

GALILEO Y KANT REENCONTRADOS. CIENCIA Y FILOSOFÍA EN LOS ORÍGENES DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR*

José Luis González Recio. Universidad Complutense

Resumen: Durante el desarrollo inicial de la biología molecular, físicos eminentes como Schrödinger o Bohr exploraron no sólo las consecuencias físicas sino, asimismo, las consecuencias filosóficas de la mecánica cuántica para aquella nueva rama de la biología. En este trabajo examino el fondo filosófico de la controversia originada, así como las raíces galileanas y kantianas que pueden ser encontradas en las filosofías de la naturaleza asumidas por Schrödinger y Bohr.

Abstract: In the initial developments of molecular biology, eminent physicists as Schrödinger or Bohr not only explored the physical but also the philosophical consequences of quantum mechanics for that new branch of biology. This paper examines the philosophical background of the controversy thus originated, as well as the Galilean and Kantian roots traceable in the philosophies of nature espoused by both the physicists.

1

El problema del conocimiento de los sistemas biológicos poseía ya una historia muy dilatada, tanto en el seno de la filosofía como de la ciencia natural, cuando al comenzar el siglo XIX se abre un período en el que se darán cita y terminarán manifestándose con matices cada vez más definidos las antiguas corrientes tanto reduccionistas como antirreduccionistas. Período que se inicia con las reflexiones de Lamarck sobre la finalidad en la *Filosofía zoológica* (1809)¹, y que concluye con el redescubrimiento de las leyes de Méndel por Correns, Tschermak y De Vries en 1900². Período de enorme fecundidad especulativa y descriptiva, que ha conocido el desarrollo de la *Naturphilosophie*, la inspiración neokantiana de la botánica de Schleiden, la recusación de la idea de fuerza vital por Schwann, el positivismo fisiológico

* Este trabajo ha sido realizado con la ayuda del Proyecto de Investigación PB 96-0072 otorgado por el Ministerio de Educación y Cultura.

¹ *Philosophie zoologique, ou exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux*, París, 1809.

² Carl Erich Correns, «Mendels Regel über das Verhalten der Nachkommenschaft der Rassenbastarde», *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 18 (1900), 158-168; Erich von Tschermak-Seysenegg, «Über Künstliche Kreuzung bei *Pisum sativum*», *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 18 (1900), 232-239; Hugo de Vries, «Das Spaltungsgesetz der Bastarde - Vorläufige Mitteilung», *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 18 (1900), 83-90.

de Claude Bernard, el materialismo emergentista de Virchow, así como la revolución darwinista, su eclipse y el neodarwinismo de Weismann³. Décadas decisivas que han presenciado también el avance de concepciones epigenéticas del desarrollo, como la de Von Baer, la difusión de la teoría de la recapitulación de Haeckel y la reacción mecanicista de la embriología de Wilhelm Roux⁴. Toda una época, en suma, de gran actividad teórica, que concluye con cierto afianzamiento de los vitalismos —cuyo fruto aparecerá en las obras de Driesch y Bergson⁵—, pero con la consolidación simultánea de una perspectiva mecanicista dentro de la fisiología experimental.

Es en este conñado reduccionismo que hereda la investigación fisiológica de principios del siglo XX donde se encuentran las raíces del problema que voy a examinar; porque para algunos físicos como Schrödinger, tras la renovación conceptual impuesta por la mecánica cuántica, sólo cabía entenderlo como un *reduccionismo ingenuo*, llamado a ser sustituido por una reducción que tuviera en cuenta la teoría de la materia que proporcionaba la nueva física del átomo. A la vez que, de acuerdo con el planteamiento de otros físicos no menos eminentes —Bohr fue su representante más destacado—, la conclusión epistemológica básica que se seguía de la física cuántica era la que obligaba a enunciar *la ingenuidad inherente a cualquier clase de reduccionismo*. Los antecedentes inmediatos del debate entre Bohr y Schrödinger⁶ tuvieron que ver, así, con las ideas a que se acogía aquel enfoque mecanicista de las estructuras y las actividades biológicas que guiaba la fisiología en los primeros años del siglo. Ello por dos razones: porque ambos rechazaron la consistencia del vitalismo como ontología; y porque su discusión se refiere a las implicaciones de la física y la química cuánticas para una teoría general de la vida. En efecto, Bohr y Schrödinger polemizarán sobre el modo en que había de producirse la revisión de la teoría de la vida vinculada a la física y a la química clásicas, cuyos rasgos más destacados eran en esencia dos: a) rechazo del espontaneísmo que, especialmente desde la aparición de la teoría tisular de Bichat⁷, había hecho de una ilimitada actividad creadora la esencia y manifestación primaria de lo vital —la misma que Bergson reconocerá más tarde; b) asunción por la fisiología experimental, a partir de 1840, del modelo de la

³ Matthias Jacob Schleiden, *Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik*, Leipzig, 1842-1843; Theodor Schwann, *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und im Wachstum der Thiere und Pflanzen*, Berlín, 1839; Claude Bernard, *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*, París, 1865; Rudolf Virchow, *Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre*, Berlín, 1858; Charles Darwin, *On the Origin of Species by means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, Londres, 1859; August Weismann, *Die Continuität des Keimplasmas als Grundlage einer Theorie der Vererbung*, Jena, 1887.

⁴ Karl Ernst von Baer, *Über Entwicklungsgeschichte der Thiere: Beobachtung und Reflexion*, Königsberg, 1ª parte, 1828; 2ª parte, 1837; Ernst Haeckel, *Systematische Phylogenie, Entwurf eines natürlichen Systems der Organismen auf Grund ihrer Stammesgeschichte*, Berlín, 1894-1896; Wilhelm Roux, *Der Kampf der Teile im Organismus*, Leipzig, 1881.

⁵ Hans Driesch, *Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre*, Leipzig, 1905; Henri Bergson, *L'évolution créatrice*, París, 1907.

⁶ Debate no expresamente reconocido por sus protagonistas, que evitaron citarse en las páginas que escribieron sobre problemas biológicos.

⁷ François Bichat, *Recherches physiologiques sur la vie et la mort*, París, 1800; *Anatomie générale*, París, 1802.

máquina animal de La Mettrie, que pasa a ser ensayado como el modelo de una máquina térmica. La respiración se convierte a partir de entonces en la función biológica elemental, porque es interpretada como una combustión que proporciona la energía que hace posible la vida, y el llamado *Grupo de Berlín* —Mayer en especial— intenta corroborar la aplicabilidad del primer principio de la termodinámica a las funciones orgánicas. Sin duda, la aplicación de principios de conservación —como el de la energía o la masa— a los procesos fisiológicos tenía una importancia capital, ya que estos constituían la garantía formal del determinismo. En efecto, si los procesos biológicos eran transacciones energéticas, y éstas descansaban en el comportamiento mecánico de los elementos moleculares, los organismos eran máquinas térmicas en un sentido preciso: eran nada más que materia en movimiento sometida a las leyes de conservación de la física; leyes que recogían los diversos nexos causales en que se revelaba el determinismo de la naturaleza. Se imaginó que la biología entraba en una etapa de auténtica madurez, al poder aspirar a conformarse como una ciencia explicativo-predictiva liberada del espontaneísmo. Si la forma orgánica había sido para los vitalismos sede de fenómenos que sólo en ella y en virtud de ella podían darse —si, en definitiva, la forma explicaba la función—, el mecanicismo biológico de esta época desea reconocer como única forma una forma que ya no es biológica sino química: *la molécula*. La biología parecía caminar hacia la estrategia que había presidido la creación de la ciencia moderna, esto es, hacia el análisis. Es decir, se orientaba hacia el análisis molecular, hacia la bioquímica. El orden biológico había pasado a ser orden molecular derivado de principios físico-químicos.

La fisiología experimental de enfoque reduccionista gozó de una aceptación extendida entre los biólogos y tuvo en Jacques Loeb a su defensor más vehemente. En 1911, Loeb presenta al I Congreso de la Liga de Monistas, celebrado en Hamburgo, una comunicación que titula «La concepción mecanicista de la vida». Las ideas fundamentales contenidas en ella valen como resumen de lo que significó el mecanicismo biológico de principios de siglo. Loeb sostenía: 1) que no cabía sino una ciencia materialista; 2) que las investigaciones recientes ratificaban el determinismo fisiológico; 3) que el mecanicismo debía entenderse como la filosofía natural comprometida con la posibilidad de reducir los fenómenos complejos a la interacción de partículas últimas, mediante fuerzas de atracción, repulsión, eléctricas o magnéticas; 4) que la teoría atómica había situado a la ciencia para siempre sobre bases mecánicas; 5) que la actividad biológica no sólo obedecía a los principios de conservación sino que se explicaba enteramente por ellos; 6) que las nociones morfogénicas a que había estado ligada la filosofía mecánica durante los siglos XVII y XVIII solo necesitaban cierta clarificación experimental, pero que se situaban dentro de la concepción adecuada del problema de la generación: *no debía admitirse otro enlace causal que el mecánico*; 7) y que tal filosofía, al reclamar una teoría físico-química de la vida, tenía consecuencias metodológicas precisas, esto es: pensar en la posibilidad de una fisiología experimental equivalía a pensar en la *delimitación de las condiciones de la observación, en su control y en su repetibilidad*.⁸

⁸ Cfr. Jacques Loeb, «The Mechanistic Conception of Life», en Noel G. Coley y Vance M. D. Hall,

2

A la vez que la fisiología experimental comenzaba a vislumbrar la posibilidad cierta de su reducción a la física clásica, ésta llegaba a la fase de su culminación teórica a finales del siglo XIX. Había conseguido un cuadro sintético de la naturaleza en torno a dos polos principales: las *sustancias materiales* —los átomos de los distintos elementos y las moléculas surgidas de la unión química de esos átomos— de un lado; de otro, los *campos y las radiaciones*: luz, calor radiante y electromagnetismo. Se vino a aceptar que las sustancias materiales eran el asiento *natural* de los fenómenos físicos, mientras que campos y radiaciones eran preferentemente considerados modelos lógicos que servían para representar la evolución de aquellos fenómenos. Esta postura se debió en gran medida al fracaso de los intentos de sustancialización del campo por medio del concepto de éter. La materia se suponía, por tanto, constituida por partículas, provista de una estructura corpuscular, discreta y localizable en el espacio. Los campos y radiaciones se pensaban portadores de una energía cuya emisión tenía un carácter continuo. La teoría de la relatividad, pese a incorporar principios que rompían la oposición entre la materia y la energía, en cuanto entidades realmente distintas, puede, sin embargo, entenderse como la coronación de la mecánica clásica, debido a que facilitaba la eliminación de la acción a distancia y a que, aun cuando en ella materia y campo adquieran una relación profunda, siguen siendo dimensiones diferentes de la realidad física.

Muy al contrario, la física cuántica iba a abandonar el cuadro clásico de manera inequívoca. Planck se ve forzado a postular que los sistemas físicos sólo pueden intercambiar energía a través de bloques unitarios, de cuantos de energía⁹. De tal manera que la dicotomía «discreto-continuo» no podía continuar utilizándose para preservar la distinción entre materia y energía radiante. Después de estos primeros pasos que justifican el reconocimiento de propiedades corpusculares en las radiaciones, no tarda en recorrerse el camino conceptualmente inverso que conduce a la admisión de fenómenos ondulatorios en las partículas materiales. El esquema de interpretación clásico inicia entonces su disolución, puesto que el conjunto de las entidades físicas exigen ser reconocidas en su carácter simultáneo de partícula y campo, de materia y radiación. Todos sabemos hoy que las consecuencias fueron muy hondas, tanto para la configuración legal de la física como para su régimen filosófico. La representación de los sistemas físicos se tornó tan incierta, como ambigua y difícil de conceptuar la superposición de las imágenes corpuscular y ondulatoria de la naturaleza. El contenido intuitivo de que estaba provista la física clásica se desvaneció, precisamente porque sus formas de intuición se vieron afectadas

Darwin to Einstein. Primary Sources on Science & Belief, Harlow, Longman-The Open University Press, 1980, pp. 240-248.

⁹ Max Planck, «Über eine Verbesserung der Wien'schen Spektralgleichung», *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 2 (1900), 202-204; «Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum», *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 2 (1900), 237-245.

y su entramado categorial comprometido. La mecánica cuántica, como tarea cognoscitiva, se tuvo que enfrentar, en síntesis, al problema de sus fundamentos, y ese problema mostró de inmediato dimensiones lógicas, ontológicas, epistemológicas y metodológicas. El problema no era otro, en consecuencia, que el de volver a pensar la naturaleza, el de edificar una nueva filosofía de la naturaleza. La discontinuidad impuesta por el cuanto elemental de acción impedía la especificación simultánea exacta de la posición y el momento, o el tiempo y la energía de una partícula¹⁰; afectaba al cumplimiento de los principios de conservación; oscurecía las nociones de continuo espacio-temporal y trayectoria; y negaba la consistencia del antiguo universo determinista laplaceano, sostenido por firmes nexos causales.

Como es de sobra conocido, no tardó en conseguirse la vertebración lógico-matemática de la nueva teoría. Fue preciso, sin embargo, acudir al álgebra abstracta del cálculo de matrices para representar los valores que tomaban magnitudes como el momento o la posición¹¹. Desde un punto de vista lógico, lo más destacable es que el producto de matrices —frente a lo que ocurre, por ejemplo, en el producto de números naturales, de la lógica proposicional o de la lógica de clases— no posee la propiedad conmutativa. Tal relación lógicamente singular se ve satisfecha en aquellos casos en donde los valores que toman dos variables no son independientes del orden en que se observen, en que se midan. Dado que el producto de esas mismas variables cumple la propiedad conmutativa en la física clásica, el formalismo de Heisenberg obligaba a formular numerosas preguntas. ¿Por qué la física clásica y la microfísica detentaban una estructura lógica diferente? Era la dimensión lógica del problema. La física clásica obedecía a una lógica binaria y regida por el principio de contradicción, al tiempo que la mecánica cuántica exigía para sus enunciados probabilitarios una lógica polivalorada, en la que el principio de contradicción parecía ser incumplido por la dualidad «onda-corpúsculo». ¿Qué valor ontológico adquiriría esta heterogeneidad lógica?, ¿existían acaso dos mundos, dos ámbitos de la naturaleza separados, diversos en su constitución sustancial y en sus operaciones? ¿Podían tomarse como reales las entidades de la física atómica? Ellos eran, entre otros, los aspectos ontológicos del problema. Pero existían, además, cuestiones de índole epistemológica bien definida: ¿había que entender como posible el conocimiento de la disposición formal y la evolución de los objetos atómicos?; ¿cabía construir imágenes sobre dicha evolución?; ¿era legítimo mantener los conceptos clásicos en las descripciones cuánticas?; ¿cómo salvaguardar la objetividad de tales descripciones, si los conceptos clásicos resultaran inaplicables? En resumen: ¿hacía falta una nueva epistemología para la física cuántica, o la mecánica cuántica abocaba a una reconstrucción epistemológica que afectaría a toda la física? Para terminar, ¿en qué relación se encontraban teoría y experiencia en la física del átomo, en el núcleo de la descripción de la naturaleza, en el método de la física teórica? Schrödinger y Bohr hallaron respuestas

¹⁰ Sobre la naturaleza del principio de indeterminación, véase Ana Rioja, «Los orígenes del principio de indeterminación», *Theoria*, 22 (1995), 117-143.

¹¹ Werner Heisenberg, «Über quantentheoretischer Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen», *Zeitschrift für Physik*, 33 (1925), 879-893.

diferentes a estas cuestiones en su reflexión sobre el sustrato filosófico de la física. No discutieron sobre los datos obtenidos experimentalmente, ni aun sobre la acomodación de aquéllos al simbolismo matemático de la teoría. Polemizaron sobre su interpretación, pero la interpretación de la teoría era ya una labor filosófica. La interpretación de la teoría estaba ligada a cuestiones filosóficas tan relevantes, que quedó polarizada por la adhesión de sus protagonistas a dos importantes tradiciones.

Schrödinger da a conocer en 1926 su mecánica ondulatoria¹². Se ha convencido de que tan sólo en la hipótesis ondulatoria podía reconquistarse una imagen intuitiva y adecuada de los fenómenos cuánticos. Imagen que para él no es un *artificio permitido* sino un *fin* en física. La materia tenía un carácter ondulatorio; las partículas eran perturbaciones de ondas. La física clásica permitía subdividir cualquier proceso y visualizar su despliegue causal; la mecánica ondulatoria restablecía la continuidad y la causalidad, porque, en cualquier momento, las ondas están determinadas por su estado inmediatamente anterior. La recuperación de la continuidad suponía la recuperación del escenario espacio-temporal clásico. Ligada a ese escenario, se producía, asimismo, la restauración del contenido intuitivo que había dominado la mecánica clásica, al tiempo que se disipaban las sombras del indeterminismo.

En sentido lógico, la mecánica ondulatoria restablecía la vigencia del principio de contradicción y del principio de bivalencia: la realidad física no era dual, y los enunciados que la describían eran verdaderos o falsos. El dominio del átomo aparece, pues, a Schrödinger, como un mundo unitario, subordinado a la causalidad y la necesidad. La lección epistemológica que se sigue de la mecánica ondulatoria es la de que hay que perseverar en la búsqueda de imágenes objetivas de la naturaleza, porque la objetividad es posible justo en el sentido consagrado en la filosofía natural que fundó la física moderna. La imposibilidad de una imagen objetiva —sostendrá Schrödinger— es pura excentricidad y quienes la sostengan sólo provocarán una crisis innecesaria de la física¹³. De este modo, de tener que ser conservada, la dualidad «onda-partícula» nos advertiría de la inconsistencia de la teoría en que aparece; sugeriría, por tanto, que la investigación no ha concluido y que la teoría es incompleta. Pero, en ese caso, no es incompleta por su debilidad predictiva o por su incapacidad para ajustar a la sintaxis matemática los hechos conocidos, sino por razones filosóficas, por abandonar la filosofía que Schrödinger cree que ha presidido el nacimiento y el curso de la física desde Galileo¹⁴. Por otra parte, Schrödinger no

¹² Erwin Schrödinger, «Quantisierung als Eigenwertproblem (Erste Mitteilung)», *Annalen der Physik*, 79 (1926), 361-376; «Quantisierung als Eigenwertproblem (Zweite Mitteilung)», *Annalen der Physik*, 79 (1926), 489-527; «Quantisierung als Eigenwertproblem (Dritte Mitteilung)», *Annalen der Physik*, 80 (1926), 437-490; «Quantisierung als Eigenwertproblem (Vierte Mitteilung)», *Annalen der Physik*, 81 (1926), 109-139.

¹³ Cfr. Erwin Schrödinger, et al., *On Modern Physics*, Nueva York, Potter, 1959, p. 38.

¹⁴ En 1950, Schrödinger afirmaba: «... este cuadro de la realidad material es hoy tan vacilante e inseguro como hacía mucho tiempo que no lo era. Conocemos incontables detalles interesantes y cada semana nos enteramos de otros nuevos. Pero hoy día resulta totalmente imposible partir de los conceptos básicos para buscar aquellos detalles que realmente son invariables y edificar con ellos una estructura clara y comprensible, de la que pueda decirse: 'Eso es indudable, y eso creemos todos'. Un dogma ampliamente aceptado afirma que no puede haber un cuadro objetivo de la realidad en ninguno de los sentidos en que

admite el instrumentalismo matemático. El método de la física teórica no consiste en un juego de ajuste entre forma matemática y observación que pueda concluir en el convencionalismo¹⁵. Las teorías no son instrumentos ciegos que relacionan convenientemente las observaciones; son intentos de descubrir y describir un mundo independiente del observador. De esta forma, lejos de imponer límites a los supuestos ontológicos de la física, el método se pliega a requerimientos ontológicos: la invención de hipótesis (ondulatorias) está dirigida por esos supuestos. La filosofía natural de Schrödinger se ofreció, pues, como aquella que brindaba una fundamentación de la física desde la claridad intuitiva de las imágenes y la descripción causal en el espacio y en el tiempo.

Schrödinger fue de inmediato criticado por quienes creían que la existencia del cuanto de acción en la naturaleza tenía consecuencias epistemológicas ineludibles, contrarias a las ideas de continuidad, de determinación causal, de observación y de objetividad que animaron la física clásica. Los ataques se dirigieron contra la interpretación dada por Schrödinger a su mecánica ondulatoria, y no contra una virtual incorrección del aparato formal. En poco tiempo —en unos meses cruciales, como se recuerda tantas veces en las historias de la física contemporánea—, Max Born, Heisenberg y Bohr hacen un análisis de los trabajos de Schrödinger. Born propone su interpretación probabilitaria y corpuscular de la mecánica de Schrödinger, Heisenberg da a conocer las relaciones de incertidumbre y Bohr el principio de complementariedad, que ofrece como el nuevo marco fundamental, la nueva filosofía que habrá de sustituir a la filosofía de la naturaleza del continuo¹⁶.

El punto de partida en que tiene su origen la reflexión de Bohr es el reconocimiento de la existencia del cuanto de acción y la búsqueda de sus implicaciones. El

antes se creía. Tan sólo los optimistas que hay entre nosotros (entre los cuales me encuentro yo mismo) consideran esto como una extravagancia filosófica, como una medida desesperada tomada ante una gran crisis. Esperamos que lo vacilante de los conceptos y las opiniones sólo revele un violento proceso de transformación, que finalmente nos conducirá a algo mejor que el estéril formulismo que ha paralizado nuestra situación actual.» Galileo hubiera asentido. Refiriéndose a los recursos de la astronomía geométrica, sentenciaba: «Los astrónomos puros los aceptan para facilitar sus cálculos, pero no los consideraban reales los astrónomos filosóficos, quienes, al ir más allá de la preocupación de salvar las apariencias de cualquier modo, tratan de investigar la verdadera constitución del universo: el problema más importante y admirable que existe. Porque esa constitución existe: es única, verdadera, real, y no puede ser de otra manera y, debido a su grandeza y dignidad, debería considerarse en primer lugar entre las cuestiones de interés teórico.» (Erwin Schrödinger, «Nuestro concepto de la materia», en *¿Qué es una ley de la naturaleza?* Trad. de J.J. Utrilla, México D.F., F.C.E., 1975, pp.138-139; Galileo, *Istoria y dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*, en *Opere*, Vol.V, p. 102).

¹⁵ Cfr. Franco Selleri, *El debate de la teoría cuántica*. Trad. de M. Ferrero, Madrid, Alianza, 1986, p. 34.

¹⁶ Max Born, «Zur Quantenmechanik der Stossvorgänge», *Zeitschrift für Physik*, 37 (1926), 863-867; «Zur Wellenmechanik der Stossvorgänge», *Göttinger Nachrichten*, (1926), 146-160; «Quantenmechanik der Stossvorgänge», *Zeitschrift für Physik*, 38 (1926), 803-827. Werner Heisenberg, «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischer Kinematik und Mechanik», *Zeitschrift für Physik*, 43 (1927), 172-198. Niels Bohr, «El postulado cuántico y el desarrollo reciente de la teoría atómica», en *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*. Trad. de M. Ferrero, Madrid, Alianza, 1988, pp. 97-132 (conferencia originalmente pronunciada por Bohr en el *Congresso Internazionale dei Fisici, Como, 11-20 Settembre 1927*, y recogida en sus actas).

cuanto de acción es un elemento constitutivo de la naturaleza que impone límites a lo observable de modo ineludible. No hay observación sin interacción, y no hay interacción con los sistemas atómicos que no perturbe dichos sistemas. Esto es: las condiciones de la observación —que no son sólo condiciones relativas al observador sino que están fijadas por la existencia en la naturaleza del cuanto de acción— impiden mantener el ideal de la descripción clásica. Lo hallado en la interacción observacional no puede ser tomado como perteneciente a un mundo objetivo independiente de la interacción misma. Se trata, además, de una perturbación que por principio no podemos medir, ya que no es posible una observación de los sistemas atómicos libre de interacción. A partir de todo ello, las relaciones de indeterminación de Heisenberg aparecen como la versión teórica de los límites de lo que es posible observar. El aumento de la precisión en la localización de una partícula hace disminuir la precisión en el establecimiento de sus magnitudes dinámicas y viceversa. No se trata de límites que puedan corregirse con modificaciones o ajustes en el diseño experimental, porque nacen de algo que pertenece al modo de ser de la naturaleza. Así, no cabe mantener la posibilidad de una descripción causal en el espacio y en el tiempo, basada en los principios de conservación.

Mediante la perspectiva de la complementariedad, Bohr intenta dar respuesta a las acuciantes preguntas que suscitaba el desarrollo de la mecánica cuántica. El problema lógico y ontológico de la dualidad, cree resolverlo con la previa consideración del problema epistemológico de la objetividad. Conceptos como los de *onda* y *partícula*, *posición* y *velocidad* son analogías, es decir, no pueden entenderse como constituyentes últimos de una realidad física independiente de la interacción observacional. La necesidad de conservarlos para una descripción completa de la naturaleza no vulnera el principio de contradicción: no son elementos reales en el sentido de la física clásica; su realidad queda restringida a la interacción observacional. Ahora bien, si es preciso renunciar al viejo ideal de objetividad, dada la existencia del cuanto de acción, ¿a qué cabe llamar conocimiento objetivo en la nueva física? Bohr propone entender la objetividad como la posibilidad de que lo dado en la interacción observacional sea susceptible de una comunicación inambigua; y como los diseños experimentales obligan al empleo de dispositivos cuya lectura ha de hacerse en términos clásicos, la comunicación inambigua requiere el uso de tales términos. No obstante, su significado ha de estar bien definido y, una vez admitido el postulado cuántico, su definición lleva a tomarlos como complementarios. Ha de hablarse entonces del marco de la complementariedad como de aquél que establece las condiciones de la objetividad, una vez aceptado el postulado cuántico¹⁷. La filosofía de Bohr quiere ser, en definitiva, la nueva filosofía que fundamente la estructura racional de la nueva física. Filosofía que no podría ser más la de una materia en movimiento, leído sobre la realidad del continuo espacio-temporal, los principios de conservación y la determinación causal.

¹⁷ En relación con el significado epistemológico de la noción de complementariedad, cfr. Ana Rioja, «La filosofía de la complementariedad», *Revista de Filosofía*, 8 (1992), 257-282.

Ese marco filosófico que Bohr ha concluido para la teoría elemental del mundo físico hacia 1927 es, en realidad, un marco general sobre el conocimiento de la naturaleza. Cabía esperar, por ello, que también tuviera un significado en biología. La mecánica cuántica ha supuesto una reformulación tan severa de los principios de la mecánica, que el viejo materialismo mecanicista resulta insostenible. No obstante, era aquella versión del mecanicismo la que había guiado el proyecto reduccionista de Loeb y de la fisiología experimental de principios de siglo. Pero, en el transcurso de dieciséis años, la mayor parte de las ideas del manifiesto de Loeb en favor del mecanicismo biológico parecen haberse vuelto inaceptables: *el antiguo materialismo como tesis ontológica, el determinismo fisiológico, la aplicabilidad de los principios de conservación, la universalidad de los nexos causales y el control de la observación no podían servir ya para definir las condiciones de reducción de la teoría de la vida a la teoría de la materia*. Para quienes estaban convencidos de que el problema de la vida ni podía plantearse ni podía resolverse al margen de las implicaciones filosóficas de la nueva mecánica —y tanto Bohr como Schrödinger lo estaban— llegaba el momento de prolongar aquellas implicaciones al terreno de la materia-viva.

3

En 1927, dentro del Congreso Internacional de Físicos celebrado en Como, Bohr ha propuesto la nueva estructura conceptual para la descripción de la naturaleza que llama *complementariedad*¹⁸. Bohr subrayó pronto que de la perspectiva de la complementariedad se desprendía una lección epistemológica respecto a la relación entre las concepciones mecanicista y finalista de los sistemas biológicos. Durante su juventud, época en la que Bohr tiene acceso al mundo intelectual y académico de la mano de su padre —que es profesor de fisiología en la Universidad de Copenhague¹⁹—, la disputa sobre el papel de la finalidad en biología —la disputa entre mecanicistas y vitalistas— se asienta y dirime en un terreno abiertamente ontológico. Por decirlo así, existía la común presuposición de que la controversia giraba en torno a la última naturaleza de lo vital. Los defensores de la posición mecanicista, como por ejemplo Loeb, hacían de los organismos sistemas materiales dotados de propiedades meramente físico-químicas. A la vez que los vitalistas entendían que la naturaleza de los seres vivos impedía su definición y descripción en términos físico-químicos. Desde la presentación pública de la filosofía de la complementariedad, Bohr explicitará en conferencias y ensayos sus consecuencias para las ciencias de la vida. Estas consecuencias aparecen dispersas en tres colecciones: *Atomic Theory and the Description of Nature* (1934), *Atomic Physics and Human Knowledge* (1958) y *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge* (1963)²⁰. Las tres, tomadas en conjunto, cubren

¹⁸ Véase nota 16.

¹⁹ Respecto a las ideas de Christian Bohr sobre el problema de la reducción teórica, cfr. Niels Bohr, «Physical Science and the Problem of Life», en *Atomic Physics and Human Knowledge*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1958, p. 96.

²⁰ *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press, 1934; *Atomic Physics and*

una etapa de la vida de Bohr que va desde 1929 hasta 1962, año de su muerte. A lo largo de ella no modificó sustancialmente su postura ni en lo que concierne al significado de las relaciones de complementariedad en el seno de la física cuántica ni en el horizonte de los problemas biológicos.

Bohr cree que la existencia de la vida debe ser considerada un hecho elemental que no puede ser fundado en ningún otro. Debe ser tomado como punto de partida de la biología, en forma análoga a como el cuanto de acción proporciona la base de la física atómica. Por otra parte, las condiciones de la investigación física y de la investigación biológica son diferentes. Concretamente, si prolongáramos el análisis de los organismos hasta el ámbito de los fenómenos atómicos, perderíamos de vista los procesos genuinamente vitales que en ellos se dan. La base para una descripción de carácter complementario en biología no se conecta, entonces, con el problema de controlar la interacción entre el objeto y el instrumento de medida sino en la complejidad del organismo —que queda rota, destruida, cuando queremos llevar el análisis a la función desempeñada en ella por los átomos individuales. En la experiencia sobre los seres vivos existe necesariamente, por lo tanto, una incertidumbre respecto a las condiciones físicas a que están sometidos. Y, así, la descripción teleológica en biología sería irreductible, porque nunca podrá ser sustituida por una descripción en términos microfísicos. El enfoque teleológico y el enfoque físico-químico son necesarios, complementarios e irreductibles. De modo que el método de investigación en biología habrá de ajustarse, en este caso, no a requerimientos ontológicos sino epistemológicos; esto es, adquirirá una orientación dual, porque dobles e irreductibles son las condiciones del conocimiento de los sistemas biológicos. Lo que constituye, pues, el fondo de la analogía— con la dualidad registrada en física —es la relación de mutua exclusión, de complementariedad, entre la subdivisión necesaria a todo análisis físico (subdivisión que culminaría en el orden atómico), y el mantenimiento de las funciones vitales, que a Bohr se le aparecen como inequívocamente presididas por la finalidad. Esto es, la idea de fin, que no tiene cabida en el análisis químico, es entendida como expresión de una cualidad inanalizable de los sistemas orgánicos, según éstos aparecen a nuestro conocimiento²¹. En tal medida, la finalidad biológica y el cuanto elemental de acción actúan en un sentido a la vez paralelo y opuesto: ambos son elementales, si bien la relevancia del cuanto de acción se hace patente en el tránsito de lo mesofísico a lo microfísico; sentido inverso a aquél en el que la integración orgánica revela una actividad teleológica cada vez más compleja. Lo característico de las investigaciones biológicas, frente a las físicas, es que, así como en física pueden alterarse las condiciones externas a que están sometidas las grandes agrupaciones de átomos para estudiar su comportamiento, a las condiciones externas variables, el organismo responde con una actividad teleológica que es ininteligible a partir de principios mecánicos. Y aún más: en la investigación

Human Knowledge, Nueva York, John Wiley & Sons, 1958; *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1963.

²¹ Los ecos kantianos de la posición de Bohr respecto a la pertinencia de la finalidad en biología son indiscutibles, si bien no puede hablarse de una coincidencia estricta y articulada en todos sus detalles.

biológica no es posible determinar siquiera cuáles son los átomos pertenecientes a un organismo, ya que toda función vital entraña intercambio de materia con el entorno²².

Resumido de este modo el planteamiento general que hace sobre la relación de complementariedad en que se hallan la descripción mecánica y la descripción teleológica en biología, ¿cómo caracterizar los rasgos que dicho planteamiento incluye?, ¿cuál es la orientación filosófica en que descansa? La posición de Bohr, hay que reconocer en primer lugar, no está enraizada en la tesis ontológica del vitalismo. La controversia entre mecanicistas y vitalistas de principios de siglo daba por sentada una presuposición que Bohr no acepta: la presuposición de que si dos descripciones difieren de modo esencial en los conceptos que incorporan —de manera que unos no pueden ser reducidos a los otros—, entonces estas descripciones se refieren a entidades distintas, son descripciones diferentes de objetos asimismo diferentes. Hay testimonios inequívocos de que hacia 1918 Bohr estaba familiarizado con la filosofía de Bergson²³. Aunque comparte con este último su rechazo del reduccionismo mecanicista, sabemos que no acepta el núcleo central del pensamiento bergsoniano. Bohr rechaza la vía de la irreductibilidad ontológica entre materia y vida, entre causas mecánicas y fines, porque se ha convencido de que una misma realidad puede requerir más de una clase de descripción. El dispositivo observacional es tan importante que en la interacción nos encontramos con objetos distintos, cada uno de los cuales exige conceptos descriptivos distintos. Es preciso, en suma, redefinir la idea de objeto y sostener que sólo tenemos un acceso analógico a la naturaleza. Pocos años antes de dar a conocer su doctrina de la complementariedad, Bohr confiesa que está convencido de que en el mundo del átomo hay que renunciar a la clase de descripción espacio-temporal que se corresponde con nuestras imágenes ordinarias, y que «no podemos perder de vista que estamos trabajando constantemente con analogías»²⁴. Cuando lleva su posición al ámbito de la biología, las conclusiones que se desprenden son claras: las descripciones organicistas u holistas en términos teleológicos no pueden reducirse a descripciones físico-químicas. No es ésta una llamada a la paralización de la investigación biofísica o bioquímica, puesto que la descripción físico-química es a su vez necesaria y no puede reducirse a la descripción teleológica. En las dos clases de descripción trabajamos con analogías, y ese hecho impide que debamos tomar las descripciones físico-químicas o teleológicas como referidas a formas contradictorias de organización²⁵. Hay que retener, por consiguiente, ambos tipos de descripción, que corresponden a diferentes modos de interacción con una misma realidad desconocida. Bohr encuentra, de esta manera, una justificación

²² Cfr. «Biology and Atomic Physics», en *Atomic Physics and Human Knowledge*, p. 20.

²³ Cfr. Henry J. Folse, «Complementarity and the Description of Nature in Biological Science», *Biology and Philosophy*, 5 (1990), 211-224.

²⁴ Carta a H. Hoffding, de 22 de Septiembre de 1922, *Archive for the History of Quantum Physics: Bohr Scientific Correspondence*, Microfilm n° 3.4., citada en Henry J. Folse, *a.c.*, p. 214.

²⁵ Bohr llega a la antinomia planteada por Kant en la *Crítica del Juicio*, al presentar éste la Dialéctica del Juicio Teleológico. La actitud que Bohr encarna tampoco está lejos de la solución kantiana. Cfr. *Kritik der Urteilskraft* § 78, 360.

epistemológica para el antirreduccionismo, para la preservación de la finalidad en biología, sin apelar al presupuesto vitalista de la dualidad ontológica.

¿Cuál es el estatuto epistemológico de la finalidad en la actitud filosófica de Bohr? El cuanto elemental de acción y la complejidad de los seres vivos son hechos elementales que no pueden ser fundados en otros. Bohr acepta la *realidad* del cuanto de acción y la *realidad* de la organización vital. Es precisamente la existencia del cuanto de acción la que limita la aplicabilidad de los conceptos clásicos de trayectoria o causalidad. Dentro de tales límites, los conceptos clásicos sirven a la posibilidad de una comunicación inambigua, pero no tienen que ver con el modo de construirse la experiencia sino con el modo de comunicarla, una vez que ha tenido lugar. Por ello, la lección epistemológica de la complementariedad se refiere, no al origen o la fuente de los conceptos clásicos, sino a su función en la comunicación de los resultados de la experiencia, una vez producida ésta. Dicho con otras palabras, los conceptos clásicos no ejercen en Bohr una función constitutiva de objetos²⁶. En biología, la idea de fin —al igual que los conceptos clásicos— carece de aquella capacidad constitutiva. Precisamente por esa razón nos vemos abocados a descripciones complementarias: la descripción físico-química y la descripción teleológica²⁷. Cuando aislamos a un organismo del medio, creamos una situación experimental cuyos resultados hemos de describir por medio de conceptos físico-químicos. Cuando dejamos que el organismo interactúe con el medio, nos hallamos ante una situación experimental cuyos resultados requieren ser descritos acudiendo a la finalidad. El concepto de fin vuelve a ser la forma para la descripción de lo observado y no la forma de la observación misma, de la experiencia.

De otro lado, a lo largo del período en que tuvieron lugar las contribuciones de Bohr a la epistemología de la física y la biología, la interpretación positivista de la ciencia quiso hacer del antiguo debate entre mecanicistas y vitalistas una polémica vacía. Se pensó que las dos concepciones eran una apelación a ontologías rivales, y que sus argumentos incluían términos que debían ser relegados a la categoría de formas lingüísticas desprovistas de significación cognitiva. De haber compartido Bohr semejante interpretación de la controversia, es decir, de haber sido el positivista que en algunas ocasiones se quiere ver en él, habría tenido que reconocer que el debate se alimentaba, en efecto, de un pseudoproblema, y que terminaría siendo

²⁶ En un artículo anterior al ya citado, Folse puntualiza: «For Bohr experience as subjective precedes the application of concepts which in turn makes possible the communication of objective scientific knowledge. For Kant the concepts achieve their function within the understanding to generate experience. Thus two different meanings for the term 'concepts' can be distinguished. The Kantian concepts appear before experience, the Bohrian concepts follow experience. That such a difference is not trivial is emphasized by the fact that Kant is faced with the difficult problem of deriving the concepts from a source other than experience, namely reason itself. Bohr has no such difficulty; although the concepts are applied to experience to make it objective in communication, it remains possible for Bohr to assert that experience itself provides the origin of these same concepts which are applied to it, indeed that the justification for the application of such concepts is found in the nature of experience itself. Kant's derivation of the concepts represents a portion of his rationalist heritage; no such element is present in Bohr's doctrine». (H.J. Folse, «Kantian Aspects of Complementarity», *Kant-Studien*, 69 (1978), pp. 63-64.

²⁷ Cfr. Henry J. Folse, «Complementarity and the Description of Nature in Biological Science», p. 218.

olvidado. Sin embargo, pese a que podía conceder que, al igual que el positivismo, no esperaba una solución basada en la victoria de ninguna de las dos ontologías, sí exigía que se comprendiera que la discusión, lejos de originarse en un pseudoproblema, nacía de un problema sustantivo: nada menos que el problema de cómo es posible el conocimiento de los sistemas biológicos, cuáles son sus condiciones y de qué orden son sus garantías. El problema de la dualidad no es un pseudoproblema para Bohr, como podía serlo para quienes aceptaron los límites y las constricciones semánticas del positivismo de la época. Es más, en la medida en que el ideal de la ciencia unificada sirvió como lema y programa de la filosofía positivista, es obligado reconocer una distancia más acentuada, si cabe, entre aquella y las raíces de la actitud de Bohr. El Círculo de Viena abogó por la transcripción de toda descripción de la naturaleza al lenguaje fisicalista y, en un sentido más limitado, por el reconocimiento de que la ciencia, su supuesta estructura sintáctica, sus criterios semánticos y su organización metodológica no podían ser otros que los que se creían propios de la física. No había lugar, porque no había legitimidad, para las explicaciones teleológicas en biología. El neopositivismo entendió que resultaba necesario eliminar de la biología futura cualquier vestigio finalista, y convocó a un proyecto para la ciencia natural basado en la nivelación teórica. Por otro lado, ya que las dos clases de descripción no podía suponerse que recogieran y representaran la realidad de principios o estructuras diferentes, tenían que considerarse diferentes lenguajes. Como el lenguaje teleológico eludía el criterio verificacionista, obligaba a su reducción: los fenómenos pretendidamente explicados por las pseudoexplicaciones teleológicas quedarían subsumidos en auténticas explicaciones biológicas cuando éstas fueran traducidas a términos físico-químicos. Bohr comparte el rechazo del positivismo hacia la ontología vitalista, pero rechaza igualmente la posibilidad de una reducción teórica de la teleología a la mecánica, la posibilidad de una traducción completa y consistente del lenguaje de la fisiología al lenguaje físico-químico, de la descripción teleológica a la descripción física y, en resumen, rechaza la posibilidad de una biología liberada de la finalidad.

El significado que tiene para la biología la epistemología de la complementariedad es entonces éste: los dos modos de descripción en biología corresponden a dos modos complementarios de descripción. En la descripción físico-química nos encontramos con un objeto cuya organización aparece construida a partir de elementos exclusivamente físicos. En orden a fijar el estado de cada uno de estos elementos de manera inambigua, el sistema debe estar aislado de su entorno. Mientras que la descripción teleológica requiere justamente aquellas condiciones excluidas por el enfoque físico-químico, es decir: que el objeto no esté físicamente aislado sino en continua interacción con el mundo circundante, que es cuando las funciones biológicas y los fines aparecen. Así pues, la diversidad de condiciones experimentales requeridas establece dos contextos experimentales diferentes y dos explicaciones complementarias. Estudiar los procesos vitales, en lo referente a su valor funcional, implica un diseño experimental con intercambio de materia y energía que excluye el carácter aislado del sistema; implica la imposibilidad de interpretarlo como un sistema bien definido de partículas materiales al que pueden aplicarse los principios de conservación. Los sistemas biológicos no permiten una explicación unificada de

los detalles de su estructura o constitución físico-química y de las funciones que cumplen. En consecuencia, si partiendo de la actividad teleológica que manifiestan macroscópicamente —al intercambiar materia y energía con el medio—, queremos después una reducción físico-química de esa actividad, estaremos abocados a un intento impracticable. Mientras nos sigamos ocupando de la vida, «los términos teleológicos serán usados como términos de descripciones complementarias respecto a las ofrecidas por la biología molecular»²⁸.

4

Schrödinger abordó el problema de la vida en un ciclo de conferencias dictadas en la Universidad de Dublín el año 1943, que fueron publicadas un año después con el título de *¿Qué es la vida?*²⁹. Un título que expresaba ya que en su reflexión los aspectos ontológicos iban a desplazar a los epistemológicos y que la controversia con Bohr seguiría produciéndose en terreno filosófico. Parte, Schrödinger, de dos preguntas que llevan implícita toda una declaración de intenciones: ¿cómo pueden tener lugar los procesos *espacio-temporales* que acontecen en los límites de un organismo vivo? Y, sobre todo: ¿cuál puede ser la estructura *real* del material hereditario y las efectivas leyes por las que se reproduce? Frente a la posición de Bohr, Schrödinger estima que la incapacidad de la física y la química hasta entonces desarrolladas para explicar las estructuras y las funciones biológicas no significa que dicha explicación sea imposible³⁰. El esquema morfológico-funcional de un futuro organismo, así como las leyes de su desarrollo, están contenidos en los cromosomas de una sola célula: el huevo fertilizado. En ellos se hallan la clave y los principios activadores de la ejecución del mensaje genético³¹. Schrödinger propone la hipótesis de que la estructura molecular del gen es la de una macromolécula. Los átomos que forman una molécula están unidos por fuerzas idénticas a las que actúan entre los átomos de un cristal. En realidad, una molécula puede ser entendida como el germen de un cristal, pues el cristal no es sino la repetición en las tres dimensiones del espacio de una organización de átomos. A partir de una molécula, se pueden originar dos tipos de sólidos: la repetición periódica y tridimensional de su estructura o un sólido aperiódico —es decir, una molécula en la que cada átomo o grupo atómico desempeña un papel individual no equivalente al de los demás. Pues bien, el gen había de ser una macromolécula, un *sólido aperiódico*. Y esa *imagen* molecular del gen, su *estructura tridimensional real*, permitiría entender cómo la distribución de los átomos en el espacio conservaba la información genética³².

²⁸ Niels Bohr, «Light and Life Revisited», en *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, p. 26.

²⁹ *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press, 1944. Citada en lo sucesivo con las siglas *WIL*, por la edición de 1980 de la misma editorial.

³⁰ Cfr. *WIL*, p. 4.

³¹ Es preciso recordar que el gen es en los años cuarenta un transportador hipotético de aquel mensaje genético, cuya estructura material se desconoce.

³² Cfr. *WIL*, pp. 64-65.

Bohr no admitía la posibilidad de las imágenes espaciales y menos aún su interpretación realista. Por eso, una vez más, la discusión afectaba al orden filosófico de la física o la biología y no al registro observacional disponible. La investigación desarrollada sobre el material hereditario enseñaba— según Schrödinger —que, si bien la materia-viva no eludía las leyes conocidas de la física, probablemente comportaba otras leyes físicas desconocidas hasta entonces: las relativas a la reproducción del gen. ¿Qué justificación podía darse a la preservación de la organización de la molécula a lo largo de las generaciones?, ¿cómo conservaba su orden en el tiempo? La vida supone cierto comportamiento rígidamente ordenado de la materia— dirá. No se trata, por consiguiente, de que haya de existir una fuerza vital que dirija la actividad de cada uno de los átomos de un organismo vivo, sino del modo en que ciertas organizaciones de la materia (las macromoléculas) pueden controlar los procesos de su replicación. Ese modo de control *conlleva principios físicos desconocidos, parámetros ocultos, que muestran que la mecánica cuántica es incompleta*. Así es, porque implica un curso ordenado de acontecimientos desconocido en física cuántica, donde las regularidades nunca son producto de cierta configuración de átomos sino de un promedio. Basta un examen superficial para reconocer que estamos frente a sucesos dirigidos por un mecanismo plenamente alejado de la regularidad estadística, advierte Schrödinger³³. Estamos frente a procesos en los que el orden se produce a partir del orden. Es preciso, por lo tanto, buscar los principios cuánticos de la replicación molecular, que *van a restaurar el determinismo en la mecánica cuántica* desde la biología. Serán principios de orden sobre orden, principios mecánico-deterministas que completarán el entendimiento de la dinámica biológica. Pero, sobre todo, completarán la propia mecánica cuántica. Reaparece, con ello, la opinión de Einstein, comprometida con la idea de que la mecánica cuántica era una teoría incompleta, cuyo definitivo desarrollo restablecería el determinismo.

La propuesta de Schrödinger se basaba, en conclusión, en el siguiente argumento: si la física cuántica se entendía completa, los sistemas biológicos no hallaban explicación en términos exclusivamente físicos (tesis de Bohr). Admitir que los sistemas biológicos tenían que explicarse desde la física, obligaba a admitir que la mecánica cuántica no había sido aún completada. La reflexión de Schrödinger aparecía, en síntesis, como una reflexión sobre el marco fundamental en donde habría de inscribirse una genética molecular que todavía estaba por hacer. Como Einstein y Planck, concebía la física y la biología, la investigación de la naturaleza en general, a partir de supuestos realistas. Desde esa posición realista, avanzó después hacia la defensa de un reduccionismo no sólo metodológico, porque las entidades básicas que encontramos en los procesos vitales, así como las leyes que los rigen, habían de ser leyes y entidades físicas. Ahora bien, hablamos de leyes físicas que consideraba todavía desconocidas. Todo esto le hace avanzar un paso más: la estructura material del gen no puede ser un agregado de átomos o moléculas. Ha de ser una estructura muy estable. Y el físico sabe de dos estados estables por excelencia: el

³³ Cfr. *WIL*, pp. 73-74.

estado sólido (cristalino) y la molécula —que no es sino el *germen de un cristal*. El enlace químico va a constituir la garantía de la estabilidad del material hereditario: *es el enlace que hace posible las moléculas y los sólidos*. Por otra parte, la naturaleza cuántica del enlace químico ya ha sido desvelada³⁴. La mecánica cuántica será, pues, la teoría que brindará la última razón de la estabilidad del material hereditario.

Sin embargo, los procesos genéticos son procesos en los que rige un perfecto orden: ¿cómo podría justificarse ese orden partiendo de conceptos cuánticos, si se diera por verdadero que el mundo cuántico es un mundo plegado a la indeterminación? Los procesos genéticos implican conservación de estructura con un grado enormemente alto de precisión. Así, Schrödinger piensa que las leyes que dirijan la replicación no pueden ser leyes de *orden construido desde el desorden*. Habrán de ser leyes en las que la *supuesta* indeterminación que acompaña al comportamiento cuántico desaparezca. Las moléculas genéticas tienen que autorreproducirse y ese proceso no es sólo ya el de la preservación de la forma y del estado cuántico de la molécula, sino el de cierta secuencia *causal*, ordenada, que ha de asegurar la consecución de un estado final y una forma final, réplicas exactas de la molécula original. Entonces, si el punto de partida, la molécula original, es una forma estable, y el estado final es una réplica exacta de esa forma, las leyes que conducen el proceso de duplicación no pueden ser regularidades estadísticas, principios probabilitarios, sino principios necesarios: relaciones causales, leyes —en sus palabras— *de orden sobre orden*. La biología molecular, fundada en la mecánica cuántica, aparecerá a los ojos de Schrödinger como un dominio de indagación en el que la física reencontraría el determinismo, sólo aparentemente perdido en la interpretación de Copenhague.

Las leyes de orden sobre orden habían reaparecido, pero ¿de qué orden se trataba? Las moléculas biológicas son *formas*, disposiciones estables de materia y energía. Los principios de conservación que pudieran actuar tenían que ser principios de conservación de la forma molecular. Mas ¿de qué forma se trataba? Schrödinger subraya que los caracteres esenciales de las moléculas dependen de su estructura tridimensional. Hablar de forma de las moléculas es hablar de *forma espacial, de orden espacial*. Dos moléculas compuestas por los mismos átomos, pero con distinta distribución espacial, son dos moléculas distintas con propiedades distintas (isómeros). En tal medida, los principios de conservación que operen en la biología molecular —concebidos y anticipados desde su perspectiva filosófica— habrán de ser *principios de conservación de relaciones en el espacio*. Por eso sugiere que el mensaje y el código genéticos van a depender de la disposición en el espacio de cada átomo individual de la molécula³⁵. El orden espacial acaba convertido, de este modo, en la íntima razón de lo vital. Un orden espacial que no está tomado como *condición de la representación* sino como *esencia de la organización*. Es el sueño —en su traducción cuántica— de la filosofía seducida por el orden geométrico. La misma que movió a Galileo en el siglo XVII. *Cada distancia interatómica, cada ángulo, cada simetría o*

³⁴ Entre 1926 y 1927, W. Heitler y F. London han desarrollado los principios generales de la teoría cuántica del enlace químico.

³⁵ Cfr. *WIL*, p. 32.

asimetría tiene un significado químico y una expresión biológica. La actividad fisiológica, las funciones orgánicas, las leyes biológicas devienen relaciones geométricas. La polisemia del término «función» desaparece, y el ideal reductivo se cumple enteramente, porque la función biológica es en última instancia función geométrica: *la función de la fibra cromosómica depende de su recóndita estructura espacial*³⁶; *las explicaciones funcionales y la teleología han pasado a convertirse en topología.*

Si pasamos de la ontología a la lógica, el valor modal de las proposiciones que describan la actuación de las moléculas biológicas será la necesidad. La vertebración lógica de la fisiología experimental descansa en los fundamentos lógicos y ontológicos que Schrödinger había definido en su filosofía general de la naturaleza. Al ocuparse de los sistemas biológicos, sólo tiene que añadir que los predicados biológicos, que siempre se han entendido como predicados poliádicos —es decir, como vehículos de relaciones—, deben considerarse como vehículos de relaciones espaciales: *estar codificado por* significa que la información sobre el carácter *a* está contenida, es cierta distribución espacial de átomos. Einstein hizo geometría de la gravitación. Schrödinger procuró llevar la continuidad espacial, primero a la mecánica ondulatoria y luego a los principios de la organización biológica. Su posición, como la de Bohr, está claramente apartada del vitalismo y del positivismo, pero su compromiso con el realismo es firme. De otro lado, Schrödinger tenía que denunciar la ingenuidad de las propuestas reduccionistas que, como la de Loeb, se habían formulado con anterioridad a la aparición de la mecánica cuántica. El concepto de materia a que se debía el materialismo decimonónico no podía seguir siendo empleado. Sin embargo, la aproximación a las estructuras y las funciones biológicas sirve a Schrödinger para aplicar su filosofía a la interpretación de la teoría cuántica. Es verdad que no cabe ya un reduccionismo que no descansa en la física atómica como física fundamental, pero lo que justamente aprendemos en el estudio de los sistemas biológicos es que la física atómica va a tener que recuperar la filosofía de la física clásica. Con ella se producirá el restablecimiento del realismo espacial, la continuidad, el determinismo y los ideales clásicos de observación y objetividad, sólo aparentemente perdidos³⁷.

La controversia entre Bohr y Schrödinger fue una controversia con raíces filosóficas y se produjo en el contexto delimitado por los principios filosóficos que sostenían sus respectivas concepciones de la materia y de la vida. Los dos reconocieron que el lenguaje formalizado de la física necesitaba una interpretación semántica, y comprendieron que el contenido físico de la mecánica cuántica dependía de tal interpretación. Sin embargo, plantear la cuestión del alcance y el sentido de los términos físicos era tanto como plantear el problema de los fundamentos del mundo

³⁶ «It has often been asked how this tiny speck of material, the nucleus of the fertilized egg, could contain an elaborate code-script involving all the future development of the organism. A well-ordered association of atoms, endowed with sufficient resistivity to keep its order permanently, appears to be the only conceivable material structure that offers a variety of possible ('isomeric') arrangements, sufficiently large to embody a complicated system of 'determinations' within a small spatial boundary.» (WIL, p. 65).

³⁷ «Thus it would appear that the 'new' principle, the order-from-order principle, to which we have pointed with great solemnity as being the real clue to the understanding of life, is not at all new to physics. Planck's attitude even vindicates priority for it.» (WIL, p. 87).

físico; y pensar los fundamentos de la realidad física no era sino dar entrada a la filosofía en la física. Schrödinger, fiel al ideal clásico de objetividad y al realismo, consideró que cabía pensar en una naturaleza independiente de la observación, cuya constitución sustancial y estructura legal terminaría siendo expresada por una teoría atómica, regida por la continuidad espacio-temporal, la causalidad y el determinismo. Bohr juzgó imprescindible revisar, precisamente y por motivos epistemológicos, las ideas de naturaleza, de realidad física, de continuidad espacio-temporal y de determinación causal. Las condiciones de la observación tenían para él implicaciones tan profundas, que estimó que el ideal clásico de objetividad y el realismo habían de ser abandonados. La ampliación de la polémica al problema de la vida hace posible apreciar, con mayor claridad, si cabe, que su foco se localizaba en el enfrentamiento entre dos filosofías que actuaban desde el seno de la ciencia, porque la posibilidad de reducción de los procesos biológicos a procesos físicos fue evaluada, en primer lugar, a partir de la prioridad concedida bien al análisis ontológico bien al análisis epistemológico; y porque la posición de Schrödinger ni siquiera contaba con las leyes físicas que pudieran permitir la reducción de la vida a una organización mecánico-cuántica de la materia. Es más: Schrödinger postuló la existencia de semejantes leyes como resultado de la filosofía natural que abrazaba, y las imaginó dotadas de las notas e ingredientes conceptuales que regían aquella filosofía, que ya Galileo había convertido en motor de su programa científico.

* * *

José Luis González Recio
Departamento de Filosofía I
Facultad de Filosofía
Universidad Complutense
28040 Madrid