

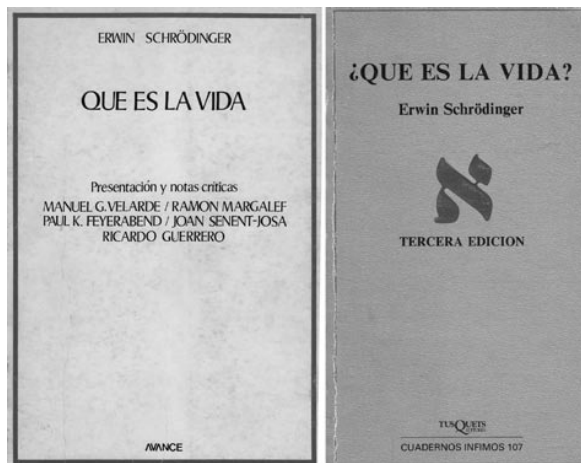
¿Qué es la vida? de Erwin Schrödinger ¿Vale la pena leerlo?

Álvaro Moreno y Juli Peretó

Este clásico del ensayo científico, aun sin contener ideas particularmente originales, puede servir de inspiración para transgredir fronteras y atreverse a pensar.

En febrero de 1943, Erwin Schrödinger (1887-1961), físico de origen austríaco y exiliado del nazismo, impartió tres conferencias en el Trinity College de Dublín que fueron un clamoroso éxito: tuvo que repetir las tres para atender la demanda del público. En esas charlas, publicadas el año siguiente en forma de libro, este premio Nobel de Física de 1933 explicó ante estudiantes y un público general, no especialista, los resultados de algunos experimentos de genética que, en su opinión, podían encontrar explicación en el ámbito de la mecánica cuántica, la nueva física que él había ayudado a crear.

La aproximación reduccionista y no vitalista de Schrödinger, el convencimiento de que esa nueva frontera del conocimiento establecida por los fenómenos biológicos podía traspasarse solo con explicaciones materiales, sedujo a los científicos más jóvenes. Al menos eso es lo que reconocieron unos cuantos biólogos moleculares, algunos llegados desde la física, más de veinte años después. En sus respectivas autobiografías o en reflexiones sobre los episodios de los que fueron protagonistas, diversos científicos admitieron haber sido influidos por la obra de Schrödinger. Es el caso de Francis H. C. Crick, James D.



Watson, Maurice H. F. Wilkins, Erwin Chargaff, Seymour Benzer, Gunther S. Stent o François Jacob.

No podemos saber hasta qué punto estos personajes estaban mitificando retrospectivamente un libro del que casi todos destacaban su brevedad y su estilo directo, así como el optimismo que traspiraba pues anunciaba la proximidad de un vuelco en las explicaciones científicas de la vida. Podemos convenir que, hoy en día, su mensaje nos puede sonar banal e, incluso, erróneo. Banal porque tras los triunfos de la biología molecular, el vitalismo se desvaneció como refugio de los enigmas moleculares de la célula –y solo ha sido rescatado, de manera vergonzosa, por los proponentes del creacionismo del diseño inteligente–. Erróneo porque,

como denunciaron entre otros Linus Pauling y Max Perutz, el autor, deslumbrado por los experimentos de mutagénesis con rayos X de Hermann J. Muller y por un trabajo crítico sobre la estructura atómica del gen de Nikolai W. Timoféeff-Ressovs-ky, Karl G. Zimmer y Max Delbrück –que merece su fama solo por haber servido de inspiración a Schrödinger–, buscó la respuesta en el lugar equivocado. La química, y no la mecánica cuántica, es el territorio donde se desenvuelven las explicaciones de la vida a escala molecular.

► El libro

What is life? de Schrödinger¹ es un texto breve dividido en un prefacio, siete capítulos y un epílogo. Un tema central de la obra es la tensión que genera en el autor su visión de que el comportamiento macroscópico de los sistemas físicos se basa en las grandes poblaciones de sus componentes microscópicos –una visión derivada de la mecánica estadística de su admirado Ludwig Boltzmann–, frente al hecho de que los genes parecían compuestos por poblaciones pequeñas de átomos que mostraban «una permanencia inexplicable para la física clásica». Tras constatar esta paradoja, el autor, siguiendo a Delbrück, recurre a la mecánica cuántica para justificar la

necesidad de una nueva explicación. Para Schrödinger, la clave que explica la vida reside en la acción de lo que él llama un «cristal o sólido aperiódico» (cap. 5, p. 96), una «asociación bien ordenada de átomos, capaz de mantener permanentemente su orden, [que] parece ser la única estructura material concebible que ofrece una variedad de posibles organizaciones isómeras y que es suficientemente grande como para contener un sistema complicado de *determinaciones* dentro de reducidos límites espaciales. En efecto, el número de átomos de una estructura tal no necesita ser muy grande para producir un número casi ilimitado de posibles combinaciones».

Hoy podemos reconocer en ese *cristal aperiódico* a los polímeros no monótonos que son la base material de la herencia. Schrödinger lo asocia a las proteínas, siguiendo la tendencia de muchos científicos de la época. Conviene recordar que el mismo año de las charlas de Dublín, Oswald T. Avery y sus colaboradores estaban realizando unos experimentos que aplanarían el camino para reconocer en los ácidos nucleicos el material hereditario. El artículo de Avery, MacLeod y McCarty apareció en enero de 1944 en el *Journal of Experimental Medicine* mientras el físico austríaco preparaba su libro.

Schrödinger anticipa la idea clave de información genética pero con una importante diferencia, que comentaremos enseguida. De hecho, se refiere a «la estructura» de las fibras de cromosomas como «un texto cifrado» (p. 41-42). La diferencia con la visión actual reside en que, como añade a continuación, «las estructuras cromosómicas son al mismo tiempo los instrumentos que realizan el desarrollo que ellos mismos pronostican. Representan tanto el texto como el poder ejecutivo, para usar otra comparación, son a la vez los planos del arquitecto y la mano de obra del constructor». Esa idea de unos genes autosuficientes ya había sido invocada mucho antes por Muller en sus especulaciones sobre el origen de la vida y Sydney Brenner lo ha denominado «el error fundamental de Schrödinger».

Así pues, en Schrödinger el término *código* no se refiere al sentido actual, es decir, la forma de traducir la estructura primaria de los ácidos nucleicos (que, usando una metáfora muy poco afortunada, serían *los planos del arquitecto*) a la de las proteínas (que serían *la mano de obra del constructor*). Schrödinger utiliza el término *código* para expresar la proyec-

ción de la estructura del cristal aperiódico, expresable como un texto lineal, al conjunto complejísimo del organismo, tanto en su sentido estructural y fisiológico como de desarrollo ontogenético.

El libro contiene también una aproximación a la, aparentemente paradójica, relación entre la termodinámica y los seres vivos. Ese «orden existente que es mantenido» (p. 108) más allá de lo esperable por un físico, parece contradecir la segunda ley de la termodinámica. «¿Cuál es el rasgo característico de la vida? ¿Cuándo puede decirse que un pedazo de materia está vivo? Cuando sigue ‘haciendo algo’, ya sea moviéndose, intercambiando material con el medio, etcétera, y ello durante un período mucho más largo que el que esperaríamos que ‘siguiera haciéndolo’ un pedazo de materia inanimada en circunstancias similares» (p. 109). Schrödinger introduce el término *entropía negativa* para tratar de explicar el funcionamiento del metabolismo, una noción que originó tales críticas y confusiones que, en ediciones posteriores, el autor se vio obligado a añadir una nota aclaratoria al final del capítulo 6. A pesar de ello, años después Pauling, negándole cualquier mérito al libro, sostuvo que la *entropía negativa* era la contribución más negativa de esta obra. De hecho, la mayoría de las reseñas que suscitó el libro se centran en su aspecto termodinámico y poco o nada en su especulación sobre el código y la información genética.

En realidad, detrás de todo el planteamiento, hay otra idea más fundamental, que el autor desarrolla en el capítulo 7 («¿Está basada la vida en las leyes de la física?») y que en 1968 sería popularizada por Michael Polanyi en su artículo, publicado en *Science*,² «Life's irreducible structure», a saber, la de que los seres vivos –y las máquinas fabricadas por los humanos– se diferencian de los sistemas físicos inertes en que su comportamiento se explica no tanto por las leyes físicas sino por la acción de un conjunto de constricciones, su organización –que Schrödinger localiza en esos cristales aperiódicos que constituyen los cromosomas: «un solo grupo de átomos, del que existe una sola copia, produce acontecimientos ordenadamente armonizados entre sí de modo maravilloso y con el ambiente siguiendo las leyes más sutiles» (p. 122).

Pero sobre el origen de la altísimamente improbable estructura de ese cristal aperiódico que gobierna la construcción y

mantenimiento de cada organismo –es decir, de la información genética–, Schrödinger, en vez de recurrir a la explicación darwinista, que sugeriría un mecanismo por selección natural para el origen del *texto*, pone el acento en el soporte material y vuelve a comparar a los organismos con las máquinas humanas y dice que aquellos no son «resultado del burdo trabajo humano sino la más fina y precisa obra maestra conseguida por la mecánica cuántica del Señor» (p. 130). La deriva mística del final de este capítulo (y, sobre todo, del epílogo, en el que trata de determinismo y libre albedrío) desagradó profundamente a científicos como Muller.

Diez años antes de las conferencias de Dublín, Niels Bohr, en su conferencia y artículo «Light and life» en *Nature*³ había echado un jarro de agua fría sobre la biología al proponer que la física nunca sería capaz de explicar los fenómenos biológicos en su totalidad. Contrapuesto a él en la interpretación filosófica de la mecánica cuántica, Schrödinger también lo confronta en las explicaciones de lo vivo: coherente con su formación *boltzmanniana* y su filosofía personal –inspirada en los ‘Upanisad’, que niega la dualidad entre seres pensantes y el resto del mundo–, Schrödinger reivindica el determinismo. La búsqueda del orden profundo, cuestión que conecta con el pensamiento filosófico vienés de principios del siglo XX, y su reflexión sobre el orden biológico en particular, se han visto también como parte de su interés más general sobre la naturaleza de las leyes físicas.

► Su influencia

El desenlace de la Segunda Guerra Mundial terminó por dejar bien claro hasta qué punto el avance de la física había sido usado de modo perverso. La biología aparecía entonces no solo desbordante de problemas interesantes sino también como una ciencia inocente sin aplicaciones militares obvias. El libro de Schrödinger fue eficaz presentando la herencia como un problema de transferencia de información. Físicos y matemáticos habían avanzado mucho en ese terreno, especialmente con la obra de Alan Turing, pues en buena medida la guerra se había decidido en el campo de la encriptación de la información y el descifrado de códigos secretos. Y estos científicos estaban especialmente preparados para aceptar la nueva visión del mundo propuesta por Schrödinger.

Así pues, quizá Michel Morange tenga razón cuando sostiene que un mérito evidente de Schrödinger es haber catalizado el tránsito de algunos físicos hacia la biología. O, según opina Stent, porque fascinó a los físicos con la idea romántica de que se requerían otras leyes físicas para explicar lo vivo. Trascender el marco de la física convencional formó parte del *Zeitgeist* de los fundadores de la biología molecular, en especial de Delbrück.

Seguramente, las críticas más despiadadas vinieron de los químicos Pauling y Perutz. Ambos señalaron, en sendos ensayos publicados en un volumen en honor de Schrödinger con motivo de su centenario, la ignorancia química de Schrödinger. La paradoja de la estabili-

dad del gen y su aparente pequeño tamaño (en términos de mecánica estadística) que sirve de base para la discusión de Schrödinger estaba resuelta por la especificidad enzimática y del reconocimiento molecular basado en las interacciones débiles. Para decirlo a la manera de Stent, el funcionamiento de la sustancia hereditaria se explica por el hacer y deshacer de puentes de hidrógeno. Como tantas otras veces se ha demostrado, saltar de la física a la biología desdeñando la química es un ejercicio muy arriesgado. El análisis de Perutz del texto y de la bibliografía coetánea le lleva a afirmar que «lo que tenía de cierto el libro no era original y la mayor parte de lo que era original no era cierto, incluso en el momento en el que fue escrito.»

► ¿Debemos leer –y recomendar a nuestros estudiantes– el libro de Schrödinger?

Nuestra conclusión es que *¿Qué es la vida?* de Schrödinger es un clásico de la ciencia contemporánea, desbordado por el avance de la bioquímica, pero que merece la pena leerlo con el esfuerzo de contextualización adecuado. Muchos detalles, desde la naturaleza química del gen hasta la explicación cuántica de su estabilidad, son erróneos a la luz de nuestros conocimientos actuales. Pero continúa siendo válido como muestra de la audacia intelectual de alguien que se asoma a una ciencia en plena efervescencia desde una disciplina muy desarrollada con síntomas aparentes de agotamiento. Una muestra de cómo alguien de la talla de Schrödinger se arriesga a opinar so pena de cometer errores, pues avisa desde el prefacio de que se va a ocupar de un tema del que no es experto.

Como se ha llegado a decir, no sería raro que fuese el libro de divulgación más influyente escrito por un no experto. Es ese espíritu de aventura, de invitación a cambiarse de campo de estudio sin temor a equivocarse, el que pueda valer la pena transmitir a los estudiantes de nuestro tiempo, empujados hacia una especialización a ultranza.

Cada capítulo del libro está precedido de una cita y el último recoge esta frase de Miguel de Unamuno: «Si un hombre nunca se contradice, será porque nunca dice nada.» #

.....

Álvaro Moreno

DEPARTAMENTO DE LÓGICA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA, UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO, SAN SEBASTIÁN

Juli Peretó

DEPARTAMENT DE BIOQUÍMICA I BIOLOGIA MOLECULAR, INSTITUT CAVANILLES DE BIODIVERSITAT I BIOLOGIA EVOLUTIVA, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

La doble hélice y el cristal aperiódico

Maurice Wilkins afirmó en su discurso de recepción del premio Nobel (compartido con Watson y Crick) en 1962: «En parte debido a la bomba [Wilkins participó en el proyecto Manhattan], perdí el interés por la física. Fue entonces cuando leí el libro de Schrödinger *¿Qué es la vida?* y me impactó el concepto de una estructura molecular muy compleja que controlaba los procesos vivientes. La investigación en ese tema me parecía más ambiciosa que la física del estado sólido».

Francis Crick afirmó años después que se hubiese pasado a la biología en cualquier caso: como ateo buscaba demostrar que las áreas aparentemente demasiado misteriosas podían explicarse mediante la física y la química, algo que la lectura del librito de Schrödinger no hizo más que confirmarle. Sin embargo, el 12 de agosto de 1953 Crick le envió a Schrödinger copias de sus artículos publicados con Watson en *Nature* sobre el modelo de la doble hélice y sus consecuencias

biológicas y en la carta adjunta le decía: «Watson y yo estuvimos hablando una vez de cómo vinimos a parar al campo de la biología molecular y descubrimos que ambos fuimos influidos por su librito *¿Qué es la vida?* Pensamos que le interesarían las separatas adjuntas: ya verá cómo su expresión 'cristal aperiódico' va a resultar ser muy adecuada».

Por su lado, Ilya Prigogine dijo que el libro le sirvió de inspiración en sus trabajos sobre termodinámica de procesos irreversibles. Sin embargo, para aquellos que ya estaban inmersos en la biología molecular quizá la reflexión de Schrödinger pasó inadvertida y, por tanto, sea una exageración afirmar que «influyera decisivamente» en el desciframiento del código genético, como propone Jorge Wagensberg en la presentación a la edición en español. En su autobiografía, Brenner admite haber leído el libro y, sin embargo, lo recuerda como una obra irrelevante para su trabajo en genética.



En el discurso de recepción del premio Nobel de Medicina a Maurice Wilkins (compartido con Watson y Crick) en 1962, este se refirió al libro de Schrödinger. En la imagen podemos ver reunidos a los científicos premiados en 1962 junto con el novelista John Steinbeck, tras la ceremonia de entrega en Estocolmo. De izquierda a derecha: Maurice Wilkins, Max Perutz, Francis Crick, John Steinbeck, James Watson y John Kendrew.

► Notas

- Seguimos la traducción castellana de Ricard Guerrero (Tusquets Editores, Metatemas 1, Barcelona, 1983, 140 p.) del original titulado *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cambridge University Press, 1967).
- Polanyi M.: «Life's irreducible structure». *Science* 1968; 160: 1308-12.
- Bohr N.: «Light and life». *Nature* 1933; 131: 421-3, 457-9.