

ERWIN SCHRÖDINGER, FILÓSOFO DE LA BIOLOGÍA

Juan Arana. Universidad de Sevilla

Resumen: Erwin Schrödinger sobresalió como físico, pero también contribuyó al desarrollo conceptual de la biología del siglo XX con reflexiones acerca de las nociones de vida y evolución, basadas tanto en sus descubrimientos científicos como en sus preocupaciones filosóficas. Sostuvo que la teoría cuántica permitía por primera vez abordar la comprensión del viviente desde una perspectiva *determinista* y no meramente *estadística*. Sus opiniones, muchas veces sorprendentes y siempre llenas de originalidad, inciden en algunos de los enigmas que los fenómenos vitales han planteado a la filosofía de todas las épocas.

Abstract: Erwin Schrödinger stood out as a physicist, but he also contributed some reflections about the notions of life and evolution which were based on his scientific discoveries as much as on his philosophical worries, to the conceptual development of twentieth century's biology. He affirmed that the Quantum Mechanic allowed us to abboard the living's comprehension from a deterministic and not only statistical standpoint for the last time. His opinions which are often surprising and always original, fall into some of the mysteries which vital freaks have posed to the philosophy of every ages.

1. Schrödinger como biólogo y como filósofo

Incluir a Erwin Schrödinger en un volumen consagrado a *Los filósofos y la biología* requiere una justificación previa, puesto que la notoriedad de este autor descansa en sus contribuciones científicas y en particular se debe al desarrollo de la *mecánica ondulatoria*, que le valió el premio Nobel de física en 1933. Hay consenso en aceptar que los escritos sobre biología y evolución de Schrödinger —en especial, su libro *¿Qué es la vida?* (1944)— desempeñaron un papel relevante en la evolución de esta disciplina,¹ pero cabría pensar que este influjo se debió precisamente al hecho de que provenía de un *físico* reconocido y no de un *filósofo* profesional. A partir de 1930 muchos cultivadores de la física pensaron que ésta no podría seguir manteniendo el espectacular ritmo de progreso de los decenios precedentes, y que el futuro pertenecía más bien a la biología, donde los principios de la mecánica cuántica deberían encontrar aplicaciones muy fructíferas. George Gamow y otros expresaron opiniones parecidas, y no hay que olvidar que Francis Crick, codescubridor de la

¹ Véanse, como ejemplos representativos: Linus Pauling, «Schrödinger's Contributions to Chemistry and Biology», en C.W. Kilmister (ed.), *Schrödinger. Centenary celebration of a polymath*, Cambridge, C.U.P., 1987, pp. 225-233; M.F. Perutz, «Erwin Schrödinger's *What is Life?* and Molecular Biology», *ibid.*, pp. 234-251; F.M. Wuketits, «Erwin Schrödinger's and his Contribution to a New Understanding of Living Systems.» en: J. Götschl (ed.), *Erwin Schrödinger's World View*, Dordrecht, Kluwer, 1992, pp. 99-105.

estructura molecular del ADN, era físico de formación. En esta tesitura, Schrödinger, que no estaba muy conforme con la orientación tomada por la física a partir de la Conferencia Solvay de 1927,² pudo también haber puesto los ojos en las ciencias de la vida, como nueva tierra prometida de los que ambicionaban descubrimientos revolucionarios.

Por otra parte, es muy poco relevante la cuestión de si Schrödinger reflexionó sobre los problemas de la vida y la evolución desde unas coordenadas físicas o metafísicas, porque para él —punto de vista que personalmente comparto— las fronteras entre lo científico y lo filosófico no están muy claras y los debates más interesantes se plantean precisamente en las zonas limítrofes entre los dos campos.³ Atribuyó al azar el hecho de haberse convertido en un científico de renombre mundial. En una entrevista concedida al periódico inglés *The Observer* en 1931,⁴ declaró que su intención primitiva fue convertirse en poeta, pero sólo la ciencia le ofreció la posibilidad de hacer una carrera profesional.⁵ En 1918 estuvo a punto de obtener un puesto académico en Czernowitz donde, alejado de la posibilidad de realizar investigaciones de primera línea, pensaba dedicarse ante todo a la filosofía, pues por aquel entonces se encontraba fascinado con Schopenhauer y los Upanisadas.⁶ Sin embargo, tras la derrota austriaca en la Primera Guerra, esta Universidad pasó a depender de otra administración, lo que indirectamente le permitió cinco años después llegar a sus trascendentales descubrimientos. La especulación filosófica, las cuidadosas mediciones en el campo de la física experimental y los complicados cálculos de las matemáticas superiores son elementos que se fueron entreverando a todo lo largo y ancho de su formación intelectual,⁷ lo que, en resumidas cuentas, significa que Schrödinger fue un *filósofo* en la más noble y originaria acepción del término.

También fue un *biólogo*. Él mismo testimonió su juvenil devoción por Darwin, acrecentada por ser el creador de una teoría «prohibida» en la escuela, aunque en cambio formara parte de las enseñanzas paternas.⁸ Pero otra mediación del azar, en forma de un deficiente conocimiento de la química orgánica, cerró el paso a cualquier ulterior especialización en bioquímica.⁹ Con todo, biología, filosofía y religión

² Véase a este respecto: M. Bitbol, *Schrödinger's Philosophy of Quantum Mechanics*, Dordrecht, Kluwer, 1996, especialmente pp. 1-33.

³ En este sentido comenta un biógrafo que era típico de él «un desinterés por las aplicaciones fáciles y una inquietud por los principios fundamentales, a menudo en las zonas fronterizas donde la teoría de la física se encuentra con la metafísica.» Walter Moore, *Erwin Schrödinger: una vida*, Cambridge, C.U.P., 1996 [citado en adelante con las siglas UV], p. 98.

⁴ Véase *Erwin Schrödinger Gesammelte Abhandlungen*. Band 4. *Allgemein wissenschaftliche und populäre Aufsätze*, Wien, V.O.A.W., 1984 [obra citada en adelante con las siglas GA], p. 332.

⁵ De hecho, Schrödinger fue fiel toda su vida a la vocación poética. Publicó parte de su producción en 1949: *Gedichte*, Godesberg, Küpper.

⁶ Véase E. Schrödinger, *Mi vida*, en: *mi concepción del mundo. Seguido de Mi vida*, trad. de J. Fingehut y A. Klein, Barcelona, Tusquets, 1988 [citado en adelante con las siglas CM], p. 137.

⁷ Véase *Mi vida*, CM., p. 148.

⁸ Véase *Mi vida*, CM, pp. 144-145.

⁹ Véase *Mi vida*, CM, p. 149.

quedaron de alguna forma amalgamadas en el espíritu de Schrödinger, que discutía a menudo estos temas durante los años universitarios con su amigo íntimo Franz Frimmel, estudiante de botánica y profundamente religioso.¹⁰ Juntos estudiaron a fondo un libro cuyo influjo sería profundo y duradero: *Mneme*,¹¹ escrito por Richard Semon, un discípulo de Haeckel que fusionaba la inspiración darwiniana con la lamarckiana y defendía como principio explicativo de los procesos vitales la existencia de una especie de protomemoria a nivel celular.

No ha de creerse, sin embargo, que Schrödinger fuera un *mero aficionado* a la historia natural o un espíritu dado a especulaciones metabiológicas más o menos dudosas. Siguiendo la estela paterna y la de otra fuente de inspiración juvenil, el científico Anton Hansdlirsch, Schrödinger adoptó actitudes claramente opuestas al vitalismo y a las concepciones teleológicas.¹² A nivel profesional, incidió con todo el rigor que fue capaz (y lo era mucho) en la fisiología y biofísica de la visión de los colores, campo en el que llegó a ser considerado como una autoridad mundial.¹³ Además, el llamamiento que recibió para ocupar la cátedra de física teórica de la Universidad de Zurich en 1921 mencionaba expresamente entre los motivos para el nombramiento su aptitud para impartir lecciones de biometría.¹⁴

2. Los límites de la causalidad

En cualquier caso, lo que llevó a Schrödinger a contribuir significativamente al desarrollo teórico de la biología no fueron ni sus habilidades técnicas ni sus tempranas aficiones, sino una motivación más profunda, estrechamente conectada con la idea de naturaleza y los presupuestos de su inteligibilidad. Ésta es precisamente la razón de que me haya decidido a incluirle en el grupo de los filósofos que se han ocupado de la biología. Podemos tomar como punto de arranque la consideración del alcance y límites de la causalidad natural. El clima espiritual de Europa central en el periodo de entreguerras favoreció una revisión crítica del determinismo físico.¹⁵ Franz Exner, físico experimental con quien colaboró el joven Schrödinger, fue uno de los primeros en cuestionar la creencia de que los procesos moleculares estén sometidos a reglas estrictas en su evolución.¹⁶ De acuerdo con esta óptica, la validez de los principios deterministas podría ser meramente estadística, de manera que el azar tendría un lugar en el universo, siempre que su presencia quedara discretamente disimulada bajo las leyes de los grandes números. Al tomar posesión en 1922 de su

¹⁰ Véase *Mi vida*, CM, p. 146.

¹¹ R. Semon, *Die Mneme*, Leipzig, 1904.

¹² Véase *Mi vida*, CM, p. 145.

¹³ Por ello le fue encomendada la redacción del capítulo correspondiente en una de las ediciones del prestigioso *Lehrbuch der Physik*. Véase UV, p. 118.

¹⁴ Véase UV, p. 132.

¹⁵ Véase Paul Forman, *Cultura de Weimar, causalidad y física cuántica, 1918-1927*, Madrid, Alianza, 1984, en particular, por lo que se refiere a Schrödinger, pp. 126-130.

¹⁶ Véase F. Exner, *Vorlesungen über die Physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, Viena, F. Deuticke, 1919.

cátedra zuriquesa Schrödinger pronunció una conferencia titulada *¿Qué es una ley de la naturaleza?*,¹⁷ en la que asumía tanto la idea de Exner de que el determinismo absoluto es innecesario, como el punto de vista de Boltzmann según el cual una variación infinitesimal en los valores iniciales altera por completo las consecuencias de la aplicación de las leyes deterministas, por lo que los efectos de tales leyes son en todo caso impredecibles. Aunque Schrödinger matizó su postura a este respecto más tarde, nunca llegó a desmentirla.¹⁸ Es importante subrayar que la «conversión» de Schrödinger al indeterminismo es anterior a la circunstancia de que éste fuera de algún modo consagrado por la teoría cuántica, hecho que por lo demás supo pronosticar: «Yo prefiero creer que, una vez libres de nuestra enraizada predilección por la causalidad absoluta, lograremos superar estas dificultades, y no que, a la inversa, la teoría atómica —casi casualmente, diríamos— venga a comprobar el dogma de la causalidad.»¹⁹

Lo sorprendente es que, en cierto modo, la visión cuántica del mundo no supuso para Schrödinger una confirmación del acausalismo, sino lo contrario: cierta restauración de la confianza en la necesidad de los procesos individuales y, ya que no la rehabilitación del determinismo absoluto, al menos un claro distanciamiento del probabilismo estocástico. Resulta paradójico, ya que la ecuación de ondas que lleva su nombre ha sido interpretada a partir de la propuesta de Max Born en términos de *probabilidad*; pero no es un secreto que Schrödinger fue muy reluctante a tal interpretación:

«Pero hoy ya no me gusta suponer, como Born, que un proceso individual de este tipo es “absolutamente casual”, es decir, completamente indeterminado. Ya no creo hoy que este concepto (que yo defendí con tanto entusiasmo hace cuatro años) solucione mucho. Gracias a una separata del último artículo de Born [...] sé más o menos cómo él concibe las cosas: las *ondas* deben determinarse estrictamente mediante leyes de campo, las *funciones de ondas*, por otra parte, sólo tienen el significado de las probabilidades de los movimientos *reales* de partículas de luz o materia. Creo que Born olvida por tanto que [...] dependería del gusto del observador, que ahora le place considerar como real, la partícula o el campo de orientación. Ciertamente, no hay ningún criterio para la realidad si uno no desea decir: lo *real* es sólo el complejo de las impresiones sensoriales, el resto es sólo imágenes.»²⁰

Todas estas consideraciones sobre causalidad, determinismo, azar y probabilidad son relevantes para el problema de la vida y la evolución, porque Schrödinger

¹⁷ Recogida en: E. Schrödinger, *Was ist ein Naturgesetz? Beiträge zum naturwissenschaftlichen Weltbild*, München-Wien, Oldenburg, 1962; *¿Qué es una ley de la naturaleza?*, trad. de J.J. Utrilla, México, F.C.E., 1975 [citada en adelante con las siglas LN], pp. 15-26.

¹⁸ Véase E. Scheibe, «Erwin Schrödinger and the Philosophy of Physicists», VW, pp. 30-31.

¹⁹ *¿Qué es una ley de la naturaleza?*, LN, p. 26.

²⁰ Carta de Schrödinger a Willy Wien del 25.8.1927, citada en UV, pp. 203-204.

explicó una y otra contraponiendo tales nociones. Para él la vida consiste básicamente en un comportamiento ordenado, determinista, de un sistema que con arreglo a los módulos de la física clásica debería conducirse más bien de un modo caótico e imprevisible.

No es necesario insistir en la originalidad de esta postura. La impresión general que transmiten las historias de la ciencia es que los cuánticos suplantaron la ciencia determinista de sus mayores por una física de la incertidumbre y la indeterminación. Es cierto que la termodinámica y la mecánica estadística habían renunciado con anterioridad a descripciones exactas y completas de los eventos elementales, pero —se acostumbra a añadir— sólo a efectos prácticos: en teoría al menos, seguía en pie el paradigma determinista. Sucede, sin embargo, que Schrödinger no era muy respetuoso con los paradigmas que seguían en pie *sólo teóricamente*. Tal vez pensaba que en su fuero interno un científico puede creer lo que quiera acerca del objeto que estudia; pero sus convicciones metafísicas importan tan poco como sus opiniones políticas a la hora de hacer física, si entre aquéllas y ésta hay un claro divorcio, independientemente de que se arroje con la distinción entre lo teórico y lo práctico o con cualquier otra. El hecho es que la física clásica se había vuelto indeterminista en lo referente a los procesos físicos elementales, ya que consideraba que estos procesos están decisivamente condicionados por la termodinámica, que se limita a contemplar leyes de estadísticas que por principio sólo se aplican a una gran multitud de casos parecidos. La agitación térmica de las moléculas no puede ser seguida ni descrita caso por caso; en consecuencia, para la física es indiferente que dichas moléculas se muevan en realidad obedeciendo a relaciones de causa-efecto, o con total aleatoriedad, o siguiendo su propio y particular arbitrio. Lo único que importa es que las poblaciones de moléculas que componen los cuerpos macroscópicos no conspiren para desbaratar las previsiones estadísticas que les conciernen.

3. Vida y azar

Así pues, Schrödinger era fiel a la tradición de sus maestros cuando consideró que el determinismo físico es sólo un efecto de perspectiva, un precepto que tiene vigencia para el todo, pero no para las partes que lo integran. En coherencia con el espíritu positivista de Ernst Mach rechazaba su pertinencia más allá del nivel en que resulta empíricamente justificable. Los seres vivos representan, a su vez, un caso claro de orden morfológico y funcional en sistemas termodinámicamente inestables (como demuestra su rápida descomposición estructural cuando quedan sometidos a la inercia de sus componentes —cuando mueren—). Schrödinger relacionó una cosa con otra en un ensayo publicado en 1933 titulado *¿Por qué son los átomos tan pequeños?*²¹ Claro está que no se puede hablar de la pequeñez de los átomos *en absoluto*. Los átomos son pequeños en relación a nosotros, *los vivientes*, que necesitamos estar

²¹ «Warum sind die Atome so klein?», *Forschungen und Fortschritte*, 1933 (9), pp. 125-126; GA, pp. 341-342.

compuestos de una gran cantidad de ellos para escapar de las inestabilidades termodinámicas y permanecer en la «zona segura» donde imperan las leyes de los grandes números, pues es el único medio para preservar nuestra identidad de fluctuaciones indeseadas. Porque —no hay que olvidarlo— las leyes fisico-químicas relevantes para los organismos son de carácter estadístico.²² El carácter multiatómico de los vivientes es por tanto una estrategia para protegerse del azar reinante en el nivel monoatómico.²³

Así pues, Schrödinger planteó desde el principio su interpretación de la vida en términos de *orden/desorden*, o sea, como un comportamiento reglado en condiciones de extrema fragilidad. El misterio de lo viviente consiste precisamente en explicar la inverosímil estabilidad de estructuras termodinámicamente inestables.²⁴ «La disposición de los átomos en las partes más esenciales de un organismo, y su mutua interacción, difieren de modo fundamental de todos aquellos casos que hasta ahora han ocupado, teórica o experimentalmente, a físicos y químicos.»²⁵ Pero para explicar las estructuras materiales que llamamos «seres vivos» el procedimiento más adecuado no es conformarse con apelar a su tamaño: las leyes del comportamiento estadístico requieren explícitamente el carácter *amorfo* del conjunto estudiado, porque las interacciones entre los componentes podrían desfigurar las variaciones puramente aleatorias que se les atribuyen. Tales leyes se aplican sin dificultad a las moléculas de un gas o a los miembros de una muchedumbre incontrolada, pero no a las partes de un organismo, que están correlacionadas y en dependencia mutua, de manera que la distorsión producida en alguno de sus componentes no puede ser compensada por los restantes.²⁶

Hay además otra razón para desconfiar de la explicación cuantitativa, termodinámica, de lo viviente. Aun cuando fuésemos capaces de hacer plausible la pervivencia de los organismos por consideraciones estadísticas, los mecanismos de la reproducción biológica desafían cualquier explicación de este tipo: «...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.»²⁷ Por decirlo *à la* Schrödinger, los átomos son *demasiado grandes...* para los genes. O éstos demasiado pequeños: constituyen un cuello de botella insuperable para las explicaciones probabilistas de la física clásica. En definitiva, tenemos que enfrentarnos al desafío de hacer una *física*

²² Véase E. Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge, C.U.P., 1944; ¿Qué es la vida? *El aspecto físico de la célula viva*, trad. de V. Ortega, Barcelona, Orbis, 1986 [citado en adelante con las siglas QV], p. 22.

²³ Véase QV, p. 15.

²⁴ Así habría anticipado el concepto de «estabilidad evolutiva», decisivo en la biología posterior. Véase W. Leifellner, «Schrödinger, the Self and the Genes», WV, p. 88.

²⁵ QV, p. 15.

²⁶ La sabiduría popular expresa esto con el dicho: «Por un clavo se perdió una herradura, por una herradura se perdió un caballo, por un caballo se perdió un caballero, por un caballero se perdió una batalla, por una batalla se perdió una guerra...»

²⁷ QV, p. 35.

de la heterogeneidad. Los sistemas homogéneos constituyen un material apto para la aplicación de las leyes de la estadística, puesto que sus partes son simétricas y permutables. Unas son sustituibles por otras, compensándose las desviaciones —sean o no en sí mismas aleatorias— que presentan con respecto a la media. Pero el rasgo que distancia a los cuerpos orgánicos de los inorgánicos es la extrema diferenciación interna de aquéllos y la escasa o nula intercambiabilidad de sus partes. Se trata, pues, de encontrar el principio explicativo de la estabilidad de tales diferencias. Y Schrödinger lo encuentra precisamente en la discontinuidad cuántica.²⁸

4. Los fundamentos cuánticos del orden vital

Interpretar la discontinuidad cuántica como principio de orden diferenciado —o sea, como fundamento del orden vital— es una posición muy original, que avala el talento filosófico de Schrödinger. Lo usual, una vez más, era subrayar lo contrario: la ruptura de la continuidad en los procesos de emisión/recepción de energía compromete la posibilidad de describirlos mediante ecuaciones diferenciales, y por tanto de aplicar con toda la precisión conveniente las leyes que se supone rigen el movimiento de los cuerpos. El empleo de álgebras no conmutativas permite adaptar el lenguaje matemático a las transiciones sometidas a restricciones cuánticas, pero a costa de introducir relaciones de indeterminación, es decir, a costa de renunciar a la vigencia irrestricta del principio de causalidad. Pero desde otro punto de vista —el que adopta Schrödinger— es posible hacer una lectura diferente: si en la naturaleza pudiera tener lugar cualquier transvase de energía, por mínimo que sea, no habría un límite inferior para las interferencias y desviaciones a que están sometidas todas y cada una de sus transformaciones. No habría trayectoria que no se quebrara, siquiera infinitesimalmente, por la más leve interferencia del entorno. Y, como el efecto de esas desviaciones mínimas crece exponencialmente con el tiempo, no existiría modo práctico ni teórico de mantener un orden o formular una previsión a largo plazo en un mundo que, como el nuestro, está sometido a las variaciones aleatorias de la agitación térmica de sus componentes. En cambio, la discretización cuántica impone la presencia de un número limitado de estados (órbitas electrónicas, momentos angulares, etc.) y también unas condiciones restrictivas para el tránsito entre ellos: es lo más parecido a una barrera contra la intrusión *continua* del «ruido» termodinámico que empaña la previsibilidad de los sucesos.

²⁸ En un artículo publicado en este mismo volumen, José Luis Recio sugiere que las discrepancias de Schrödinger con respecto a Bohr y la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica están de alguna forma tras su intento de explicar los sistemas biológicos desde la física. (Véase «Galileo y Kant reencontrados. Ciencia y filosofía en los orígenes de la biología molecular», § 4). Creo que es cierto, pero me parece que la teorización schrödingeriana de la biología no depende de la una hipotética teoría de parámetros ocultos, muy desacreditada tras los experimentos Aspect, sino del potencial explicativo «determinista» de la física cuántica. O lo que es lo mismo: se mueve «por encima» y no «por debajo» de las relaciones de indeterminación de Heisenberg, para lo cual basta con que las fluctuaciones energéticas de origen termodinámico sean poco significativas con respecto a los potenciales cuánticos de transición, incluso teniendo en cuenta los márgenes de imprecisión en las medidas.

En este sentido deja de ser sorprendente que la formulación definitiva de la mecánica cuántica restableciera en Schrödinger la confianza en la legalidad del cosmos más allá de las leyes estadísticas. Al fin y al cabo, las leyes de la química —y mucho más las de la bioquímica— no pasaban de ser meras generalizaciones empíricas hasta que Bohr desarrolló su modelo atómico, dando fundamentación teórica a los espectros de emisión y absorción de los elementos. Las propiedades químicas de las sustancias empezaron a ser comprendidas a partir de entonces. Precisamente fueron dos subordinados de Schrödinger en Berlín y Dublín, Fritz London y Walter Heitler, quienes desarrollaron la teoría cuántica del enlace químico que desveló los secretos de las estructuras moleculares y sus transformaciones. Schrödinger se remitiría a ellos para explicar el funcionamiento de las moléculas de la vida, superando el desorden térmico,²⁹ aunque al menos Heitler mostrara su disconformidad con tales especulaciones.³⁰

Veamos cómo planteó Schrödinger su interpretación de la vida a partir de su —por así decir— visión «determinista» de la teoría cuántica. Que otros se hubieran fijado en lo que la vida tiene de diversidad e innovación no le produjo mayor impresión. Para él, «...el organismo vivo parece ser un sistema macroscópico cuyo comportamiento, en parte, se aproxima a la conducta puramente mecánica (en contraste con la termodinámica) a la que tienden todos los sistemas cuando la temperatura se aproxima al cero absoluto y se elimina el desorden molecular.»³¹ Un espíritu clásico se desconcertaría necesariamente por tal aparente excepción al segundo principio de termodinámica (que pronostica la tendencia de los sistemas a evolucionar hacia los estados más desorganizados y probables). Sin embargo, el «físico está familiarizado con el hecho de que las leyes clásicas de la Física son modificadas por la teoría cuántica, especialmente a bajas temperaturas. Hay muchos ejemplos de ello. La vida parece ser uno de ellos, y, por cierto, particularmente notable. La vida parece ser el comportamiento ordenado y reglamentado de la materia, que no está asentado exclusivamente en su tendencia a pasar del orden al desorden, sino basado en parte en un orden preexistente que es mantenido.»³²

Orden y desorden, caos y cosmos, azar y necesidad, son los polos alrededor de los cuales gira el reino de la vida. La dispersión aleatoria constituye el punto de partida. Para hurtarse a su imperio los cuerpos han de encontrar la forma de suprimir el factor que la desencadena (el calor como forma degradada de la energía) acercándose a las proximidades del cero absoluto, o bien tienen que convertirse en insensibles a él con la ayuda de principios de orden muy constrictivos, más fuertes que la general tendencia al desorden. La apertura de un espectro discontinuo de configuraciones separadas por barreras energéticas comparativamente altas es una alternativa válida, avalada por los entonces recientes descubrimientos de la física: «El

²⁹ Véase QV, p. 114.

³⁰ Véase *Dokumente, Materialien und Bilder zur 100 Wiederkehr des Geburtstages von Erwin Schrödinger*, Wien, Fassbaender, 1987 [citado en adelante con la sigla D], p. 119.

³¹ QV, p. 96.

³² QV, p. 95.

salto cuántico al que nos referimos es la transición desde una configuración molecular relativamente estable a otra.»³³ De este modo se producen agrupaciones de átomos capaces de sobrevivir al ataque de los dinamismos disgregadores. Y lo que es aún más importante: este orden incipiente no tiene por qué quedar confinado en un ámbito embrionario de organización: la estructura molecular básica forma un patrón de agregación que se repite una y otra vez, hasta formar un conjunto simétrico reconocible a nivel macroscópico: así se moldean los *sólidos periódicos* (los cristales) que forman uno de los estados fundamentales de la materia. Sin embargo, el orden que reina en el mundo de los cristales es idéntico por doquier: siempre la misma estructura multiplicada hasta donde alcanzan los confines del cuerpo vertebrado por ella, y nuevamente repetida sin variaciones en todos los ejemplares del mismo tipo de sustancia.³⁴ No es ésta la clase de orden que reina en los organismos vivientes: sus partes presentan diferencias morfológicas y funcionales intrínsecas, y aun dentro de la misma especie no se encuentran nunca dos individuos exactamente iguales.

Schrödinger reconoce la vigencia del *principio de diversidad* como rasgo definitorio de los objetos de la biología frente a los de la física y la química. Pero quiere conjugarlo con el *principio de orden* que tan buenos resultados ha dado en esas dos ciencias. Lo esencial para ello es que los entes en cuestión estén conformados según pautas, que sin embargo divergen tanto de unos individuos a otros como en el interior de cada organismo. Propone entonces la idea de *crystal* o *sólido aperiódico*, que quizás sea su aportación teórica más enjundiosa a la biología, como testimonia el reconocimiento que le tributaron los descubridores de la estructura del ADN, Crick y Watson.³⁵ Es, en efecto, muy notable la clarividencia de Schrödinger en este punto, porque la molécula de ADN no sólo *cristaliza*, sino que el patrón de difracción por rayos X que obtuvo Rosalind Franklin a partir de tales cristales fue el indicio decisivo para resolver su intrincada estructura molecular.³⁶

Como es obvio, Schrödinger no tenía en mente la admirable doble hélice que genera el ácido nucleico cuando se pliega de acuerdo con las fuerzas que ligan sus átomos. Ni siquiera sospechaba que ésa era la sustancia que soporta la información genética, los planos del ser viviente. Más bien pensaba en moléculas proteínicas, a pesar de que en la misma época (1943) Avery y McLeod habían conseguido demostrar que la base material de la herencia biológica era precisamente el ADN.³⁷ No obstante, el hecho de que la molécula que contiene la información genética sea de una clase completamente distinta de la que agrupa todas las moléculas encargadas de catalizar y vehicular las reacciones bioquímicas es un dato extra que complica extraordinariamente el problema del origen de la vida, hasta el punto de que el propio Crick haya buscado más allá de las estrellas la cuna de una simbiosis molecu-

³³ QV, p. 78.

³⁴ En realidad, siempre se dan modificaciones, pero se deben a la presencia de impurezas y a la plasmación imperfecta de la estructura dominante; nunca a un *principio interno* de diversificación.

³⁵ Véase D, p. 119.

³⁶ Véase James D. Watson, *La doble hélice*, Barcelona, Plaza Janés, 1978, pp. 250-252.

³⁷ Véase C.U.M. Smith, *Biología molecular*, Madrid, Alianza, 1975, p. 365.

lar tan sofisticada.³⁸ Por tanto, Schrödinger procedió correctamente desde el punto de vista epistemológico, aunque cometiera un error fáctico, al aunar las funciones autorreplicantes (la perpetuación de la información genética) con las propiamente metabólicas. En realidad, la lucha del organismo contra las consecuencias del segundo principio de termodinámica está encomendada a las proteínas casi en exclusiva. Los ácidos nucleicos sólo tienen a su cargo la «memoria» biológica del organismo, el mecanismo mutacional y la dirección del proceso de síntesis proteínica, en el que además del ADN cromosómico intervienen el ARN mensajero, el ARN ribosómico y el ARN de transferencia, a los que hay que añadir la intervención de numerosas proteínas. Un entramado tan complejo —que ha provocado la ansiosa búsqueda de fórmulas más simples para los primeros pasos de la historia de la vida, basadas, por ejemplo, en funciones autocatalíticas de los ácidos nucleicos— escapaba como es natural a las virtudes proféticas de Schrödinger, cuya aportación conceptual se refería al problema específico de sostener un orden altamente diferenciado sobre un conglomerado material minúsculo. Porque, en efecto, el tamaño de los genes es «...excesivamente pequeño, incluso si todos estos átomos desempeñaran funciones idénticas, como ocurre en un gas o en una gota de líquido. Probablemente se trata de una gran molécula de proteína, en la que cada átomo, cada radical, cada anillo heterocíclico, tiene un papel individual y más o menos distinto del que tiene cualquiera de los otros átomos, radicales o anillos.»³⁹

5. La síntesis de orden y diversidad

La riqueza de estructuras diferenciadas que permite la química del carbono asegura la posibilidad de expresar un número virtualmente ilimitado de diferencias individuales. Ahora bien, ¿cómo es posible que la identidad basada en tales diferencias se conserve y perpetúe de generación en generación, tanto de las células como de los todos orgánicos que forman? La respuesta, ya lo sabemos, es el sólido aperiódico. No es casual esta denominación *mineralógica* para referirse al secreto más íntimo de la vida, porque las estructuras cristalinas son el ejemplo más cabal de estabilidad determinista capaz de superar con éxito la aleatoriedad termodinámica aprovechando discontinuidades cuánticas protegidas por pronunciados umbrales de energías de transición. En la actualidad se cree que las primigenias moléculas de ARN fueron sustituidas por el ADN precisamente a causa de su mayor estabilidad. La mentalidad tradicional veía en la creatividad y la plasticidad los atributos más característicos de los vivientes. Schrödinger no creyó necesario preocuparse por ellos: un caldo de átomos entrelazándose al azar ofrece materia prima más que suficiente para la variabilidad vital. Lo difícil es atrapar y perpetuar los mejores productos de ese proteico barajamiento de formas. Por eso, el organismo no se alimenta de ideas, proyectos o novedades; se alimenta de su necesario contrapunto, es decir, de *orden*.

³⁸ Véase F. Crick, *La vida misma. Su origen y naturaleza*, México, F.C.E., 1985.

³⁹ QV, p. 47.

Aquí aparece la noción de *entropía negativa*⁴⁰ como clave del difícil equilibrio que debe ser mantenido:

«La asombrosa propiedad de un organismo de concentrar una “corriente de orden” sobre sí mismo, escapando de la descomposición en el caos atómico y “absorbiendo orden” en un ambiente apropiado parece estar conectada con la presencia de “sólidos aperiódicos”, las moléculas cromosómicas, las cuales representan sin ninguna duda, el grado más elevado de asociación atómica que conocemos —mucho mayor que el cristal periódico común— en virtud del papel individual que cada átomo y cada radical desempeñan en ellas. Para decirlo con brevedad, somos testigos del hecho de que el orden existente puede mantenerse a sí mismo y producir acontecimientos ordenados.»⁴¹

Dejando aparte la corrección o no del término «entropía negativa», en el que tampoco Schrödinger quiso insistir demasiado,⁴² lo chocante es la idea de *absorber orden*, es decir, de convertir el orden en alimento o materia prima, cuando parece evidente que alude a un principio formal, poco apto para ser intercambiado, en la medida que el orden es inseparable de lo que ordena. Se ha formulado contra Schrödinger la objeción de que los organismos no asimilan precisamente la «buena organización» de las moléculas que ingieren,⁴³ sino la energía libre que proporciona su degradación metabólica o a lo sumo ciertos materiales con una estructuración muy somera (aminoácidos, nucleótidos, etc.). La digestión consiste precisamente en la desnaturalización de la forma —demasiado específica— de los alimentos hasta que se haga lo suficientemente elemental como para ser incorporada tal cual al organismo receptor. Se puede discutir este punto, pero de nuevo creo que la atención de Schrödinger se orientaba hacia una dirección diferente a la que apuntan sus críticos. No se trata tanto de respetar la integridad de una arquitectura molecular más o menos exótica, como de aprovechar las posibilidades configuradoras y estabilizadoras de los átomos mismos y de las diversas clases de enlaces y ligaduras que *a priori* pueden tener. En este sentido, tanto *orden* hay en el más humilde y desnudo átomo de hidrógeno, carbono o nitrógeno, como en la más complicada molécula que surja de su mutua unión. Mientras que una máquina térmica sólo puede aprovechar el carbono *quemándolo* (combinándolo con oxígeno y beneficiándose del excedente de energía consiguiente), un organismo lo emplea para convertirlo en parte de sí mismo, es decir, extrae de él la *vida* misma. Y es que Schrödinger no concibe el orden viviente como una superestructura impuesta a un material inerte, sino como la potenciación plena de las formalidades y legalismos intrínsecamente presentes en la

⁴⁰ Véase a este respecto: R. Riedl, «Schrödinger's Negentropy Concept and Biology», WV, pp. 59-60.

⁴¹ QV, p. 105.

⁴² Véase QV, p. 101.

⁴³ Véase UV, p. 357.

materia. Por eso subrayó la importancia del hilozoísmo, que afirma la inseparabilidad de lo orgánico y lo inorgánico, idea para él llena de vigor en los milesios y lamentablemente estéril en Schopenhauer, por haber dado la espalda a la perspectiva evolucionista que permite articular armoniosamente la unidad de ambos mundos.⁴⁴

6. La física de la vida

La cuestión decisiva del libro *¿Qué es la vida?* es si ésta se basa o no en las leyes de la física.⁴⁵ Es inevitable recurrir a leyes desde el momento que ha sido interpretada como un tipo de *orden*. Ahora bien, ¿habrá que recurrir a un nuevo tipo de ley física, o a leyes no-físicas e incluso super-físicas?⁴⁶ Schrödinger distinguía entre dos tipos de leyes: las que se basan en el principio *orden a partir del desorden* y las que asientan en cambio el *orden en el propio orden*.⁴⁷ Aquéllas son las leyes estadísticas que han llegado a dominar la física clásica; éstas no tienen relación con la turbamulta molecular: la física las empleó en las primeras fases de la ciencia moderna (Newton hizo uso de ellas para explicar los movimientos de los astros) y en un sentido diferente han sido restauradas por la física cuántica. Schrödinger cree que no hay que acudir a reglas de otro tipo para avanzar en biología, y por eso compara los organismos con los relojes:⁴⁸ Planck —adelantado de la física cuántica— serviría así para reivindicar a Laplace —principal exponente del determinismo clásico— frente a Clausius —la figura que simboliza el abandono por la física de los eventos individuales al azar—.

El lector quizás piense que Schrödinger intentaba retornar a un crudo materialismo determinista. A este respecto hay que señalar que su posición filosófica corresponde más bien a un panteísmo idealista muy puro que él denomina *teoría de la identidad*.⁴⁹ Afirmó taxativamente que, si se acepta la contraposición entre la mente y la materia como una dicotomía irreversible, habría que apostar por la primera.⁵⁰ ¿Cómo se conjuga esto con su interpretación *fisicista* de la vida? Schrödinger citó en el encabezamiento de uno de sus textos una frase de Unamuno según la cual: «Si un hombre no se contradice, será porque nunca dice nada.» Es una forma de salir del

⁴⁴ Véase E. Schrödinger, *Nature and the Greeks. Shearman Lectures, delivered at University College, London on 24, 26, 28 and 31 May 1948*, Cambridge, C.U.P., 1954; *La naturaleza y los griegos. Conferencias Shearman pronunciadas en el University College, de Londres, los días 24, 26, 28 y 31 de Mayo de 1948*, trad. de F. Portillo, Madrid, Aguilar, 1961, pp. 74-75.

⁴⁵ Véase QV, p. 103.

⁴⁶ Véase QV, p. 109.

⁴⁷ Herbert Hörtz («Determination and Self-organization: Erwin Schrödinger's Views on Chance», WV, pp. 71-85), ha insistido en la importancia de este planteamiento para el desarrollo de la controversia filosófica sobre la relación entre determinación y autoorganización. Sobre la discusión ulterior en torno a la contraposición «orden a partir del desorden» y «orden a partir del orden», véase W. Leinfellner, *Schrödinger...*, WV, pp. 90-94.

⁴⁸ Véase QV, pp. 110 y ss.

⁴⁹ Véase E. Schrödinger, *Meine Weltansicht*, Hamburg-Wien, Zsolnay, 1961; *Mi concepción del mundo*, CM, p. 125.

⁵⁰ Véase *Mi concepción del mundo*, CM, p. 81.

paso, pero tal vez no estamos aún ante una contradicción insoluble. Es innegable que la vida no se reduce a orden, pero igualmente está claro que la vida *también* es orden. Y, para bien o para mal, los seres humanos hemos referido en la física todos los principios de orden que nuestras mentes han destilado a partir de la observación de los procesos naturales. Tendemos a asimilar cualquier nuevo tipo de ordenación que vamos encontrando a los ya conocidos, y no hay ningún impedimento lógico para hacerlo, sobre todo si los principios de orden consagrados por la más reciente y poderosa teoría de la física encierran un poder explicativo que está lejos de haberse agotado. Schrödinger ejemplifica la legitimidad de este modo de proceder con la discusión del problema de las *mutaciones*. A través de ellas irrumpe la novedad en los mecanismos de la herencia: todas las innovaciones se *materializan* a través de ellas y, por consiguiente, nadie puede negar que se trata de acontecimientos de índole *material*: «Una mutación es, claramente, un cambio en el tesoro hereditario y debe atribuirse a algún cambio en la estructura material de la sustancia de la herencia.»⁵¹ Un análisis de las dimensiones espacio-temporales de las mutaciones y de los dinamis-mos que las acompañan y condicionan conduce a la identificación de la entraña *física* del mismo: «Las mutaciones se deben, de hecho, a saltos cuánticos en las moléculas del gen.»⁵² A partir de aquí hay que averiguar si lo que sabemos acerca de las discontinuidades cuánticas que modifican la estructura de las moléculas implicadas en los procesos vitales arrojan suficiente luz para disipar nuestras dudas. Schrödinger apeló al modelo de Delbrück, basado en consideraciones termodinámicas sobre la transición de unas configuraciones moleculares a otras, pero lo encontró demasiado genérico, lo que le llevó a cifrar la esperanza de nuevos avances en la fisiología y la genética. La conclusión fue que estamos ante la existencia de leyes físicas desconocidas, pero perfectamente asimilables por la ciencia natural.⁵³ A mi juicio no es otra la tesis central del libro de Schrödinger.

7. Lamarckismo y evolución

¿*Qué es la vida?* contiene lo esencial de las reflexiones schrödingerianas acerca de la *física de la vida*. Pero su filosofía de la biología va algo más allá, como testimonian dos opúsculos complementarios, *El futuro del conocimiento* (1950)⁵⁴ y *Mente y materia* (1956).⁵⁵ Ambos inciden en un tema íntimamente relacionado con la esencia de la vida, o mejor, de su despliegue en el tiempo: la teoría darwiniana de la evolución. En alguna ocasión resaltó Schrödinger el paralelismo entre esta teoría y la que desarrolla Boltzmann para explicar el calor:⁵⁶ ambas parten de un esquema estadístico-casual,

⁵¹ QV, pp. 52-53.

⁵² QV, p. 52.

⁵³ Véase QV, pp. 94-95.

⁵⁴ Véase E. Schrödinger, *The Future of Understanding*, GA, pp. 464-477.

⁵⁵ Véase E. Schrödinger, *Mind and Matter*, Cambridge, C.U.P., 1958; *La mente y la materia*, trad. de F. Fernández Santos, Madrid, Taurus, 1958 [citado en adelante con las siglas MM].

⁵⁶ Véase E. Schrödinger, *Die Besonderheit des Weltbilds der Naturwissenschaft*, GA, p. 427.

filtrado por un mecanismo ordenador fácilmente comprensible. En los dos casos se producirían variaciones al azar, pero a nivel global resultarían primadas las secuelas más probables, bien por las correcciones que las interacciones mecánicas impondrían a las situaciones anómalas, bien por la restricción que supone la necesidad de sobrevivir antes de reproducirse.

Si la aparición de novedad y variación en los vivientes es comparable con los expedientes típicamente aleatorios de la física clásica, era previsible que la atención de Schrödinger acabaría centrándose en el mecanismo complementario que selecciona y preserva las formas que no han de desaparecer. La *selección natural* de Darwin y la *herencia de los caracteres adquiridos* de Lamarck son las propuestas más atractivas para resolver este problema crucial. Schrödinger sostenía que desde un punto de vista filosófico la solución de Darwin resulta pesimista y desalentadora (por la pasividad que implica en el viviente respecto a la evolución), mientras que la de Lamarck es, por el contrario, bella, alentadora y vigorizante (porque otorga protagonismo a los organismos en la mejora de la descendencia).⁵⁷ Aquí resuenan ecos de las viejas disputas entre finalistas y antifinalistas, pero una vez más Schrödinger se las arregló para darle un sesgo original a una polémica aparentemente agotada. Su actitud queda reflejada por el precepto evangélico de dar al César lo que es del César... y a Dios lo que es de Dios. Se trata, en resumidas cuentas de rescatar el lamarckismo en la medida que ello no suponga una ruptura con la ortodoxia darwiniana. A dicho fin buscó apoyo en la teoría sintética de Julian Huxley. El problema teórico que late por debajo se resume en la pregunta de si entre el predeterminismo causal y la finalidad hay una contraposición ontológica irreductible o simplemente representan dos modos diferentes de totalizar la comprensión de un proceso (desde el pasado hacia el futuro, o bien apoyándose en el «después» para explicar el «antes»). Darwinianos de estricta observancia, como Thomas Huxley, observaron desde muy pronto que la selección natural no elimina la perspectiva finalista, sino que la reasume desde la perspectiva causal preponderante en la ciencia natural:

«Quizá el servicio más notable que Mr. Darwin ha prestado a la filosofía de la biología haya sido la reconciliación de la teleología y la morfología, y la explicación de los hechos de ambas que ofrece en sus teorías. La teleología que supone que el ojo, tal como lo vemos en el hombre o en los vertebrados superiores, fue creado con la misma estructura que hoy presenta con el fin de capacitar al animal que lo posee para la visión, ha recibido, indudablemente, un golpe de muerte. Sin embargo, tenemos que recordar que existe una teleología más amplia a la que la doctrina de la evolución no afecta, sino que, más bien, se basa de hecho en la proposición fundamental del evolucionismo.»⁵⁸

⁵⁷ Véase MM, pp. 28-30.

⁵⁸ Th. Huxley, *Genealogy of Animals*, citado por Francis Darwin en: Ch. Darwin, *Autobiografía*, Madrid, Alianza, 1977, p. 427.

Pero el punto de vista darwiniano *oficial* es que la conjunción de variaciones aleatorias y la selección natural, concebida como un mecanismo ciego y anónimo, produce especies cada vez más adaptadas y capaces de sobrevivir y procrearse, *como si* éste fuera un fin consciente o inconscientemente propuesto por *alguien*. Schrödinger pretende ir un paso más allá: el esfuerzo espontáneo o premeditado del viviente por mejorar no sólo es *como si* influyera en el curso de la evolución —mera apariencia—, sino que constituye un factor ciertamente *real*; aunque no interviene allí donde suelen buscarlo los lamarckianos —en el surgimiento de variaciones o en el dispositivo que las convierte en hereditarias—, sino en el mecanismo discriminador, esto es, en la propia *selección natural*. Así, la conducta no se «heredaría» ni tampoco tendría la virtud de «inducir» variaciones hereditarias, pero sí se convertiría en algo así como un «supervisor» de la selección natural, haciéndola receptiva a cierto tipo de variaciones y proclive a acumularlas en una determinada dirección.⁵⁹ No hay que pensar en misteriosas presencias fantasmales. El mero hecho de cambiar de hábitat hace que el individuo esté sometido a presiones selectivas diferentes, de manera que es perfectamente verosímil la participación de la conducta en la configuración de lo que llamamos «selección natural», la cual, en la medida que el viviente tiene control sobre su propia conducta, adquiere un lejano parentesco con la *selección artificial*. Los efectos así producidos puede ser acumulativos, porque «sensibiliza» el mecanismo selectivo a las mutaciones que potencian la adaptación de alguna forma «buscada»⁶⁰ (por ejemplo, el hecho de instalarse en una región de clima riguroso predispone a consagrar las variaciones que suponen mayor resistencia al frío o la humedad). Por otro lado, la aparición de un nuevo carácter puede por sí mismo contribuir a cambiar el entorno, lo que reforzará —o debilitará— el progreso selectivo en la misma dirección⁶¹ y, en todo caso, la selección natural nunca actuará sobre una variación favorable que no haya sido empleada por el organismo agraciado.⁶²

En resumidas cuentas, Schrödinger propone añadir a la aparición de efectos «pseudofinalistas», ya previstos por el darwinismo, la presencia de efectos «pseudointeligentes», en los que la conducta desencadena, siempre por vía indirecta, líneas evolutivas que están en armonía con los modos de vida que las propiciaron.

8. Los límites de la biología

La relativa rehabilitación del lamarckismo tiene consecuencias capitales con respecto a nuestro propio futuro como especie biológica. Schrödinger constata que la selección natural ya no actúa sobre nosotros, sin que, para bien o para mal, haya sido suplantada por filtros evolutivos (guerras, medicamentos, política natalicia) eficaces y coherentes.⁶³ No existe, pues, una ley que determine cómo serán nuestros

⁵⁹ Véase *The Future...*, GA, p. 468.

⁶⁰ Véase *The Future...*, GA, p. 473.

⁶¹ Véase MM, p. 32.

⁶² Véase MM, p. 39.

⁶³ Véase *The Future...*, GA, p. 466.

descendientes;⁶⁴ y la cuestión de si hay que esperar o no un desarrollo biológico del hombre simplemente *depende de nosotros mismos*.⁶⁵ La biología llega así a sus límites naturales, que lindan con los de la ética. Los malos tiempos que le tocaron vivir a Schrödinger no eran los más propicios para el optimismo, pero a las sombras que se cernían sobre el futuro moral de la humanidad hay que añadir otras, relacionadas con el misterio de la subjetividad, las cuales suscitaron la mayor parte de las especulaciones metafísicas del científico austriaco. No es el momento de debatir todas estas cuestiones. Basta con constatar, como consideración final, que la filosofía «determinista» y «mecánica» de la biología que defendió Schrödinger está muy lejos de las trivializaciones en que podemos caer al juzgarla precipitadamente y, sobre todo, que no está en absoluto reñida con una concepción «abierta» de la vida y respetuosa de su especificidad irreductible.

* * *

Juan Arana
Dpto. de Filosofía y Lógica
Universidad de Sevilla
Avda. San Francisco Javier, s.n.
41005 Sevilla
jarana@cica.es

⁶⁴ Véase MM, p. 42.

⁶⁵ Véase *The future...*, GA, p. 475.