna. Ahora bien, a la hora de hablar de la estructura de la materia debemos distinguir, tal y como señala Pauling, dos niveles estructurales últimos: el atómico y el molecular¹².

Ciertamente, el átomo constituye la unidad estructural última que permanece cuando tienen lugar las reacciones químicas, encontrándose además siempre presente en todos los sólidos, líquidos y gases. Sin embargo, el universo no está constituido a partir de átomos aislados, sino unidos, formando estructuras geométricas responsables de las propiedades que observamos en la materia. De ahí, que dichas propiedades no dependan sólo de los átomos que conforman los objetos, también lo hacen de la relación geométrica que se da entre sus partes y de la naturaleza del enlace químico que da unidad al conjunto de átomos que conforman la materia, sea ésta o no biológica. De esa forma Pauling pudo llevar a cabo una extensión de sus ideas de enlace químico, resonancia y estructura molecular, desarrolladas en sus investigaciones químicas al estudio de sustancias biológicas como la hemoglobina. Como podemos ver, dichos trabajos no supusieron una gran fractura con respecto a su trabajo anterior, las respuestas finales seguían estando dentro del mismo orden: el descubrimiento de la estructura de las moléculas, las fuerzas que intervienen, sus propiedades y funcionamiento desde el punto de vista químico. Este acercamiento fisicalista al problema de la vida suponía la aplicación del método analítico, que tanto éxito había tenido en el mundo físico, al mundo de la biología con el fin de aclarar muchos de los fenómenos biológicos a nivel atómico y molecular. El éxito en la aplicación de este método llevó a muchos científicos a ver en el mismo la única investigación biológica esencialmente significativa.

Linus Pauling y Erwin Schrödinger

Como estamos viendo, para el químico estadounidense las unidades funcionales últimas a partir de las cuales hay que explicar los fenómenos y procesos biológicos los encontramos en los niveles atómico y molecular. Así, las explicaciones biológicas deben estar basadas en las leyes de la física y la química. De ese modo, las teorías y leyes experimentales formuladas en biología o

12 Pauling, Linus (1947)

medicina pueden considerarse casos especiales de las teorías y leyes enunciadas en la química y, finalmente, la física. Este planteamiento epistemológico de Pauling viene a coincidir con el de Schrödinger, para quien la pregunta a la que ha de responder la ciencia vendría a ser: “¿Cómo pueden la Física y la Química dar cuenta de los fenómenos espacio-temporales que tienen lugar dentro de los límites espaciales de un organismo vivo?”¹³ Frente a la incapacidad que entonces estas disciplinas mostraban para explicar los fenómenos biológicos cabían dos tipos de respuesta: aquellas que apuntaban hacia la existencia de leyes biológicas que estaban más allá de la física y la química, como defendía Max Delbrück¹⁴, y aquellas respuestas que, como la de Schrödinger, indicaban que “la evidente incapacidad de la Física y la Química actuales para tratar tales fenómenos no significa en absoluto que ello sea imposible”¹⁵. La misión de la ciencia debía consistir entonces en extender el lenguaje, la matemática y la metodología de la física cuántica al estudio de las estructuras básicas de la biología. Pero, ¿hasta dónde? ¿Cabía reducir la biología finalmente a un caso particular de la física y la química? Estas cuestiones, entre otras, obligaban a la biología a replantearse su propia historia de constitución científica.

La constitución de la biología como ciencia

Durante el siglo XIX la biología luchó por dejar atrás su dimensión puramente descriptiva y especulativa intentando convertirse en una ciencia experimental. La constatación de que las diferencias existentes entre el mundo animado e inanimado no eran ni de orden material ni energético, sino estructural, hizo que desde muy pronto la organización apareciera como uno de sus objetos propio de estudio. Resultado de ello, fue la aparición de dos ramas principales; aquella centrada en el estudio del organismo en su totalidad y aquella que reducía al organismo en sus partes. Ésta última llevó a la prolongación del mundo inanimado en el animado, a la unión de la física y la química con la biología. Ahora bien, ¿cómo estudiar estas estructuras? ¿Cómo dar cuenta del orden que observamos en los seres vivos? Este acercamiento y el intento de la biología por constituirse formal y materialmente como una auténtica disciplina científica, llevó a adoptar el modelo explicativo de la estadística mecánica decimonónica. La explicación mecanicista hacía derivar todas las propiedades de los cuerpos de su estructura material, asociando dos conceptos hasta ese momento extraños entre sí: el orden y el azar. Ya no se pretendía dar una explicación causal de los acontecimientos, no se intentaba explicar por qué se producen, sino cómo. Consecuencia de ello, fue la pérdida de significado de la noción de *causalidad*, la cual no se recobraría en parte hasta principios del siguiente siglo, cuando autores como el mismo Schrödinger intentaron, aunque sin éxito, llevar a cabo la

13 Schrödinger, Erwin (1944), p. 15

14 Delbrück, Max (1949)

15 Schrödinger, Erwin (1944), p. 15

recuperación de conceptos clásicos como éste¹⁶. Bajo este modelo las nociones de energía y equivalencia condujeron a la aparición de una nueva representación del mundo viviente, al hacer patente la existencia de un nexo común entre la física y la química de los seres vivos con la del resto de sistemas. Además, establecían un fundamento común entre las diversas actividades del organismo, a la vez que la energía empezaba a sustituir de manera casi definitiva a la fuerza vital.

Sin embargo, a principios del siglo XX aún nada explicaba la unión de las células, el lugar de los átomos en los isómeros o la especificidad de las arquitecturas moleculares. La mecánica estadística se limitaba a interpretar el comportamiento medio de las grandes poblaciones moleculares. Por otro lado, diversos análisis basados en la cualidad de algunas sustancias contenidas en los cromosomas habían demostrado que los caracteres de los seres vivos no procedían de fenómenos estadísticos. Es decir, su orden no podía producirse a partir del desorden. Entonces, ¿de dónde podía proceder el extraordinario orden y complejidad que observamos en los seres vivos? La mecánica estadística tuvo que renunciar al conocimiento de la estructura interna de un sistema clave localizado en el núcleo de las células. Empezó a aparecer el concepto de información como el instrumento de acceso a este orden y su transmisión. Fue entonces cuando empezó a verse que la entropía y la información se encontraban relacionadas íntimamente entre sí, como el anverso y el reverso de una moneda: en un sistema dado, la entropía mide el grado de desorden y el grado de nuestra ignorancia sobre la estructura interna; la información nos da la medida del orden y de nuestro conocimiento. La información era, por consiguiente, lo que se podía medir, transmitir y transformar. De este modo, todo sistema organizado podía analizarse a partir de dos conceptos: el del mensaje y el de la regulación por retroacción. La herencia —uno de los grandes problemas con los que tenía que enfrentarse la biología— empezó a ser vista como la transmisión de un mensaje que se repite generación tras generación: en el núcleo del huevo se encuentra el *programa embriogenético* rigurosamente prescrito¹⁷.

Clave fue entonces, como ya hemos adelantado, Schrödinger quien planteó desde muy pronto una concepción de la vida en términos de orden/desorden bajo una perspectiva fisicalista opuesta al vitalismo y al organicismo. Ahora bien, en sus primeros trabajos encontramos una posición fisicalista muy cercana a la de la mecánica estadística, como podemos ver por ejemplo en su artículo “¿Por qué son

16 Debemos de tener muy presente que la manera en que hoy en día conocemos, concebimos la naturaleza, es fruto en gran parte de la termodinámica: nuestro mundo relativista y de incertidumbres, sometido a las leyes cuánticas y a la teoría de la información, en el que materia y fuerza no son sino dos aspectos de una misma cosa, es el resultado de un devenir cuyo germen, cuyo origen, se explica en esta disciplina.

17 Este *programa* donde descansa el orden de un ser vivo ha de ser la estructura de una gran molécula que, por razones de estabilidad, de organización, tiene que asemejarse a la de un cristal (como veremos más adelante a la de un “cristal aperiódico”).

los átomos tan pequeños?”¹⁸, de la que se fue poco a poco distanciando. Frente a la física clásica, para la que —apoyada en las tesis de la termodinámica— el orden es resultado del desorden, el físico austríaco propuso una nueva tesis: *orden a partir de orden*. Si bien ya es complejo comprender —vendría a decir— cómo la arquitectura, la estructura compleja de un ser vivo puede ser entendida a partir de un “orden probabilístico”, mucho más lo es hablar en esos términos de la herencia. Y es que, tal y como ya se había demostrado, “grupos increíblemente pequeños de átomos, excesivamente reducidos para atenerse a las leyes estadísticas, desempeñan de hecho un papel dominante en los ordenados y metódicos acontecimientos que tienen lugar dentro de un organismo vivo”¹⁹. Era necesario, por consiguiente, descubrir la estructura de esas moléculas que, no sólo daban cuenta de sus funciones autorreplicantes (la perpetuación de su propia estructura y con ello de la información genética), sino que también lo hacían de la estructura completa del organismo y de sus actividades metabólicas.

Para tal fin, había que desarrollar una nueva física que permitiera dar cuenta de la habilidad de estos sistemas —los genes²⁰— bajo los cuales están conformados los seres vivos siguiendo ciertas pautas que permitieran, a su vez, dar cuenta de las divergencias que encontramos dentro de un organismo y entre los distintos individuos. Para ello, Schrödinger propuso la idea de una *crystal o sólido aperiódico* que, aunque no se repetía indefinidamente una y otra vez de forma idéntica en el espacio, sí cristalizaba y daba cuenta de su orden interno y de aquel que se observaba en la naturaleza viva²¹.

Ahora bien, hablar de orden y transmisión de ese orden (herencia) en estos términos suponía hablar de la estabilidad de unas estructuras moleculares de la que había que dar cuenta desde un punto de vista físico y químico no estadístico. El secreto estaba, según Schrödinger, en la *discontinuidad cuántica*. Frente a la renuncia al principio de causalidad que la mayoría de los científicos aceptaban, como pago al empleo de álgebras no conmutativas —a las que obligaban las restricciones cuánticas—, Schrödinger propuso una lectura distinta: la estabilidad de las estructuras moleculares estaban determinadas directamente por el *cuanto de acción*. Y es que, la discretización cuántica imponía la presencia de un número limitado de estados atómicos posibles así como las condiciones restrictivas al paso de uno a otro. De esa manera, la mecánica cuántica hacía

18 Schrödinger, Erwin (1933). En este artículo sostiene que los seres vivos son compuestos comparativamente muy grandes respecto al tamaño de los átomos con el fin de escapar de la inestabilidad termodinámica y permanecer en una zona segura donde imperaran las leyes de los “grandes números” [Ver Arana, Juan (1998), p. 161]

19 Schrödinger, Erwin (1944), p. 35. Cita extraída de Arana, Juan (1998), p. 164

20 Por gen debemos entender la unidad de herencia que rige la reproducción de una función, ya sea estructural, metabólica o de señalización. Es necesario tener presente que para Schrödinger, así como para un número aún muy elevado entonces de científicos, el secreto de la vida no estaba en los ácidos nucleicos sino en moléculas proteínicas.

21 Schrödinger, Erwin (1944)

posible volver a confiar en la legalidad del cosmos más allá de las leyes estadísticas²².

Estas ideas pronto se llevaron al campo de la química cuyas leyes no dejaban de ser hasta entonces meras generalizaciones empíricas. Fueron precisamente dos discípulos de Schrödinger —Fritz London y Walter Heitler²³— quienes, junto al mismo Linus Pauling y John C. Slater, desarrollaron la teoría cuántica del enlace químico²⁴. Gracias a esta teoría, se hizo posible encontrar los secretos de estructuras moleculares cada vez más complejas y sus transformaciones.

A pesar de las palabras de Max Perutz²⁵, el traspaso de las ideas físicas de Schrödinger al ámbito de la biología fue rápido. Ciertamente no podemos decir que él mismo llevara a cabo directamente dicho traspaso, pero la influencia que su obra —tanto física como biológica— tuvo en otros autores, como es el caso del mismo Pauling, lo hizo posible. De esa forma, a pesar de la escasa atención que —según Perutz— Schrödinger prestó a la química, la influencia que sobre los químicos tuvo, hizo que éstos llevaran a cabo tal aplicación. La idea de que “la vida parece ser —vendría a decir el físico austriaco— el comportamiento ordenado y reglamentado de la materia, que no está asentado exclusivamente en

22 Ver Arana, Juan (1998), p. 166

23 Trabajando de cerca con Schrödinger, Fritz London y Walter Heitler encontraron una forma para usar la ecuación de onda que permitiera el desarrollo de un modelo matemático de un enlace químico simple. Tal modelo estaba basado en la aplicación del intercambio de energía de Heisenberg. Según esta teoría cuando dos átomos se aproximan el electrón —por tener una carga eléctrica negativa— se veía atraído por el núcleo del otro átomo —que tiene una carga positiva— y viceversa. De esa forma los dos electrones se encuentran en cierto sentido saltando de un átomo a otro entre los dos núcleos, creándose un intercambio de electrones de varios billones de veces por segundo [Hager, Thomas (1998), p. 42.]. Combinando esta idea con la ecuación de onda de Schrödinger, Heitler y London calcularon que esta fuerza de atracción entre los electrones y núcleos respectivos se vería compensada en un punto por la fuerza de repulsión que se debía dar entre los dos núcleos. De esa forma se crearía un enlace químico con una distancia y una fuerza definida. Este modelo fue aplicado y probado en el enlace que se produce entre dos átomos de hidrógeno. Se trataba evidentemente de un gran triunfo, la primera extensión de la mecánica ondulatoria de Schrödinger al nivel de las moléculas y la primera vez que la nueva física era utilizada exitosamente para explicar la naturaleza del enlace químico.

24 *Teoría de Heitler-London-Slater-Pauling (HLSP) del enlace químico*. Tiempo después fue rebautizada como *teoría del enlace de valencia*, contando con la aprobación por parte de Slater y Pauling en cuanto a que ambos habían alcanzado al mismo tiempo y de forma independientemente casi las mismas conclusiones.

25 Max Perutz llegó a decir respecto a la obra de Schrödinger *¿Qué es la vida?*: “Un estudio profundo de su libro y de la literatura relacionada me demostró que todo aquello que encontramos verdadero en su libro no era original, y que la mayor parte de lo que era original ya se sabía entonces que no era verdad... las contradicciones evidentes que parecen darse entre la vida y las leyes estadísticas de la física pueden ser resueltas invocando una ciencia a la que Schrödinger no prestó gran atención. Esa ciencia es la química” [Perutz, M. (1987)]

su tendencia a pasar del orden al desorden, sino basado en parte en un orden preexistente que es mantenido”²⁶ no cayó en saco roto.

La concepción fiscalista de Linus Pauling

Aunque Pauling se mostrara crítico con el texto de Schrödinger *¿Qué es la vida?*²⁷, debemos destacar en su obra la presencia de un fiscalismo y un reduccionismo cercanos a los propuestos por el físico austriaco. Su invitación a ver al gen como un cristal *aperiódico* y extender la metodología utilizada en física al ámbito de las ciencias biológicas fueron —tal y como señalaron algunos de los protagonistas de la temprana biología molecular²⁸— claves en el desarrollo de una nueva perspectiva sobre la vida. En el caso de Pauling, estas ideas y la utilización del método estocástico²⁹ presentes en la nueva química estructural, tuvieron su reflejo en sus trabajos de biología. Veamos algunos ejemplos.

La postura fiscalista de Pauling se hace evidente desde el momento en el que prestamos atención en la elección inicial del material que se propone estudiar: la hemoglobina. A pesar de la enorme complejidad de dicha molécula, ésta le ofrecía una gran ventaja; la capacidad de cristalizarse. Ello tenía dos importantes implicaciones —una ontológica y otra epistemológica— y una gran ventaja metodológica; desde el punto de vista ontológico y epistemológico hablaba de una estructura regular y repetitiva, de un orden interno resultado de la disposición regular de los átomos y de una interacción predefinida. Por ello, la comprensión de los fenómenos biológicos —tal y como había apuntado Schrödinger— debía partir del descubrimiento de dichas estructuras regulares. Ahora bien, ¿cómo podía llevarse a cabo tal comprensión? Por tratarse de un cristal, de una estructura regular, era posible extender a la biología la metodología que se había

26 Schrödinger, Erwin (1944), p. 95. Cita extraída de Arana, Juan (1998), p. 166

27 “Cuando leí por primera vez este libro, hace cerca de 40 años, estuve decepcionado. Entonces, e incluso ahora, creo que Schrödinger no hizo ninguna contribución a nuestra comprensión de la vida” [Pauling, Linus (1987)]

28 M. Delbruck, G. Stent, J.F. Watson, M.F. Wilkins y S. Benzer entre otros.

29 En la década de 1930 Pauling describió a Karl Darrow la forma en la que llevaba a cabo sus investigaciones químicas. Fue éste quien en una carta fechada el 23 de mayo de 1932 le hacía saber que ese método ya tenía un nombre: método estocástico. En dicha emisiva Darrow señalaba que en un texto de química de 1909 el autor utilizaba este término tomado del griego pudiéndose traducir como “adivinar la verdad por conjetura”. Pero la forma en la que Pauling llevó a cabo sus conjeturas no resultó ser un simple juego de suposición y creación de estructuras, había que saber mucha física y mucha química para llevar a cabo dichos planteamientos. Esta capacidad le permitió ver antes que nadie la solución de algunos de los problemas químicos más espinosos. Aunque varias de las propuestas de Pauling fueron erróneas —una de las más famosas fue su modelo de tres hélices del ADN— este método le reportó sus triunfos más importantes.

Quien quiera ver con algún mayor detenimiento en qué consistió y cómo utilizó Linus Pauling el método estocástico se recomienda ver Serrano Bosquet, Francisco Javier (2009).

estado empleando en el estudio de los cristales inorgánicos. De ese modo, Pauling contribuyó a la construcción de una nueva forma de mirar, de atacar las estructuras de las sustancias biológicas. Es decir, las explicaciones había que buscarlas en los niveles inferiores de complejidad, en el nivel atómico y molecular. Al igual que hiciera en el ámbito de la química³⁰, Pauling combinó distintas estrategias a la hora de resolver la estructura de las formas moleculares biológicas más complejas. Para ello fue clave —como ya señalamos— la utilización del método estocástico que tan buenos éxitos le había producido en el ámbito de la química. En este campo, Linus Pauling —al igual que Carl Niemann— se inclinó, frente al intento llevado a cabo por investigadores británicos como John D. Bernal³¹, por un método indirecto basado en los principios de la química cuántica. Gracias a esta estrategia metodológica, Linus Pauling había resuelto la estructura tetraédrica del carbono. La reunión de datos químicos, físicos, matemáticos y una extraordinaria memoria le permitió, a través del dibujo de esquemas relativamente sencillos, descubrir dicha estructura. En el caso de la biología, la realización de numerosos dibujos más complejos, aproximaciones matemáticas y la construcción de sencillas estructuras tridimensionales en papel, inspirándose en los modelos desarrollados en el siglo XIX por químicos como Dalton³², le permitieron resolver complicadas estructuras orgánicas.³³

El problema del reduccionismo

Sin embargo, a pesar de los extraordinarios resultados obtenidos, la metodología desarrollada por Pauling no quedó exenta de importantes críticas. Frente a esta actitud reduccionista muchos biólogos conservadores vieron en el método analítico una excelente forma de hacer buena física o química, pero algo poco práctico a la hora de atender los problemas biológicos más importantes. Cierto es que ambas posturas extremas —la analítica y la fuerte voz crítica que

30 Se recomienda ver el capítulo “La utilización del ‘método indirecto’ en biología” en Serrano Bosquet, Francisco Javier (2009), p. 414.

31 John D. Bernal fue un destacado científico pionero en el ámbito de la Cristalografía de rayos X al obtener junto a su equipo las primeras fotografías de rayos X de cristales proteicos. También es una de las principales figuras de la historia de la ciencia por su revolucionaria obra de 1939 *La función social de la ciencia*, para muchos autores el primer texto de sociología de la ciencia.

32 Quien construyó modelos de madera para ilustrar las combinaciones entre los átomos.

33 La nueva senda abierta por el químico estadounidense con el planteamiento de un nuevo enfoque estructural en el estudio de las moléculas biológicas fue clave en el desarrollo de la biología del siglo XX. Uno de los mejores ejemplos de ello lo encontramos en el papel que desempeñaron los estudios de difracción de los rayos X y la introducción de su método indirecto (Principalmente la elaboración de modelos con trozos de papel y otros materiales que representaran las moléculas) en el descubrimiento por parte de Watson y Crick de la doble hélice del ADN.

frente a ella se levantó— se percibieron pronto como insuficientes para poder dar cuenta de los verdaderos problemas que la biología debía abordar. Sin embargo, ambas colaboraron —involuntariamente— en la manifestación y confirmación de un importante problema que debía resolverse: el llamado “problema del reduccionismo”.

A pesar de los esfuerzos de Pauling y otros investigadores por explicar los fenómenos biológicos, como el de la herencia, en términos tan sólo físico-químicos, ¿son realmente los procesos y entidades físico-químicas la base de todos los fenómenos vivientes? ¿Debemos buscar siempre explicaciones de cuanto acontece en el mundo biológico a partir del estudio de los procesos fundamentales en los niveles inferiores de complejidad? ¿Las teorías y leyes experimentales formuladas en un campo de las ciencias biomédicas, pueden considerarse casos especiales de teorías y leyes formuladas en algún otro campo científico como la física o la química? Cada una de estas cuestiones, de estos interrogantes, corresponde a uno de los tres campos o niveles desde los cuales se llevaron a cabo las discusiones en torno al reduccionismo en biología: el ontológico, el metodológico y el epistemológico. De forma simple podemos caracterizar brevemente cada uno de estos campos en los siguientes términos.

Reduccionismos ontológico, metodológico y epistemológico

La pregunta central en torno a la cual giraba el debate en el campo ontológico puede sintetizarse en los siguientes términos: *¿Los procesos y entidades físico-químicas son la base de todos los fenómenos vivientes?* Para Theodosius Dobzhansky la respuesta a esta cuestión era muy sencilla: “la mayor parte de los biólogos... son reduccionistas [ontológicos] en tanto que ven la vida como un ejemplo de procesos físicos y químicos altamente complejo, esencial e improbable. Para mí, éste es el reduccionismo «razonable»”³⁴. Frente a los vitalistas, para quienes la vida es el efecto de un principio o entidad inmaterial al que se suele denominar “fuerza vital”, “entelequia”, “élan vital”, “alma”, “energía radial” o similares, el reduccionismo ontológico vino a afirmar que las leyes de la física y la química se deben aplicar plenamente a todos los procesos biológicos a nivel de los átomos y las moléculas. El vitalismo, aún con cierta presencia cuando Pauling comenzó su carrera científica, se empezaba ya a ver, bajo el esquema del positivismo, como una vía sin salida en la fisiología de la biología; *un principio inmaterial no puede ser objeto de estudio de la ciencia, ya que no permite desarrollar hipótesis científicas verdaderamente comprobables.*

Desde una perspectiva metodológica, las cuestiones principales giraban en torno a la estrategia de investigación o a la adquisición del conocimiento mismo. Francisco Ayala señala al respecto:

34 Ayala, Francisco J. y Theodosius Dobzhansky (1983, Eds.), p. 23

«[E]n el estudio de los fenómenos vitales, ¿hemos de buscar siempre las explicaciones investigando los procesos fundamentales a niveles inferiores de complejidad, y finalmente a nivel de átomos y moléculas, o debemos buscar una comprensión basada en el estudio de niveles de organización tanto inferiores como superiores? ¿Existen algunas respuestas generales a estas preguntas, o resultan apropiadas distintas respuestas en disciplinas biológicas distintas?»³⁵

Finalmente llegamos al campo epistemológico³⁶, lugar donde encontramos uno de los debates filosóficos más importantes, influyentes y controversiales: *¿Las teorías y leyes experimentales formuladas en un campo de la ciencia, pueden considerarse casos especiales de teorías y leyes formuladas en algún otro campo científico?* Si esto es así —señala Ayala³⁷—, la primera rama de la ciencia queda reducida a la segunda. La ciencia, entendida como la organización sistemática del conocimiento que se tiene del universo sobre la base de hipótesis explicativas verdaderamente comprobables, ve en la integración de teorías científicas un camino de simplificación y aumento de su poder explicativo. Por ello, la reducción de distintas teorías en una más comprensible parece ajustarse al objetivo de la ciencia. De hecho, encontramos numerosos ejemplos en la historia de la ciencia de importantes y revolucionarias reducciones de toda una rama de la ciencia a otra. Uno de estos intentos lo hallamos en la reducción a unas pocas teorías muy generales (como ocurrió con la mecánica cuántica y la relatividad) de varias ramas de la física y la astronomía. En el caso de la química, varias de sus ramas fueron reducidas y llevadas al campo de la física después de descubrirse que la valencia de un elemento guardaba una relación sencilla con el número de electrones del orbital externo del átomo. Por su parte, en el campo que ahora nos ocupa, el de la biología, muchas de las teorías e hipótesis dadas en torno a diversos fenómenos observados habían podido ser explicadas finalmente en términos químicos, sobre todo tras el descubrimiento de la estructura y el comportamiento de ciertas moléculas como las proteínas —precisamente por Linus Pauling—, el ADN, el ARN y ciertas enzimas³⁸.

Protagonista en la implementación y desarrollo de este reduccionismo, así como del cambio orquestado en la forma de investigar la herencia y la materia viva, el éxito de esta y otras reducciones, demuestran que para Linus Pauling el objetivo final de toda disciplina biológica era explicar sus teorías y leyes experimentales como casos especiales de leyes físicas y químicas.

35 Ayala, Francisco J. y Theodosius Dobzhansky (1983, Eds.), p. 11

36 Es precisamente en este nivel —el epistemológico— donde suelen darse las dos posturas extremas que hemos visto representadas anteriormente: tanto los reduccionistas como los irreduccionistas más extremos discuten principalmente en torno a la validez y extensión de las explicaciones físico-químicas en el ámbito de las ciencias biomédicas.

37 Ayala, Francisco J. y Theodosius Dobzhansky (1983, Eds.), p. 12

38 Si bien es cierto —tal y como señala K. Popper— que estos reduccionismos no tuvieron un éxito rotundo, sí que constituyeron algunos de los logros más notables de la ciencia.

La singularidad de la explicación biológica

Empero, un importante número de autores sostenía que el problema de constitución de la biología como disciplina científica seguía sin resolverse completamente. La singularidad de los fenómenos a estudiar, su extraordinaria complejidad y organización jerárquica —que va de los átomos y las moléculas, pasando por las células, tejidos, organismos individuales, hasta las poblaciones y los ecosistemas— reclamaba una explicación que diera cuenta de dichos niveles desde distintas disciplinas. Se hacía necesario el desarrollo de una nueva epistemología, de un nuevo tipo de explicación que explicara el mundo vivo y el tipo de causación que podemos encontrar en el ámbito de la vida.

El carácter irreplicable de muchos de los fenómenos biológicos, así como la reivindicación de la importancia de la historicidad de los seres vivos, había hecho que la biología fuera considerada durante mucho tiempo como una pseudociencia. Tan sólo, tras la extinción final del vitalismo ontológico y dogmático³⁹, empezó a ser tomada en serio por una parte importante de la comunidad científica. Para ello fueron esenciales las aportaciones de Thomas A. Goudge⁴⁰ y David L. Hull⁴¹ así como de otros autores al demostrar que el enfoque histórico-narrativo era el enfoque más oportuno tanto desde el punto de vista científico como filosófico para explicar fenómenos únicos. De esa forma —proponían— la explicación biológica podía dar cuenta de la pluralidad de factores, la cadena causal que hace posible la inferencia retrospectiva de la causalidad y la existencia de causas próximas y remotas que dan cuenta de un fenómeno biológico.

El Reloj molecular evolutivo

Linus Pauling no podía ignorar este debate entre fisicalistas y antirreduccionistas, las críticas que se hacían a su visión reduccionista ni la necesidad de introducir la explicación histórica, narrativa, principalmente evolutiva, en biología. A pesar de los intentos de Pauling y otros científicos procedentes principalmente de la física y la química, no podía dejar de reconocerse que los actuales sistemas vivos no eran sólo estructuras físico-químicas, sino también resultados de una trayectoria evolutiva. De ahí que surgiera una pregunta: ¿Hasta dónde era oportuno comprometerse con la visión fisicalista de la biología? La respuesta de Pauling fue nuevamente sorprendente. Frente a los intentos llevados a cabo por autores como Mayr para hacer salir a la biología de un provincialismo que la hacía total o casi totalmente dependiente de la física y la química, el científico estadounidense comenzó en la década de 1960

39 Mayr, Ernest (1982), p. 35

40 Goudge, Thomas A. (1961)

41 Hull, D. L. (1975)

una nueva línea de investigación junto a Emile Zuckerkandl que revolucionaría, en parte, el campo de los estudios evolutivos.

En la conferencia impartida en el *Evolving Genes and Proteins symposium* llevado a cabo en *Institute of Microbiology of Rutgers University* en 1964⁴², Zuckerkandl y Pauling presentaron ante el auditorio un trabajo con el que querían señalar de forma clara las dos líneas de la paleogenética química desde las que se estaba abordando entonces el problema de la evolución. Por un lado, señalaron, se encontraban los taxonomistas y evolucionistas que trataban de ver la evolución desde la perspectiva del organismo completo. Por otro lado, estaban los bioquímicos puros. Entre éstos, incluso, podrían identificarse partidarios de una posición más cercana a la primera visión (aún siendo bioquímicos), al sostener que la fundamentación bioquímica de las relaciones evolutivas entre organismos era tan sólo una cuestión de segundo orden. Es decir, la búsqueda de los mecanismos moleculares había que llevarla a cabo siempre bajo las observaciones de la biología clásica. Sin embargo, frente a esta actitud, Zuckerkandl y Pauling señalaron la extraordinaria importancia que tenía aplicar la perspectiva mecanicista más allá de los procesos temporalmente cortos. Es decir, la bioquímica no debía quedarse tan sólo en el análisis de las reacciones bioquímicas que se dan en un momento determinado. Había que dirigir la mirada —apoyándose en la obra editada por H.J. Vogel⁴³— hacia las llamadas macromoléculas informativas o semántidos⁴⁴ (DNA, RNA, proteínas). Macromoléculas estas que tienen un único papel en la determinación de las propiedades de la materia de la vida en cada una de las tres dimensiones temporales en que se dan los procesos químicos y evolutivos: las reacciones bioquímicas que requieren de muy poco tiempo, el proceso de constitución ontogenético que se da a lo largo de un período mediano y el proceso evolutivo, que requiere de una gran duración temporal. Ahora bien, Zuckerkandl y Pauling se preguntaron, ¿Por qué los semántidos desempeñan un papel privilegiado en la comprensión de la materia viva? Si bien Simpson había señalado que las causas principales de la adaptación, y por tanto de la evolución, hay que buscarlas en el nivel del organismo⁴⁵, Zuckerkandl y Pauling sostenían que no hay ninguna

42 Evolutionary Divergence and Convergence in Proteins (1964)

43 Vogel, H.J. V. Bryson y J.O. Lampen, (eds. 1963)

44 Es sumamente difícil traducir la palabra original inglesa *semantides*, ya que fue precisamente acuñada por estos dos autores para referirse a aquellas macromoléculas comunes a todas las células, utilizadas en la filogenia, porque cambian lentamente con el tiempo. Entre estas moléculas se encuentran el rRNA/rDNA, RNase P RNA, ATPase,... Finalmente, se ha decidió traducir *semantides* por *semántido* siguiendo el *Minidiccionario crítico de dudas* de Fernando A. Navarro. Se recomienda a quién esté interesado en saber algo más sobre este concepto y las tres dificultades que su traducción al español plantea consultar esta obra cuya referencia completa se encuentra en la bibliografía final.

45 Se recomienda ver *Tempo and Mode in Evolution* (1944) de G.G. Simpson donde no sólo se intentan conjugar los datos entonces disponibles derivados de la paleontología procedentes de registros fósiles con los datos que entonces aportaba la genética, sino que se

concentración mayor de factores causales que en las macromoléculas informativas⁴⁶. Y es que los semántidos —vendrían a decir— son, potencialmente, los caracteres taxonómicos más informativos y no, como se había admitido hasta entonces, un tipo de caracteres entre otros, equivalentes a otros. De ahí, señalaron, la extraordinaria importancia que tenía estudiar todos los procesos de la vida desde el nivel de su fundamentación macromolecular, incluyendo los largos procesos temporales (evolución)⁴⁷.

Estas ideas vendrían a completarse y adquirir una forma más terminada en el artículo de 1965 “Molecules as Documents of Evolutionary History”. En este texto Pauling y Zuckerkandl presentaron una nueva teoría evolutiva a la que llamaron teoría del *Reloj molecular evolutivo*⁴⁸ (*Molecular Evolutionary Clock*). La principal diferencia entre ésta y otras teorías evolutivas estaba en el seguimiento que llevaban a cabo de la evolución de una molécula en lugar de hacerlo de la evolución de una especie.

La propuesta de Zuckerkandl y Pauling estaba basada en el análisis y comparación de las secuencias de aminoácidos de hemoglobinas de distintas especies, teniendo en cuenta el tiempo transcurrido (millones de años) desde que dichas especies se desviaron de un progenitor común. Y es que, vendrían a afirmar, la tasa de evolución en una molécula proteínica (o de ADN) es casi constante en el tiempo y entre linajes evolutivos⁴⁹. Es decir, hay una proporcionalidad estadística entre el tiempo transcurrido desde el último ancestro común de dos cadenas de proteína homólogas contemporáneas y el número de aminoácidos diferentes que encontramos entre sus secuencias⁵⁰. Esto permitió —tal y como señala Morgan— dar una dimensión temporal a la filogénesis.

Centrándose en el caso de la hemoglobina⁵¹, la teoría de Zuckerkandl y Pauling establecía que cada cierto tiempo se produce una mutación en una molécula (de hemoglobina) determinada. Por lo general, esta mutación es la fuente de una enfermedad molecular que no provoca ningún cambio significativo más allá del huésped. Ahora bien, cuando la mutación se da en las células germinales, puede darse una alteración duradera no sólo en las moléculas producidas sino, al reproducirse el organismo, también en las moléculas de las siguientes generaciones. La acumulación a lo largo del tiempo de alteraciones de

ofrece además un buen ejemplo de las dificultades que los autores de la Teoría sintética tuvieron que sortear en torno al problema de las especies y la especiación.

46 De hecho, —vendría a decir— no existe una mayor concentración de información.

47 Zuckerkandl, Emile y Linus Pauling (1965), p. 98.

48 Pauling también utilizó los términos paleogenética química (*Chemical Paleogenetics*) y Paleobioquímica (*Paleobiochemistry*) al hablar sobre el *Reloj molecular*

49 Morgan, Gregory J. (1998), p. 155

50 Ver Morgan, Gregory J. (1998), p. 155

51 Véase también Pauling, Linus, Harvey A. Itano, S. J. Singer y Ibert C. Wells (1949) y Pauling, Linus (1962)

esta naturaleza, son las que van a ir dando lugar a una modificación importante respecto de la molécula original.

Como podemos ver, con su propuesta Pauling y Zuckerkandl hacen que la explicación evolutiva, lejos de convertirse en un impedimento, un problema irresoluble desde una perspectiva reduccionista, se convierta ella misma en objeto de estudio y explicación fisicalista.

Esta propuesta no cayó en saco roto. Ciertamente la aceptación por parte de la comunidad científica de la hipótesis del reloj molecular fue inicialmente muy lenta, ya que la afirmación de una tasa constante de evolución resultaba excesivamente atrevida. No obstante, con el tiempo este modelo explicativo fue no solo aceptado sino extendido convirtiéndose en uno de los conceptos claves del entonces emergente campo de la evolución molecular. Partidarios de esta hipótesis como A. Wilson, S. Carlson y T. White afirmaron tiempo después que "el descubrimiento del reloj molecular destaca como el resultado más significativo de la investigación en evolución molecular"⁵². Recientemente Roger Lewin, describió el reloj molecular evolutivo como "uno de los conceptos más simples y más poderosos en el campo de la evolución"⁵³. Y es que es oportuno señalar que los trabajos de Zuckerkandl y Pauling vinieron a desarrollar y fortalecer, a pesar de no ser esa su intención, según autores como Morgan⁵⁴, la *Teoría Neutral de la Evolución Molecular*⁵⁵ frente a los modelos *seleccionistas*.

Conclusiones

Como hemos podido ir viendo Linus Pauling llevó a cabo su trabajo en el ámbito de la biología bajo un esquema fisicalista. Lejos de darse una fractura con respecto a sus trabajos previos en el ámbito de la química, encontramos en sus investigaciones biológicas una continuidad epistemológica, ontológica y metodológica. Incluso, podemos ver cómo para el químico de Portland el desarrollo de la biología dependía directamente de la aplicación de los métodos, patrones explicativos y sistemas teóricos de la física y la química orgánica. Es decir, la teoría biológica finalmente no debía sólo ser compatible con la física, sino reducible a ella: su profundidad y fertilidad científica, así como su valor de ciencia explicativo-predictiva dependía del grado en el que era capaz de aplicar y extender dentro de su campo las teorías de la física. Ejemplos de esta misma postura la encontramos en el positivismo de Hempel, en el realismo científico

52 A. Wilson, S. Carlson, and T. White (1977)

53 Roger Lewin, (1997), p. 107.

54 Morgan, Gregory J. (1998), p. 177

55 Para quienes estén interesados adentrarse en esta perspectiva neutralista de la evolución molecular y ver la importancia que tuvieron estos trabajos se recomienda revisar los siguientes trabajos: Dietrich, Michael R. (1994), Suarez, Edna y Ana Barahona (1996) y Kimura, Motoo (1969, 1987 y 1993).

Schrödinger —de quien tomó nota Pauling— y Francis Crick, quien llegaría a decir:

«El fin último de la corriente moderna en biología es [...] explicar *toda* la biología en términos de física y química. Hay buenas razones para ello en la medida en que la química y partes importantes de la física, como la mecánica cuántica, nos proveen de un fundamento cierto sobre el que construir la biología.»⁵⁶

Como hemos estado viendo, esta concepción fisicalista de la que participó Linus Pauling se apoyaba en una concepción realista de la ciencia, tanto ontológica como epistemológicamente, muy cercana a la de Schrödinger; ontológicamente, en cuanto que a las entidades extralingüísticas designadas por los términos de las teorías (átomos, células, radiación,...) les concedía una existencia real: los átomos, las moléculas son los componentes últimos de la materia, que mantienen entre sí una relación geométrica que justifica la organización química y biológica que observamos en la Naturaleza; desde el punto de vista epistemológico, consideraba las teorías como enunciados verdaderos, resultado de la “aplicación de los principios del razonamiento riguroso que se ha desarrollado en las Matemáticas y en la Lógica a la deducción de conclusiones ciertas a partir de postulados aceptados”⁵⁷.

Cierto es, reconoce Pauling, que nuestra comprensión de esas estructuras reales no es completa. Partiendo del método inductivo del positivismo y del hipotético-deductivo de Popper podemos ir creando modelos que se acerquen a la configuración real de la estructura de la materia. Sin embargo —señaló—, los problemas lógicos que presenta la inducción a la hora de establecer la verdad de los enunciados generales legitiman la búsqueda y utilización de otras metodologías. Es por medio de aproximaciones sucesivas como pueden irse construyendo modelos basados en los datos obtenidos en el laboratorio y el conocimiento teórico. Pero eso no significaba que los objetos cuánticos y las estructuras apuntadas fueran irreales, y que tan sólo se encontraran en la imaginación del científico. Para Pauling, tenían una existencia real y, aunque su conocimiento fuera imperfecto, tan sólo una aproximación ideal, la dificultad de su entendimiento se encontraba en nuestras limitaciones. De ahí, que el fin de la ciencia no sea la mera construcción de modelos que “permitan salvar las apariencias” sino la construcción de aproximaciones matemáticas sucesivas y modelos tridimensionales que se acerquen lo más posible a la estructura real de la materia. La ciencia, la explicación mecanicista, permitía según Pauling describir la estructura última y las causas reales de la arquitectura del mundo y sus propiedades, nos dice cómo y por qué las cosas son como son.

El salto de esta concepción de la ciencia al ámbito de la biología significó para Pauling una continuidad de una concepción realista marcada por una fuerte

56 Crick, Francis (1966), 10. Cita extraída de González Recio, José Luis (2006), p.7

57 Pauling, Linus (1963), p. 15.

perspectiva reduccionista. Inspirándose en el método analítico que había desarrollado en sus investigaciones previas y apoyándose en los descubrimientos que había hecho de estructuras cristalinas y en la naturaleza del enlace químico, Linus Pauling contribuyó al nacimiento y desarrollo de una nueva forma de estudiar los fenómenos biológicos a nivel atómico y molecular: la biología molecular. La metodología desarrollada y las respuestas finales dadas en función de estructuras moleculares, fuerzas presentes, propiedades y funcionamiento desde el punto de vista químico, obligan a hablar de una continuidad metodológica, ontológica y epistemológica.

Pero esta visión llevaba consigo la losa de críticas y dificultades epistemológicas que la convicción reduccionista arrastraba consigo. Concedor de estas objeciones y de la extraordinaria popularidad que las explicaciones narrativas estaban alcanzando, Linus Pauling desarrolló, lejos de retractarse, una nueva perspectiva, una nueva línea de investigación evolutiva claramente reduccionista: la teoría del *Reloj molecular evolutivo*. En todos los trabajos en los que Linus Pauling, junto a Zuckerkandl, desarrolló y dio a conocer esta nueva teoría evolutiva, se conjuga perfectamente su concepción estructuralista de la química con todos sus trabajos previos en los ámbitos de la biología y la medicina. Es decir, bajo toda su obra científica en el ámbito de la biología encontramos una clara posición reduccionista fisicalista.

Bibliografía

- Arana, Juan, "Erwin Schrödinger, Filósofo de la biología" en *Thémata*. Núm. 20, 1998, pp. 159-174.
- Delbrück, Max, "Un físico se asoma a la biología", en *Antología de biología molecular*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1985. Texto original en *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 38, 173, 1949.
- Dietrich, Michael R., "The Origins of the Neutral Theory of Molecular Evolution" en *Journal of the History of Biology*, 20, 1994, pp. 21-59
- Dronamraju, Krishna R., "Erwin Schrödinger and the Origins of Molecular Biology" en *Genetics Society of America* 153, 1999, pp. 1071-1076.
- Escarpa Sánchez-Garnica, Dolores (2004), *Filosofía y biología en la obra de Claude Bernard*, Tesis doctoral, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, E-Prints: <http://eprints.ucm.es/tesis/fsl/ucm-t27268.pdf>. ISBN: 84-669-2540-6.
- González Recio, José Luis, *Teorías de la vida*, Madrid, Síntesis, 2004.
- González Recio, José Luis, "Galileo y Kant reencontrados. Ciencia y filosofía en los orígenes de la biología molecular", en Arana, J. (ed.): *Los filósofos y la biología*, Universidad de Sevilla, 1998: 141-158.
- González Recio, J. L. (editor), *El taller de las ideas. 10 lecciones de historia de la ciencia*, Madrid, Plaza y Valdés, 2005.
- González Recio, José Luis, "Filosofía de la biología, biología del conocimiento y biotecnología" en *Contextos*, Universidad de León, 2006.
- Hager, Thomas, *Linus Pauling and the Chemistry of Life*, New York, Oxford University Press, 1998.
- Kimura, Motoo, *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993.

- Kimura, Motoo, "The Rate of Molecular Evolution Considered from the Standpoint of Population Genetics" en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 63, 1969, pp. 1181-1188
- Kimura, Motoo, "The Molecular Evolutionary Clock and the Neutral Theory" en *Journal of Molecular Evolution*, 26, 1987, pp. 24-33.
- Mayr, Ernest, *The Growth of Biological Thought*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1982.
- Mayr, Ernest, *Así es la biología*, Madrid, Debate, 1998.
- Morgan, Gregory J., "Emile Zuckerkandl, Linus Pauling, and the Molecular Evolutionary Clock, 1959-1965" en *Journal of the History of Biology* 31, 1998, pp. 155-178.
- Morgan, Gregory J., "Emile Zuckerkandl, Linus Pauling, and the Molecular Evolutionary Clock, 1959-1965" en *Journal of the History of Biology* 31, 1998, pp.155-178.
- Navarro, Fernando A., *Diccionario crítico de dudas inglés-español de medicina*, Madrid, McGraw Hill Interamericana, 2000
- Pauling, Linus, *General Chemistry*, San Francisco, WH. Freeman and Company, 1947. Edición utilizada, *Química General*, Madrid, Aguilar, 1963
- Pauling, Linus y Max Delbrück, "The Nature of the Intermolecular Forces Operative in Biological Processes" en *Science* 92, 1940, pp. 77-79.
- Pauling, Linus, "A Theory of the Structure and Process of Formation of Antibodies" en *Journal of the American Chemical Society* 62, 1940, pp. 2643-2657.
- Pauling, Linus, "Schrödinger's contribution to chemistry and biology" en *Schrödinger: Centenary Celebration of a Polymath*, editado por C. W. Kilmister, Cambridge University Press, Cambridge, 1987, pp. 225-233.
- Pauling, Linus y Max Delbrück, "The nature of the intermolecular forces operative in biological sciences" en *Science* 92, 1940, pp. 77-79.
- Pauling, Linus, Harvey A. Itano, S. J. Singer y Ibert C. Wells, "Sickle Cell Anemia, A Molecular Disease" en *Science* 110, 2865, 1949, pp. 543-548.
- Perutz, Max, "Erwin Schrödinger's *What Is Life?* And molecular biology" en *Schrödinger: Centenary Celebration of a Polymath*, editado por C. W. Kilmister. Cambridge University Press, Cambridge, 1987, pp. 234-251.
- Lewin, Roger, *Patterns in Evolution: The New Molecular View*, New York, Freeman, 1996.
- Rosenberg, Alexander, *The Structure of Biological Science*, Cambridge University Press, 1985.
- Schrödinger, Erwin, "Warum sind die Atome so Klein?", en *Forschungen und Fortschritte*, 1933 (9): 125-126: GA, 341-342.
- Schrödinger, Edwin, *What is life? The physical aspect of the living cell*, Cambridge University Press, 1944. Ed. citada trad. y notas de Ricardo Guerrero, *¿Qué es la vida?*, Barcelona, Orbis, 1.986.
- Serrano Bosquet, Francisco Javier, *Biología molecular. Cuestiones e implicaciones filosóficas*, México, Limusa, 2006.
- Serrano Bosquet, Francisco Javier, *Ciencia, realidad y método en la obra de Linus Pauling*, Tesis doctoral, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, E-Prints: <http://eprints.ucm.es/9746/>, 2009
- Sober, Elliot, *Filosofía de la biología*, Trad. De T.R. Fernández y S. Del Viso, Madrid, Alianza, 1996.
- Suarez, Edna y Ana Barahona, "The Experimental Roots of the Neutral Theory of Molecular Evolution" en *History and Philosophy of the Life Sciences*, 18, 1996, pp. 55-81
- Vogel, H.J., V. Bryson y J.O. Lampen, (eds), "Informational Macromolecules" en *Academic Press*, New York, 1963.
- Watson, J. D. y Crick, F. H. C, "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid" en *Nature* 171, 1953, pp. 737-378.

- Wilson. A., S. Carlson y T. White, "Biochemical Evolution" en *Annual Review of Biochemistry*, 46, 1977, pp. 573-639.
- Zuckerandl, Emile y Linus Pauling, "Molecular disease, evolution, and genetic heterogeneity" en *Academic Press*, New York, 1962, pp. 189-225.
- Zuckerandl, Emile y Linus Pauling, "Evolutionary Divergence and Convergence in Proteins," en Bryson, Vernon y Henry Vogel (eds. 1965), *Evolving Genes and Proteins*, New York, Academic Press, 1965, pp. 97-166.

Francisco Javier Serrano y Bosquet
ITESM - Campus Monterrey
Dpto. de Filosofía y Ética
fjavierrano@itesm.mx