

## *El programa reduccionista en las Ciencias de la vida (1910-1944)*

La ruptura ontológica ligada a la aparición y desarrollo de la física cuántica es probablemente el aspecto más revolucionario e innovador de la ciencia contemporánea y de la imagen que acerca de la naturaleza ella nos proporciona<sup>1</sup>. Las consecuencias de aquella profunda revisión de los fundamentos de la física se dejaron sentir inmediatamente y fueron rastreadas en esferas muy diversas —desde la propia filosofía de la física a la teoría general del conocimiento—. Y, en efecto, no podía ser sino así, porque la nueva mecánica cortaba en su base misma los ejes sobre los que estaba delineado el viejo complejo de relaciones invariantes, determinadas, predecibles y continuas que se pensaba sostenedor del mundo físico. A nadie podía escapársele el alcance de una modificación tan sustantiva en los principios de la ciencia natural. Ningún ámbito del saber en torno a la naturaleza podía dejar de recibir los efectos y el impacto de semejante transformación. Todo ello se produjo en un período de tiempo en el que la biología estaba entregada a la consolidación y depuración teórico-experimental de disciplinas tan relevantes como la citología, la embriología, la genética clásica y la bioquímica. El profundo avance de la microanatomía celular, la interpretación citológica de los procesos morfogenéticos, la definición de una teoría de la herencia basada en leyes precisas o el establecimiento del soporte químico y el significado termodinámico de los fenómenos metabólicos, fueron conquistas que las ciencias de la vida alcanzaron mientras Planck, Born, Bohr, Pauli,

---

1. Tal vez sean la termodinámica del no-equilibrio y la biología molecular las otras dos vertientes del conocimiento experimental que más condicionen hoy los perfiles de dicha imagen.

Heisenberg, De Broglie o Schrödinger avanzaban en la comprensión del universo cuántico. Este período de florecimiento simultáneo de nuevas teorías sobre la estructura de la materia, y de teorías también nuevas en torno al carácter de fenómenos biológicos tan esenciales como los mencionados, fue —hay que apresurarse a decirlo— un período alentador de ciertas confusiones, sin embargo<sup>2</sup>. De una parte, resultaba difícil —al menos inicialmente— valorar si existía un repertorio inequívoco de consecuencias ontológicas y epistemológicas que la mecánica cuántica comportara. Qué hacer con el venerable ideal de la casualidad, cómo interpretar la dualidad onda-partícula o cuáles resultaban ser las notas específicas del nascente concepto de «realidad física», se convirtieron en cuestiones sujetas a debate en el propio seno de la física. Pero, de otra parte —y con independencia del partido que se tomase en la polémica Einstein-Bohr, por ejemplo—, quedaba abierta una cuestión de primera magnitud, a saber: qué incidencia había de tener el advenimiento de esta física, hasta entonces inexplorada, en los fundamentos y claves epistemológicas de las restantes ciencias factuales.

La invitación al fisicalismo fue en aquellos años, como es sabido, una propuesta tanto profusamente formulada como atendida. Podía tomarse o no en la estricta literalidad de su filiación neopositiva, pero sirvió, en cualquiera de los casos, de principio heurístico a físicos, biólogos y psicólogos. Algunos mantuvieron tal principio dentro de los límites del fenomenismo; otros no eludieron explicitar los compromisos ontológicos que latían en sus tesis reduccionistas; parte de ellos comprendió que la reducción al lenguaje fisicalista no equivalía a la traducción de cualquier enunciado al lenguaje que la física hacía disponible en cada momento; aunque un grupo no menos numeroso de científicos entendió que toda empresa teórica debía descansar en el supuesto de la reducibilidad de cualquier estrato de la naturaleza al fundante y último estrato de la realidad y la legalidad física.

Los vitalismos conocieron a principios de este siglo una etapa de cierta pujanza<sup>3</sup>. Con todo, la mayoría de los biólogos elaboró sus trabajos bajo una

---

2. Se trata del tiempo que, convencionalmente, como es obvio, podría quedar limitado entre 1858 —fecha en que se publica *Die Cellular Pathologie*, de Virchow— y 1927 —año en que Bohr presenta sistematizada la «interpretación de Copenhage» en la Conferencia Solvay de Bruselas—. El motivo por el que tomo como primera referencia la fecha en que aparece la obra de Virchow —momento en el que no podía adivinarse la revolución que se iba a producir en física— no es sino la explícita defensa del reduccionismo que encontramos en ella. Supone, así, un preludio —mas un preludio donde se contienen ya todos los temas fundamentales— de *La Concepción mecanicista de la vida*, de Jacques Loeb, que verá la luz en 1911.

3. Entre 1905 y 1913, Driesch, Bergson y von Uexküll publican, respectivamente, *Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre*, *L'Évolution Créatrice*, y *Bausteine zu einer biologischen Weltanschauung*.

inspiración y un programa expresamente reduccionista. Cualquiera de los avances en las líneas de investigación arriba señaladas solía ser considerado una victoria en la lucha por el acercamiento creciente de las ciencias biológicas a las ciencias físico-químicas. Es importante insistir en que el modo de entender ese acercamiento resultó con frecuencia conceptualmente «brumoso». El reduccionismo con simple proyección metodológica se confundía con las tomas de postura que penetraban con decisión en terreno ontológico; y ambas posiciones convivieron, indiferenciadas, con la defensa de una epistemología reduccionista que no siempre daba por garantizado el que las teorías biológicas se apropiaran de los reales principios sobre los que estaban contruidos los seres vivos<sup>4</sup>. No obstante, el proyecto de fundamentación mecanicista de la biología tuvo que resolver una cuestión no menos decisiva: ¿cuál sería el sustrato categorial en el que las teorías biológicas deberían acabar quedando enraizadas?, ¿cuál iba a ser el horizonte ontológico que enmarcaría el saber científico sobre la vida? o, más claramente, ¿era en el ámbito de la vieja mecánica o en el dominio de la mecánica cuántica donde se encontrarían los elementos cimentadores de la biología futura? Las próximas páginas son un intento de respuesta a estas preguntas. Me propongo ilustrar en ellas de qué modo la confluencia entre física y biología, durante la primera mitad de este siglo, se adaptó a tres modelos básicos. El primero quedó recogido en la filosofía de la biología que alentaba los trabajos de Jacques Loeb. Otto Warburg creó un segundo patrón reductivo al examinar las condiciones para la justificación bioquímica de los fenómenos estudiados por la fisiología general. Por último, la insuficiencia de la física y química clásicas como guías de la biología molecular (idea adelantada por Bohr y Delbrück), el valor de la mecánica cuántica para comprender la estructura tridimensional de importantes moléculas biológicas, y la posibilidad de que el estudio de la vida condujera a la elucidación de leyes físicas o químicas desconocidas aún, fueron sugerencias expresadas y sopesadas por Erwin Schrömiger en su obra de 1944 *What is Life?* En suma, el programa reduccionista para las ciencias de la vida supo adaptarse paso a paso, como veremos, a las perspectivas abiertas por una física inédita, habiendo estado ligado pocos años antes a firmes convicciones deterministas y a ingenuas versiones del materialismo decimonónico.

---

4. Este turbio panorama, localizable en aspectos tan cruciales del problema de la reducción tórica, se vio más enrarecido aún por la existencia de un debate en las ciencias físicas —gestado ya en el siglo XIX— en el que postulados energetistas se opusieron a postulados materialistas, y en el que actitudes fenomenistas lucharon contra actitudes realistas, según he anticipado.

## 1. LA CONCEPCIÓN MECANICISTA DE LA VIDA

Jacques Loeb es quien de manera más combativa se opuso en los primeros años de este siglo a las vigorosas proclamas de los biólogos y filósofos vitalistas. En 1911, organizado por Wilhelm Ostwald, se celebra en Hamburgo el Primer Congreso de la Liga de Monistas. El encuentro tiene lugar en una atmósfera triunfal y provocativa, dentro de la cual la conferencia pronunciada por Loeb —«The Mechanistic Conception of Life»— fue acogida con entusiasmo. Hasta 1910, Loeb no había participado en ninguna controversia que tuviera que ver con los fundamentos de la ciencia. Hacía tiempo que simpatizaba con el atomismo de Boltzmann, pero sin que la disputa entre este último y Mach o cualquier otro «entretenimiento especulativo» despertara su interés. Por la misma razón, antes de 1910 no se había preocupado de cuestiones como la naturaleza de la explicación biológica, la tecnología o el determinismo —todas ellas catalogables a sus ojos como evanescentes sutilezas filosóficas—. La invitación a participar en el congreso de Hamburgo hizo que Loeb se viera obligado a dar una formulación expresa al repertorio de principios filosóficos con los que estaba comprometido sin saberlo. Un año después, se publica *The Mechanistic Conception of Life*, obra que incluye la conferencia dictada en 1911 y otros ensayos presididos por lo que alguien ha llamado *the engineering ideal in biology*<sup>5</sup>. Ya desde sus primeras páginas, Loeb describe la moderna biología como una ciencia sometida con éxito a los requerimientos del método experimental. La capacidad para provocar artificialmente la excitación de un músculo, o el descubrimiento de los patrones a que se ajusta la transmisión de los caracteres hereditarios, son pruebas de que las ciencias de la vida han tomado el rumbo que tiempo atrás adoptaron otras ciencias de la naturaleza. En sentido riguroso, la biología científica se inicia, según Loeb, con los experimentos de Lavoisier y Laplace. La producción del calor animal era en ellos *reducida* al mismo proceso de combustión que se observa en la materia inorgánica. Por consiguiente, fue la traducción de un fenómeno vital a sus últimas calidades físico-químicas la clase de conquista teórica que cerró el período de las historias naturales y abrió el camino a la biología explicativo-predictiva. Incluso la pregunta que Lavoisier o Laplace no pudieron responder —de qué forma se producía la oxidación de los principios inmediatos a una temperatura tan poco elevada como la del organismo animal—

---

5. Cfr. Pauly, Ph. J.: *Controlling Life. Jacques Loeb & The Engineering Ideal in Biology*, Oxford University Press, 1987, pp. 130-163.

tenía una justificación bioquímica a principios de siglo, una vez descubierto el papel de los biocatalizadores por Berzelius y Ostwald. Pues bien: tal es el tipo de indagación a que estará llamado todo biólogo; tal es el tipo de *reducción* que acabará imponiéndose para todo hecho biológico, sin que nada invite a suponer que «la producción de materia viva esté más allá de las posibilidades de la ciencia»<sup>6</sup>.

Loeb concedió una atención especial a la embriología. Se trataba de una rama de la biología donde se hacían patentes el éxito y la pertinencia del enfoque mecanicista. En las fechas en que aparece *La concepción mecanicista de la vida*, esta convencido de que la activación del desarrollo del huevo por los espermatozoides tiene un carácter exclusivamente físico-químico. El desafío que había que aceptar consistía en la determinación de las sustancias químicas, radicadas en los cromosomas, que son responsables de la transmisión de la información genética, y en la clarificación de los mecanismos en que se traduce su operatividad. Pensaba, también que, considerando la juventud de la biología experimental, resultados parecidos a los que empezaban a vislumbrarse en la comprensión de la morfogénesis terminarían generalizándose a la totalidad de los fenómenos en que, *aparentemente*, se expresaba la singularidad de «lo-vivo». Los trabajos de Loeb entroncaban en su dimensión teórica con dos vertientes de la investigación biológica: el estudio de las células vivas y el estudio de los tropismos. Hacía 1899, había descubierto que un huevo de erizo de mar emprendía su desarrollo por el solo hecho de pincharlo con una aguja o de modificar la composición del agua donde permanecía. Al repetir experimentos similares con huevos de rana, consiguió llevar hasta el estado adulto huevos no fecundados. En definitiva, experiencias tan espectaculares sobre la partenogénesis artificial le hicieron confiar en que se estaba acercando a la comprensión de los principios moleculares de la vida, y no es extraño que por su mente cruzara la idea que Garland Allen le atribuye: «si agentes químicos podían recrear procesos biológicos, entonces esos procesos tenían que ser de origen molecular»<sup>7</sup>.

Las investigaciones sobre los tropismos parecían confirmarle con igual nitidez que la conducta animal se encontraba sujeta a esquemas rígidos, determinados genéticamente, y que excluían cualquier atisbo de libertad o aleatoriedad en la respuesta a los estímulos. Las larvas de mariposa con que trabajó se comportaban como «máquinas fotomecánicas exclavizadas a la luz»<sup>8</sup>. Concluyó,

---

6. Cito la obra de Loeb por la reproducción que de ella se hace en Coley, N. G., y Hall, V. M. D. (eds.): *Darwin to Einstein. Primary Sources on Science & Belief*, Longman, Harlow-Nueva York, 1980. La frase que acabo de recoger pertenece a la página 235 de dicha edición.

7. Allen, G.: *La ciencia de la vida en el siglo XX*. Trad. de F. González, Fondo de Cultura Económica, México D.F., 1983, p. 177.

8. Loeb, J., *o.c.*, p. 179.

por tanto, lanzado a una rápida generalización, que en la naturaleza no queda espacio para la voluntad. Si los comportamientos de las células germinales y del organismo individual en estado adulto tenían una estructura inflexiblemente mecánica, el mundo vivo no era un mundo abierto sino cerrado, un mundo moralmente inerte. El mecanicismo había encontrado un nuevo profeta que hacía uso de *convincientes pruebas experimentales* y que anunciaba con vehemencia las implicaciones éticas de esas pruebas. El sueño cartesiano de la máquina animal pareció a muchos al alcance de la mano: desde los microorganismos al hombre, el rastro que había que seguir para esclarecer la trama de los procesos biológicos era el rastro de la legalidad inexorable de la bioquímica celular.

La expresión «bioquímica-celular» era portadora, sin embargo, de cierta equívocidad. Si la investigación en química biológica se practicaba desde una orientación reduccionista, había que privar a dicha investigación de todo apoyo en la supuesta y singular efectividad de ciertas formas y funciones, responsables del orden que se registraba en los procesos orgánicos, y sólo emplazables en el reino de lo viviente. La auténtica razón de ser de la bioquímica únicamente se expresaría con plenitud en la búsqueda del vasto sistema de reacciones que sostienen los fenómenos de la vida, pero al margen de la eficacia de los elementos anatómicos. Esto es, en la tarea del bioquímico tenía que latir por fuerza, desde su origen, su explícito afán reductivo. La explicación que fuera a proponer de los procesos biológicos ni debía ni podía servirse de conceptos tomados de la anatomía o la microanatomía. Para justificarse con un empeño teórico original, resultaba indispensable que la bioquímica, subrayando sus señas de identidad reduccionistas, reprodujera las reacciones químicas que sustentan la vida, pero al margen de la célula. Siguiendo ese camino, quedaría establecido que las reacciones ubicadas en el medio celular no dependían de la estructura de éste, y que, en tal medida, al resultar analizable la célula en sus unidades moleculares, acabaría por perder su presunta irreductibilidad como entidad biológica. Puede comprenderse, por tal motivo, que la fecha de nacimiento de la bioquímica —en cuanto disciplina independiente de la fisiología general— se fije en torno a 1917, cuando Eduard Buchner, aplicando una sustancia que ha descubierto (la zimasa), logra provocar la fermentación del azúcar en un sistema sin células<sup>9</sup>. Se trataba de un paso en la dirección marcada por Loeb. No sólo porque supusiera la reconstrucción artificial de un acontecimiento que habitualmente se producía en

---

9. Sobre el tránsito de la fisiología a la bioquímica, véase Teich, M.: «Los fundamentos históricos de la bioquímica moderna», en Needham, J.: *La química de la vida*. Trad. de J. Almela, Fondo de Cultura Económica, México D.F., 1974, pp. 284-314.

la célula viva, sino porque tenía lugar en el ámbito del metabolismo y se refería al concreto hallazgo de uno de esos compuestos (catalizadores orgánicos) que hicieron posible entender la naturaleza de los procesos oxidativos, como hemos visto. Desde entonces, la bioquímica se ha convertido poco a poco, junto a la biología molecular, en el polo orientador de la ontología reduccionista en biología:

«Antes del descubrimiento de la zimasa por Buchner, la mayoría de los biólogos, fisiólogos y citólogos creyó que los complejos y rápidos procesos químicos ejecutados por las células dependían de la estructura intrincadamente organizada del citoplasma. De tal modo, se consideró a la citología y a la histología como complementos esenciales para la comprensión de los fenómenos bioquímicos. La significación del trabajo de Buchner consistió en las pruebas que aportó para contradecir esta concepción. Con el descubrimiento de lo que se pensó que era una teoría generalmente válida de las enzimas, ya no era necesario interpretar procesos complejos, como la respiración celular, en términos de la estructura celular visible. En lo sucesivo, la función celular podría discutirse en términos químicos y estudiarse con métodos químicos.»<sup>10</sup>

Sin duda, la respiración celular es un tipo de proceso biológico cuya progresiva interpretación bioquímica resultó paradigmática para el proyecto mecanicista. En el transcurso de no muchos años, fue posible detallar con bastante exactitud la serie de reacciones mediante la cuales es obtenida la energía que los seres vivos necesitan; y como quiera que los elementos morfológicos —juzgados en principio indispensables— terminaron perdiendo su función explicativa, quienes defendían posiciones reduccionistas acabaron viendo en la explicación bioquímica del metabolismo la mejor especificación de su ideal analítico. *Un repaso a la ruta seguida por los investigadores de la respiración celular* permitirá entender las expectativas de quienes empezaron a considerar la célula como una intrincada fábrica química.

## 2. EL ESTATUTO EPISTEMOLÓGICO DE LA BIOQUÍMICA

Reseñadas las anticipaciones de Loeb y el descubrimiento de Buchner, es a la figura de Otto Warburg a la que hay que dirigirse, si se pretende comprender la reorientación emprendida por la fisiología celular a partir de 1914. En su propia biografía encontramos las razones que indujeron a los fisiólogos a convertirse en bioquímicos y a sucumbir a la óptica del reduccionismo.

---

10. Allen, G., *o.c.*, pp. 332-333.

Los primeros experimentos que Warburg realizó sobre el metabolismo tuvieron que ver con la velocidad de la respiración celular. Influido por las ideas de algunos embriólogos y citólogos (Herbert, Driesch), concedió gran importancia al papel desempeñado por la estructura de la célula en los resultados obtenidos. Observó, en concreto, que si situaba a las células embrionarias de erizo de mar en una solución alcalina, la velocidad de la respiración aumentaba sin que creciese la alcalinidad del citoplasma. Ello le hizo deducir que la solución alcalina actuaba sobre la membrana y no sobre el medio intracelular, y así pareció confirmarlo el hecho de que los disolventes orgánicos de las membranas produjeran, al actuar, un descenso en la velocidad de la respiración. No fue capaz de señalar en qué consistía el papel jugado por la membrana, mas descartó cualquier referencia a la posible labor desempeñada por las enzimas.

En la teoría de la membrana resuena la tradición citológica que creyó que la fisiología general había de edificarse sobre el supuesto de la particular eficacia de los orgánulos celulares y del conjunto del sistema celular. Sin embargo, Warburg pronto modificó su punto de vista inicial. La constatación de que los procesos de la respiración —aunque más lentos— no se detenían en las células que habían perdido porciones de la membrana le indujo a pensar que tales procesos podían estar vinculados a otros factores. Admitió, entonces, que numerosas reacciones eran catalizadas por enzimas, y pasó a defender una versión sintética del fenómeno de la respiración, donde quedaron conjugadas las hipótesis químicas y las morfológicas. En una carta a Loeb, escribe: «La aceleración de las reacciones productoras de energía en las células es una acción de los fermentos y una acción de la estructura; no es que los fermentos y la estructura aceleren, sino que la estructura acelera la acción del fermento...»<sup>11</sup>.

Las palabras de Warburg datan de 1914. Por aquellos días la química de las proteínas se encontraba aún en una fase de elaboración incipiente. Era todavía discutido si constituían sustancias con una composición precisa o se trataba de meros agregados de moléculas reunidas de forma irregular. Ante situación semejante, resultaba muy difícil valorar la función que cumplían en los procesos biológicos. Hubo que esperar a los estudios de Emil Fischer —descubridor del «enlace peptídico»—, a las investigaciones de Soren Sorensen y Theodor Sredberg sobre el peso molecular de compuestos tan complejos, y al desarrollo de las técnicas de cristalización y cromatográficas, para que por vez primera lograra recomponerse, en la década de los cuarenta, la secuencia de aminoácidos

---

11. Citada por Allen en la página 342 de su obra.



de una proteína (la insulina). Linus Pauling —es preciso recordarlo— llamó la atención en esos mismos años sobre la importancia de la estructura tridimensional de estas macromoléculas— lo que permitió abrir un sendero nuevo hacia el conocimiento de su arquitectura<sup>12</sup>. Con todo, por compleja que fuera la tarea que se estaba desarrollando, cada pequeño avance rendía frutos inimaginados. Las rutas metabólicas empezaron a conocerse mejor, las enzimas dejaron de ser sustancias carentes de una composición regular, y su misión bioquímica concitó de nuevo el interés de los fisiólogos.

Un ayudante de Warburg (Otto Meyerhof) había comprobado que los ácidos tartárico y cítrico eran oxidados al entrar en contacto con la sustancia celular. Warburg dedujo que un catalizador desconocido debía activar la citada oxidación, por lo que se apresuró a investigar algunas de sus propiedades. Consiguió establecer que la acción por él desarrollada se mantenía aun cuando la temperatura aumentase, y que parecía contener hierro. Con objeto de confirmar este último punto, *reprodujo la situación experimental en la que Meyerhof había observado el fenómeno, pero añadiendo sales de hierro*. La velocidad de la respiración se acrecentó en la misma proporción que la cantidad de sales aplicada; debido a lo cual —y dada la abundancia de hierro en el huevo de erizo de mar, que era la sustancia celular utilizada—, todo invitaba a pensar que este metal actuaba como catalizador.

No obstante, Warburg quiso estudiar con más detalle la serie de datos que tenía ante sí. Ideó un modelo químico basado en el poder catalítico del carbón de hemina —producto rico en hierro, obtenido llevando la hemoglobina a la *incandescencia*—, y *encontró que se comportaba como había esperado: en el modelo quedaban repetidos los hechos más relevantes observados con anterioridad en el sistema biológico*. Uno y otro respondían de modo paralelo a las modificaciones en la concentración de monóxido de carbono y también a la luz. Los resultados parecían ya *incontestables*. Aquella enzima que contenía hierro —para cuya acción supuso necesaria en 1914 la coordinación con la estructura celular completa—, detectable en el huevo de erizo de mar y otras células, poseía una función decisiva en la respiración celular; es más: Warburg entendió que el modelo recogía lo que realmente tenía lugar en el proceso natural y concluyó, por ello mismo, que trascendía la mera simulación analógica.

---

12. Una exposición resumida de las investigaciones de Pauling se halla recogida en Pauling, L., y otros: *Física y química de la vida*. Trad. de L. H. y J. Sagarminaga, Revista de Occidente, Madrid, 1957, pp. 128-144.

Las consecuencias del éxito obtenido por el bioquímico alemán no tardaron en aparecer. Los demás bioquímicos se creyeron definitivamente liberados de la anatomía celular. A partir de 1930, quedó reconocido con unanimidad que la enzima respiratoria ejercía su papel catalítico en virtud de la específica configuración molecular que detentaba, y al margen de toda influencia de estructuras biológicas. Los fenómenos, reacciones y procesos de metabolismo empiezan a perder la dependencia de la *organización vital* que se les había supuesto. ¿De qué manera afectaban esos resultados a la citología?, ¿acaso la célula perdía su significado como entidad viva de primer orden? No exactamente. Lo que se ponía en tela de juicio eran las implicaciones ontológicas de la concepción vitalista de la célula, su irreductibilidad como sistema anatómico y fisiológico. Y, en sentido inverso, lo que se defendía era la competencia del análisis y la reducción bioquímica: «en tanto en cuanto las partes son más fundamentales que el todo, la bioquímica puede proclamar que es la más fundamental de las ciencias biológicas»<sup>13</sup>, declara un bioquímico más cercano a nosotros, dando expresión precisa a lo que también pensaron Warburg y los investigadores de su generación.

### 3. LAS IMPLICACIONES BIOLÓGICAS DE LA MECÁNICA CUANTICA

El firme impulso reduccionista que animó la consolidación de importantes ramas de la biología, desde la primera década de nuestro siglo, fue recibido con cautela por parte de los físicos. Guías avezados del microcosmos donde la biología quería ahora colocar sus cimientos, advirtieron que era prudente, sin perder de vista el objetivo final de la explicación físico-química de la vida, no entregarse a un optimismo pueril y basado en la simplificación. «La estabilidad de los genes impresionó de manera especial a quienes [...] encontraban algo paradójico que [...], siendo de dimensiones moleculares, estuviesen estabilizados frente a las fluctuaciones estadístico-mecánicas que eran de esperar...»<sup>14</sup>. La naturaleza química del gen permaneció desconocida hasta 1953, y el único apoyo teórico con que contaba previamente la biología molecular se reducía a la

---

13. Jevons, F. R.: *El secreto bioquímico de la vida*. Trad. de J. Massot, Labor, Barcelona, 1968, p. 13.

14. El párrafo está tomado de la introducción general que, como editores, Robert Haynes y Philip C. Hanawalt hacen a una recopilación de artículos titulada *The Molecular Basis of Life* (W. H. Freeman and Co., San Francisco-Londres, 1968).

hipótesis de «un gen-una enzima». Un amplísimo grupo de investigadores emprendió la tarea de localizar las claves químicas de la información genética. Dentro de él, aquellos que se habían formado intelectualmente en el interior de la física teórica cumplieron una función destacada por dos motivos. Primero, porque anunciaron que la actividad biológica del gen ostentaba rasgos en extremo peculiares, si se la contemplaba desde los principios de la nueva física; por consiguiente, la traducción de los procesos de la herencia a nivel de la acción molecular, juzgaron que implicaría el descubrimiento de asociaciones o estructuras atómicas, constitutivas del gen, que no existían en ningún otro ámbito de la naturaleza. En segundo término, porque, a pesar de tales dificultades, no dudaron que la solución de los enigmas más importantes de la genética molecular habría de ser con seguridad una solución «cuántica».

El grado de interés que la biología molecular despertó en hombres como Niels Bohr o Max Delbrück llegó a ser tan alto, que los principios de Complementariedad y de Indeterminación fueron transportados por ellos al estudio y conceptualización de la vida, seguros de que servirían para dar cuenta de algunos problemas allí suscitados. Bohr pensó que la imposibilidad de mantener con vida a un animal —mientras el estudio de sus órganos se llevaba a la descripción de los átomos individuales— configuraba una situación análoga a la recogida en el Principio de Indeterminación. Por su parte, Delbrück creyó que el Principio de Complementariedad —que Bohr había referido a problemas como la naturaleza de la luz o de las partículas elementales— tenía cabida en el campo biológico, asimismo. Sugirió que ni las características biológicas ni las características moleculares de una célula son suficientes para entender lo que constituye la esencia de lo vital, y que las complementarias perspectivas que brindaban los dos enfoques eran necesarias<sup>15</sup>. Sin embargo, el físico llamado a tener mayor influencia sobre las investigaciones emprendidas por la genética molecular de los años cincuenta, y quien mejor supo establecer el puente entre física y biología, proporcionando a ésta valiosas aclaraciones, fue Erwin Schrödinger. Las ideas de Bohr y Delbrück no pasaban de analogías ingeniosas que no consiguieron captar la atención de los biólogos<sup>16</sup>, frente a las precisas puntualizaciones y

---

15. Las opiniones de Bohr y Delbrück se encuentran expuestas en Balckburn, R. T. (ed.): *Interrelations: The Biological and Physical Sciences*, Scott, Foresman & Co., Chicago, 1966.

16. David Hull ha minimizado así la significación que las ideas de Bohr y Delbrück poseen en biología: «Biologists carry on their investigations both *in vitro* and *in vivo*. Even when they are experimenting on a living specimen, they can investigate its organization quite extensively without killing it. Of course, they cannot discover all they wish to know using a single specimen; instead they make use of hundreds of laboratory specimens readily available. The applicability of the principle of complementarity to biological phenomena is even more tenuous. It is not formally a part

sugerencias teóricas contenidas en una obra de Schrödinger que tuvo enorme resonancia: *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*<sup>17</sup>. Con gran perspicacia, son allí presentados y desglosados los principales interrogantes que la biología molecular tenía que plantearse, si para su fundamentación quería recibir el concurso de la mecánica cuántica. Y si es cierto que una pregunta bien formulada vale más de la mitad de una respuesta, el libro de Schrödinger merecía la acogida que se le dispensó. En él sobresalían, desde sus primeras páginas, dos asunciones expresadas de manera inequívoca: a) la física y la química no habían podido averiguar aún los mecanismos físico-químicos que codificaban y regulaban la transmisión de la información genética; b) no existía ningún motivo de fondo que impidiera que la física y la química diesen con aquellos mecanismos en el futuro:

«La obvia incapacidad de la física y la química del presente para dar cuenta de tales hechos, no es razón, en absoluto, para dudar que puedan ser explicados por esas ciencias.»<sup>18</sup>

Schrödinger pensaba que los hechos hallados por la biología, en relación con la estructura material de los organismos, resultaban desconcertantes para el físico. La colocación y las interacciones de los átomos en aquellas partes *más vitales* de una célula —los cromosomas— en nada se parecían a las interacciones atómicas a las que se venían enfrentando la física y la química de forma habitual. Estas últimas poseían siempre un carácter estadístico. Sólo en virtud de la intervención de un número elevadísimo de átomos eran posibles las regularidades fenoménicas observadas: «toda otra clase de legalidad u ordenación que uno pudiera imaginar quedaría perturbada y hecha inoperante de modo perpetuo por el incesante movimiento térmico de los átomos»<sup>19</sup>. Esto hacía que a cualquier generalización en la que se supusiera que intervenían un número  $n$  de moléculas pudiera asignársele un probable error relativo de  $1/\sqrt{n}$ , y que tal error disminuyera, por consiguiente, a medida que el número de moléculas intervinientes en el proceso fuese mayor. Ahora bien, los datos disponibles hacia 1943<sup>20</sup> concedían

---

of quantum physics, it is seriously questioned by many physicists, and it refers to two different interpretations of light at the same level of analysis. In the biological analogy, the issue concerns the relation between knowledge of living organisms obtained at the cellular level or higher and knowledge obtained by biochemical investigations. In a sense, such knowledge can be said to be “complementary”, but not in the sense used in quantum physics» (*Philosophy of Biological Science*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1974, p. 137).

17. Fue publicada el año 1944. La edición de que me he servido y a la que se refieren las próximas citas es de la Cambridge University Press (5.ª reimpresión de la 1.ª edición, 1980).

18. *O.c.*, p. 4.

19. *O.c.*, p. 11.

20. Fecha de las conferencias que dieron lugar al libro.

al gen un tamaño aproximado de un cubo de  $30 \text{ \AA}$  —equivalente a diez distancias atómicas en cuerpos sólidos o líquidos—, lo cual permitía inferir que en él no podía haber más de unos pocos miles de átomos. La conclusión resultaba inevitable: «ese número es demasiado pequeño (tomando como criterio la raíz cuadrada de  $n$ ) para imaginar un comportamiento regular y ordenado de acuerdo con la física estadística —y esto significa de acuerdo con toda la física»<sup>21</sup>. Sin embargo, los caracteres hereditarios, de los que los genes habían de entenderse como su estructura material, se transmitían con sorprendente permanencia y estabilidad: ¿cómo podía justificarse una conservación tan admirable?, ¿en qué soporte material podría estar asentada?

Schrödinger propuso lo que reconoció que era un punto de vista generalizado: el gen tenía que ser una molécula cuya estructura acabaría haciendo inteligible el cometido singularísimo que cumplía. Pero, ¿cómo podía conciliarse la naturaleza molecular del gen con la inestabilidad propia de una molécula individual?, y ¿cómo coordinar con esta idea los conocimientos, ya abundantes, que la genética había suministrado? Es aquí donde el asombro inicial dejó paso a una interesante consideración de los datos genéticos a la luz de la teoría cuántica. Max Delbrück había hecho apreciaciones en idéntico sentido, y Schrödinger las aprovechó:

«Supongamos que la estructura de un gen sea la de una molécula muy grande, capaz únicamente de cambios discontinuos que consisten en una reorganización de los átomos y llevan a una molécula isomérica. El reagrupamiento puede afectar sólo a una pequeña región del gen, así que un gran número de reorganizaciones son posibles. Los umbrales de energía que separan la configuración actual de cualquier otra configuración isomérica posible tienen que ser suficientemente altos (comparados con la energía térmica media de un átomo) como para hacer de los cambios raros acontecimientos. Identificaremos estos acontecimientos con las mutaciones espontáneas.»<sup>22</sup>

Una molécula, si se la contempla desde la óptica de la física cuántica, es una de entre los discretos estados posibles que pueden corresponder a cierta selección de átomos. Los núcleos atómicos mantienen en dicho estado un estrecho acercamiento que hace poseer a la molécula una estabilidad considerable. La configuración atómica que en ella se da no cambia, a menos que se le suministre el mínimo necesario de energía para alcanzar el nivel energético inmediatamente superior. Tal discontinuidad cuántica era —creyó Schrödinger— una valiosa garantía para la preservación del material hereditario. Mas la aplicación de los

---

21. *O.c.*, p. 32.

22. *O.c.*, p. 60. El párrafo pertenece al capítulo que Schrödinger titula «Delbrück's Model Discussed and Tested».

conceptos de la teoría de Planck a la genética garantizaba, asimismo, un correlato a la mutación: el salto cuántico con reagrupamiento de los átomos en una molécula isomérica tan estable como la original.

Las fuerzas que unen los átomos en las moléculas son de igual carácter a las que existen entre los átomos de un cristal. En realidad —argumentaba Schrödinger—, una molécula podría ser interpretada como el germen de un cristal. Aquellas fuerzas, por tanto, poseen la capacidad de preservar la sustancia hereditaria, dotándola de la estabilidad suficiente para resistir lo que arriba llamaba el comportamiento azaroso de una molécula individual. Bastaba suponer que el gen o la fibra cromosómica eran, respectivamente, una molécula y un cristal. Ambos resultarían mantenidos en su estado «por fuerzas de London Heitler, suficientemente fuertes para resistir la tendencia hacia el desorden que produce el movimiento térmico a la temperatura ordinaria»<sup>23</sup>.

La moderna física ofrecía a la físico-química celular una serie de hipótesis que el biólogo reduccionista recibió como atractivas conjeturas. Es curioso —comentaba Schrödinger en sus conferencias— que esta confluencia entre la física y la biología se produzca a través de dos teorías —la teoría cuántica de Planck y la genética de De Vries, Correns y Tschermak— que datan aproximadamente de la misma fecha: 1900. Es notable —añadía— que los principios generales de la teoría cuántica del enlace químico, desarrollados por Heitler y London, pudieran tener un significado biológico tan crucial como el cuidado de la información genética y la explicación en términos moleculares de las mutaciones. Casi cabría decir que la nueva física incluía consecuencias tan decisivas para la genética, que marcaba una dirección obligada, estipulaba unas estrechas condiciones a las que el sustrato material que transportase la información hereditaria debía atenerse, si iba a cumplir su función. Schrödinger dibujaba con estos rasgos el retrato robot de la estructura molecular que la investigación genética habría de buscar:

«... un agregado [...] sin el pobre mecanismo de la repetición. Ese es el caso de las moléculas orgánicas, siempre más y más complicadas en las que cada átomo y cada grupo de átomos juega un papel individual, no enteramente equivalente al de los demás (como es el caso de una estructura periódica). Podríamos llamarlo, con bastante propiedad, un cristal o sólido aperiódico, y expresar nuestra hipótesis diciendo: creemos que un gen —o quizá la totalidad de la fibra cromosómica— es un sólido aperiódico.»<sup>24</sup>

23. *O.c.*, p. 91.

24. *O.c.*, p. 65. Por aquellos días la opinión más extendida —y que Schrödinger compartió— era que las proteínas constituían el sustrato material del gen. Conviene hacer notar, sin embargo, que ello en nada empaña la línea general de su argumentación.

¿Cuál fue, en resumen, la aportación del físico vienés al problema de la reducción y por qué tuvo un eco tan grande el ciclo de conferencias y su posterior publicación? El éxito de las conferencias y la atención que se prestó al volumen que las reunía obedecieron a la sutileza y el rigor con que Schrödinger emplazó dicho problema sobre el telón de fondo de la física más reciente. Por primera vez se despejaba una duda de gran relieve: la relativa a la compatibilidad teórica de los últimos progresos que se habían producido en genética y en física cuántica. Tras un delicado análisis —tras haber anunciado dificultades para la construcción de una fisiología celular cimentada en la arquitectura de las moléculas orgánicas— quienes estaban en disposición de enjuiciar con criterios más sólidos la posibilidad de una reducción semejante afirmaban, por fin, que se daban suficientes indicios como para considerarla posible. Schrödinger imaginó que una caracterización tan general del material genético como la que él ofrecía no ayudaba mucho al biólogo. Fue consciente de que su labor había consistido en mostrar que una teoría molecular del gen no sólo era concebible, sino necesaria; sabía, no obstante, que el aspecto esencial de la investigación —de qué molécula se trataba y cómo estaba codificada en ella la información genética— permanecía sin resolver. Sin embargo, no fue justo consigo mismo al valorar el alcance de sus «vagas sugerencias», porque James D. Watson y Francis Crick reconocerían que la lectura de *¿Qué es la vida?* los polarizó hacia el descubrimiento del secreto del gen.

José Luis GONZÁLEZ RECIO  
(Universidad Complutense)