

# ¿El final de las ciencias de la vida?



HUGO ARÉCHIGA

La pasada década estuvo marcada por grandes acontecimientos. Se inició con el fin de la guerra fría y el comienzo de una globalidad unicéntrica. El tránsito entre milenios avivó la natural tendencia a hacer balances de logros y fracasos, a distinguir entre lo efímero y lo permanente y a intentar predicciones que a menudo reflejaron más los temores o las esperanzas que el análisis y la previsión. Lo mismo se ofreció a la atención pública el inminente fin del mundo que el de la historia, la filosofía, las ciencias y las artes. En el caso de la ciencia, las opiniones conformaron una amplia gama que va desde la identificación de señales inconfundibles de un inevitable colapso por agotamiento de su agenda hasta el pronóstico de su presencia sempiterna y aun creciente en la sociedad, que recién se beneficia de algunos de sus frutos más importantes y está destinada a esperar muchos más.

Desde luego, el tema ya ha surgido en otras coyunturas interseculares, e incluso sin el estímulo de fin de épocas. Así, se atribuye a un director de la Oficina de Patentes de Estados Unidos, a mediados del siglo XIX, la propuesta de cerrarla por considerar que ya todo lo inventable se había creado y, aunque la anécdota puede no ser verídica, sí ha habido científicos que han declarado el agotamiento inminente de sus disciplinas, como Albert Michelson, quien en 1894 afirmó que los grandes principios de la física se encontraban ya establecidos y se adhirió a la opinión de que en el futuro esa ciencia sólo alcanzaría un gradual refinamiento de medidas de fenómenos conocidos, hasta llegar a la sexta decimal. Seis años después, Max Planck sentaba las bases de la mecánica cuántica y, un lustro más tarde, Albert Einstein, inspirado precisamente en un experimento de Michelson, creaba la teoría de la relatividad. Con ambos avances, surgió

una nueva manera de concebir el mundo, y la física del siglo XX fue la más dinámica de la historia.

En el otro extremo está la antigua imagen de Isaac Newton, quien comparaba sus fundamentales contribuciones a la física con los juguetes de un niño que se divierte con la arena en la playa, situado frente al inmenso océano de la indagación científica. Entre los poetas, inquietudes similares llevaron a Gustavo Adolfo Bécquer a fijar su postura en popular rima:

Nunca digáis que de asuntos falta enmundeció la lira,  
Podrá no haber poetas, pero siempre habrá poesía.

La predicción del inminente fin de las ciencias fue tema de libros y artículos de amplia circulación durante la década pasada,<sup>1</sup> y no es conveniente desechar sin análisis sus planteamientos. Por ejemplo, en el caso de la biología, se ha llegado a afirmar que, ya identificada la estructura de la molécula de ácido desoxirribonucleico, no quedan preguntas de interés en este campo de estudio. A continuación, trataré de señalar dónde nos encontramos en la búsqueda de respuestas a las preguntas fundamentales de las ciencias de la vida.

## ¿Agotamiento de temas?

En general, los biólogos aceptan que en la historia de la vida en nuestro planeta ha habido dos acontecimientos

<sup>1</sup> G. S. Stent, *The Coming of the Golden Age. A View of the End of Progress*, Garden City, Nature History Press, 1989, y J. Horgan, *The End of Science*, Nueva York, Broadway Books, 1997.

fundamentales. Uno, la eclosión, a partir de materia inerte, de la primera estructura capaz de reproducirse; es decir, el primer ser vivo. Así, el saber qué es la vida ha sido interrogante primordial de la ciencia desde la antigüedad, pero no fue sino en el siglo XX cuando se logró formular una explicación aceptable de su naturaleza física. Hace poco más de medio siglo, un distinguido físico, Erwin Schrödinger, cautivó la imaginación de muchos científicos y estudiantes con un libro que tituló justamente *¿Qué es la vida?*,<sup>2</sup> donde proponía que un sustrato macromolecular transmite la información genética. Menos de una década después, se logró descifrar la conformación de la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN), precisamente sustrato de la información genética y organizador de la biosíntesis de proteínas; ello dio origen a la biología molecular. Recientemente, uno de los fundadores de esta disciplina, James Watson, declaró haber considerado de modo serio la posibilidad de dar a su libro sobre ese tema<sup>3</sup> el título de "Esto es la vida", en respuesta a la pregunta de Schrödinger. Luego revisaremos el estado actual de nuestro conocimiento sobre lo que es la vida y los posibles límites del mismo.

El segundo evento culminante de la evolución biológica es el surgimiento de la actividad consciente, facultad generadora del conocimiento indispensable para crear cultura y ciencia. Hace apenas dos décadas, hubiera sido una aspiración hueca la de desentrañar los procesos biológicos subyacentes en esta compleja función. Hoy, como veremos luego, es tema de análisis formales.<sup>4</sup>

No resulta entonces fortuito que estas dos cuestiones hayan sido centrales en los dos grandes proyectos científicos con que culminó la investigación biológica del siglo XX, y que en ambos temas el horizonte en el nuevo siglo se abra optimista. La exploración de la naturaleza física de la vida fue el motivo del Proyecto del Genoma Humano,<sup>5</sup> y el estudio del sustrato biológico de la mente fue tema fundamental de la "Década del Cerebro",<sup>6</sup> como se designó en algunos países a la última del siglo.

Así pues, podemos comenzar el nuevo milenio tratando de atisbar los desarrollos por venir en estos dos objetos de estudio, y de paso revisar algunos de los argumentos que se han ofrecido para anticipar su cercano agotamiento.

En cuanto a la indagación sobre la naturaleza física de la vida, aclaremos que la información dada a conocer en enero de 2001 aún no incluye la secuencia completa (se ha caracterizado ya más de 90%) de los 3 000 000 000 de bases constitutivas de la molécula de ADN, pero incluso cuando se llegue a identificar la secuencia total habrá que descifrar la información que contiene. Para utilizar un símil corriente, gracias al Proyecto del Genoma Humano, tendremos pronto información equivalente a la de saber en qué orden están las letras de un libro, pero aún habrá que identificar cuáles son las palabras que conforman, y ello, además, sin conocer la gramática que rigió su combinación. Sabemos que en esa molécula están cifradas las instrucciones para constituir todas las proteínas del organismo, pero todavía está por determinarse cuáles son las que rigen la biosíntesis de cada una de ellas, contenidas en cada uno de los genes. A la fecha, se han identificado pocos centenares de genes, entre los aproximadamente 30 000 que según cálculos constituyen el genoma humano. Así pues, una etapa del estudio, que se halla apenas en sus comienzos, es la identificación de cada uno de los genes constitutivos de cada una de las casi dos millones de especies biológicas conocidas, más las que aún faltan por conocer y que pueden ser la gran mayoría. Gracias al rápido ritmo de avance en este campo, podemos suponer que en pocas décadas se llegará a la meta y que en el presente siglo tendremos el catálogo completo de los genes de todas las especies del planeta.

Pero una cosa es identificar los genes y otra es el saber cómo y cuándo se expresa cada uno, tanto en la constitución de un ser vivo como en la ejecución de la inmensa variedad de las funciones biológicas. Por ejemplo, sabemos ya que nuestro genoma es en dos terceras partes idéntico al de la mosca, pero no sabemos cuáles son los genes que tenemos en común con ella, cuáles son las proteínas que dirigen ni cuáles las funciones que cumplen. Para usar otro símil, lo que tendremos al final de la etapa en curso es la secuencia de notas de una partitura musical, pero aún desconoceremos los tiempos en que se expresan. La limitación es muy severa y, para hacer comparaciones con otros desarrollos en las ciencias de la vida, hemos de recordar que, si bien la estructura anatómica del cuerpo quedó establecida desde 1543, con la publicación del *De Humani Corporis Fabrica*, de Andrea Vesalio, hubo de transcurrir cerca de un siglo

<sup>2</sup> E. Schrödinger, *What is Life?*, Cambridge University Press, 1944.

<sup>3</sup> J. D. Watson, *Molecular Biology of the Gene*, Menlo Park, W.A. Benjamin, 1976.

<sup>4</sup> R. De la Fuente, y F.J. Álvarez-Leefmans (eds.), *Biología de la mente*, México, FCE, 1998.

<sup>5</sup> F. A. Collins et al., "New Goals for the US Human Genome Project: 1998-2003", en *Science*, núm. 282, 1998, pp. 682-689.

<sup>6</sup> E. R. Kandel, y L. R. Squire, "Neuroscience: Breaking Down Scientific Barriers to the Study of Brain and Mind", en *Science*, núm. 290, 2000, pp. 1113-1120.

antes de que se conociera la función fundamental del corazón y de los vasos sanguíneos, y, más de cuatrocientos años después, aún desconocemos buena parte del papel desempeñado por cada uno de los órganos de la economía corporal.

Cierto que ahora avanzamos más rápido, pero el ritmo es imprevisible. Por ejemplo, una pregunta fundamental es la de ¿cómo se forma un ser vivo? Para contestarla cabalmente, habrá que identificar todos los genes que lo constituyen y determinar en qué momentos del desarrollo de un individuo se expresa cada uno. Huelga decir que no conocemos la distribución completa de los tiempos en que actúa y deja de actuar alguno de nuestros genes. Pero, si se emplea como símil una orquesta, habrá que identificar la *particella* de cada instrumento, es decir de cada uno de los 30 000 genes cuyos sonidos y silencios combinados nos dan la melodía de la vida. Aquí surgen serias dudas, como veremos luego, ya no sólo sobre cuándo estará completa la tarea, sino si podrá completarse.

Pero además, aun cuando se lograra tener la partitura completa, la explicación científica no se detiene ante su descripción. La ciencia aspira a conocer los mecanismos. ¿Qué es lo que determina que unos genes se expresen en un momento y no en otro? Todo ello está aún por investigarse.

En cuanto a la segunda pregunta central respecto a nuestro conocimiento de la vida, la relativa a la naturaleza biológica de la mente, recordemos que ya desde hace veintitrés siglos se sabe que el órgano productor de la actividad mental es el cerebro;<sup>7</sup> que, hace un siglo, Santiago Ramón y Cajal<sup>8</sup> postuló que todas las operaciones de ese órgano son resultado de la integración de la actividad de sus unidades, las neuronas, cuyo número se estima en cien mil millones, y que se calcula, además, que cada una está conectada con otras diez mil para un total estimado en 10 625 interacciones. La tarea de identificar cada neurona, establecer su estructura y sus funciones, así como sus conexiones con otras y las reglas de su interacción, ocupó a millares de científicos durante el siglo XX y ocupará a muchos más durante el XXI.

A principios de la centuria pasada, un distinguido neurofisiólogo, Charles Sherrington, comparaba al cerebro, durante la ejecución de un acto mental, con un "telar en

el que millares de lanzaderas tejen continuamente un diseño siempre significativo y siempre cambiante".<sup>9</sup>

De hecho, nuestros más poderosos sistemas de registro y análisis de la actividad simultánea de conjuntos neuronales apenas rebasa el centenar. Estamos, pues, muchos órdenes de magnitud por debajo de lo que se requerirá para interpretar el cerebro en su espléndida actividad integral.

Aún falta recorrer un largo tramo en este camino, y cuando se conozca la estructura del órgano, cuando se haya completado el estudio de cada una de sus unidades, habrá que esclarecer los mecanismos de su funcionamiento concertado. ¿Qué neuronas participan, y en qué momentos, en la práctica de cada operación mental?

De todas estas consideraciones, la imagen que puede derivarse es más bien la de que estamos al comienzo del camino, más cercanos a la visión de Newton que a la del responsable de la Oficina de Patentes, y que aún quedan incógnitas fundamentales que despejar para entender qué es la vida, y qué es la mente, entre muchos otros temas fundamentales de la biología.

Entonces, ¿qué argumentos sustentan la opinión de quienes afirman que estamos llegando al límite de la búsqueda, y que no lograremos llegar a la meta?

### ¿Agotamiento de las grandes preguntas?

El pesimismo sobre el futuro de la biología, y de la ciencia misma, depende del nivel de análisis que se emplee para explorarla. Se afirma, así, que la biología no planteará nuevos retos porque ya están definidas tanto las metas como las etapas del camino. De acuerdo con esta visión panorámica, la teoría de la evolución y la teoría molecular pueden explicar todos los fenómenos de la vida y ambas tienen ya poco que ofrecer. La primera quedó reducida a un caso particular de la biología molecular y la segunda, a un capítulo de la mecánica cuántica. Este enfoque es propio de quienes consideran agotado un dominio de la ciencia cuando ya surgió un modelo que lo explica en términos generales —en la terminología de Thomas Kuhn, un nuevo paradigma—. Pero justamente los avances de la ciencia sobrevienen cuando, al aplicar los principios generales a la explicación de los fenómenos particulares, se hacen patentes las insuficiencias del paradigma. Esto ha sucedido

<sup>7</sup> H. Aréchiga y F. García Valdecasas (eds.), *Hacia las raíces de la actividad mental*, México, Porrúa, 2000.

<sup>8</sup> S. Ramón y Cajal, *Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*, Madrid, Nicolás Moya, 1899.

<sup>9</sup> Ch. S. Sherrington, *The Integrative Action of the Nervous System*, Cambridge, Cambridge University Press, 1947.



una y otra vez en biología y no hay ninguna razón para aceptar que ya no volverá a suceder. Por otra parte, la biología, a diferencia de las ciencias físicas, entraña fenómenos dependientes de múltiples variables, difícilmente integrables en esquemas explicativos de índole general. Así, ninguna de nuestras actuales teorías sobre el funcionamiento de los sistemas vivos nos explica cómo surgió la vida en la tierra o qué son el envejecimiento y la muerte, propiedades de los seres vivos. La evolución no procede en forma previsible y, por ahora, no hay manera de anticipar cuáles serán las especies que poblarán nuestro planeta en unos cuantos milenios. De ese modo, pues, estamos muy lejos de suponer que, en biología, la problemática remanente consiste en determinar la sexta decimal. Como hemos revisado, aún quedan por resolver problemas fundamentales, y más bien el panorama es de optimismo ante la perspectiva de nuevas oportunidades para la exploración largamente diferida, por falta de instrumentos y conceptos, de fenómenos tan fascinantes como la vida, la mente, la salud, la enfermedad y la muerte.

### ¿Limitaciones del intelecto?

Otros augures del colapso de la biología basan tal vaticinio en las limitaciones ya mencionadas de nuestro propio intelecto, y dan por seguro que éste resultará insuficiente para la gran tarea. Ya el propio Einstein se maravillaba de que pudiéramos saber todo lo que sabemos sobre la naturaleza del Universo. Para quien analice los arcanos de la creación intelectual, resulta improbable y, desde luego, hasta inexplicable, la generación de actos creativos. Son impredecibles, surgen del fondo de nuestras operaciones mentales instintivas, irracionales. Así pues, no hay ninguna forma de establecer los límites de un sistema que no conocemos.

Precisamente, la complejidad de los fenómenos biológicos es tal que no permite anticipar el éxito en la tarea de comprenderlos. El descifrar la estructura y el funcionamiento de todos los genes, así como sus interacciones, es imposible con nuestros actuales instrumentos. Ciertamente que con apoyo de las ciencias de cómputo han surgido ya la bioinformática y la proteómica, que aspiran a predecir todas las proteínas en que se expresan los genes, a partir de la estructura de éstos, pero aún estamos en la infancia de nuestro conocimiento de los sistemas complejos y carecemos de instrumentos matemáticos apropiados para abordarlos. Así como la ampliación del modelo newtoniano

que llevó a la teoría de la relatividad requirió una geometría no euclidiana, es posible que el conocimiento de las interacciones moleculares propias de cualquier función biológica haga necesarios conceptos matemáticos aún desconocidos. Desde luego, calcular la filogenia de un millón de especies, entre las conocidas actualmente, requeriría computar 105 866 723 soluciones, cifra muy por encima de la actual capacidad total de análisis computacional.<sup>10</sup> Los progresos en biología han sido a menudo consecutivos a los avances en otros campos del conocimiento, y bien puede suceder ahora que de las matemáticas y las ciencias de la computación surjan los conceptos que impulsen la nueva etapa del conocimiento, aunque no hay ninguna certeza de que ello ocurra y existen opiniones poco favorables sobre el porvenir de este campo de estudio.<sup>11</sup>

En cuanto a nuestra comprensión del sustrato biológico de la mente, por ahora carecemos de instrumentos y conceptos para identificar esta partitura en la que cada una, entre millones de neuronas, está expresando su parte en la sinfonía. Además, recordemos que cada neurona es, a su vez, una célula compuesta por millones de macromoléculas; su mensaje, en cualquier momento, es el resultado de las interacciones moleculares que subyacen en cualquier operación del cerebro, y ni con los sistemas más poderosos de cómputo se ha logrado modelar de manera integral el funcionamiento de una neurona a partir de lo que ya sabemos sobre el sustrato molecular de su actividad. Y algo similar ocurre con nuestro saber relativo a la integración en redes neuronales. Por ahora, el mayor éxito del conocimiento sobre los mecanismos que la rigen se ha logrado en una red de treinta neuronas del ganglio estomacogástrico de la langosta de mar, que aún continúa revelando secretos.<sup>12</sup>

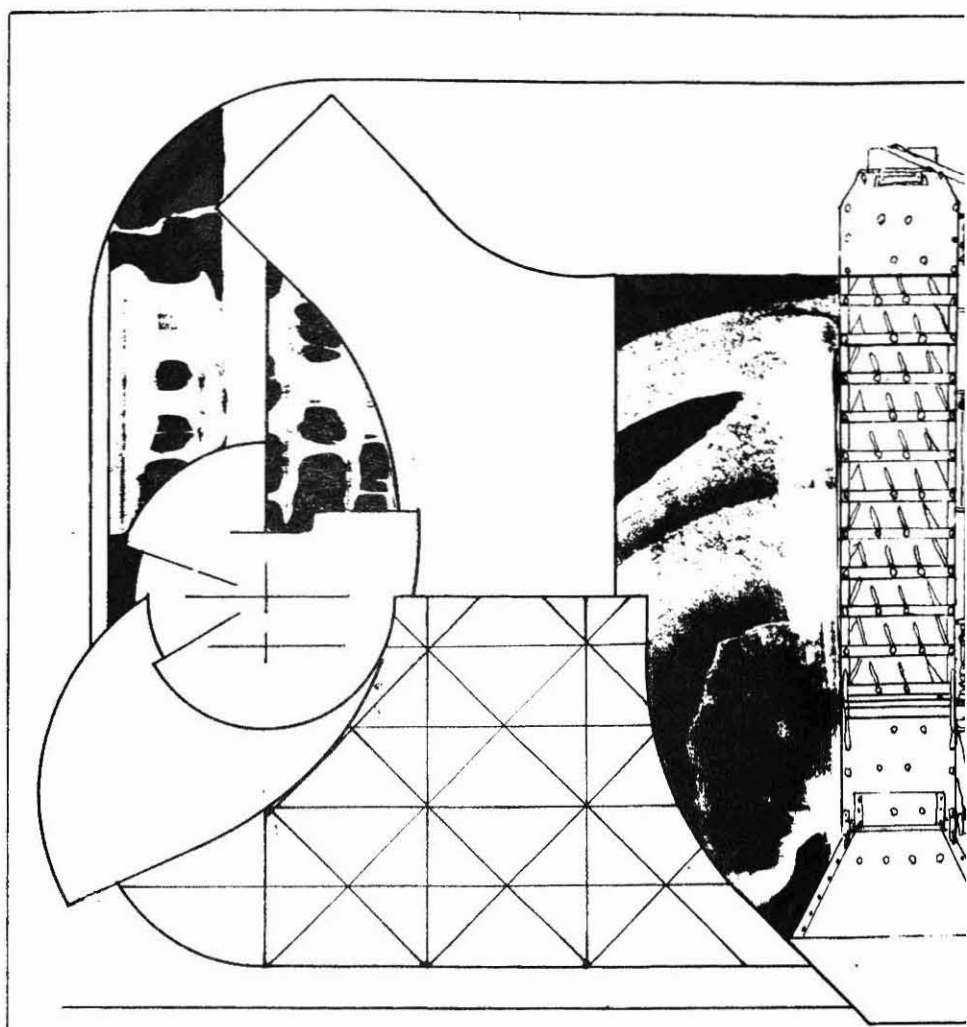
Así pues, descifrar los mensajes de las complejas interacciones neuronales subyacentes en la creación de una sinfonía, un poema o una teoría científica podrá requerir mucho más que un siglo de investigación, y ni siquiera es previsible que esta meta pueda alcanzarse. Como ya se explicó, aún desconocemos los límites del conocimiento humano. Hace casi un siglo, la física llegó a un límite natural, con el principio de incertidumbre, según el cual es imposible

<sup>10</sup> D. M. Mills y M. T. Holder, "Reconstructing the Tree of Life", en *New Technologies for Life Sciences: A Trends Guide*, núm. especial, diciembre de 2000.

<sup>11</sup> D. Harrel, *Computers, LTD*, Oxford University Press, 2000.

<sup>12</sup> R. M. Harris-Warrick et al. (eds.), *Dynamic Biological Networks. The Stomatogastric Nervous System*, MIT Press, 1996.

determinar simultáneamente la posición y el momento de un electrón, ya que para medir una hay que modificar el otro; luego surgió la imposibilidad demostrada por Kurt Gödel, de llegar a tener una descripción matemática completa de la realidad. No es posible anticipar si surgirá en el campo de la biología algún límite similar en cuanto al número de interacciones que puedan estudiarse simultáneamente entre los genes y sus proteínas o entre las neuronas; desde luego, el cerebro es el instrumento más complejo del universo y conocerlo íntegramente, en su magnífica funcionalidad, bien puede ser un reto inalcanzable. No es trivial preguntarse si el cerebro humano estará dotado de la capacidad de comprender la lógica con que realiza sus propias funciones. Sin embargo, tampoco podemos afirmar que la tarea resulte inaccesible. Hasta ahora, el intelecto humano no ha dejado de penetrar con profundidad creciente en los misterios de la naturaleza.



### *Fin del apoyo a la ciencia?*

Otra fuente de dudas sobre el futuro de la ciencia proviene de los efectos ya reconocidos del incremento de la razón costo-beneficio en la búsqueda de algunas respuestas. La cancelación en Estados Unidos del proyecto de construcción del superacelerador de partículas se debió a que, si bien hubiera podido abrir nuevos horizontes a la física de alta energía, a juicio del gobierno de ese país los beneficios científicos que podría haber generado no compensaban los ocho mil millones de dólares que costaba. Y algo similar ha sucedido con la búsqueda de inteligencia extraterrestre y con la propia exploración del espacio exterior, que han sufrido retrasos y aun cancelaciones de proyectos por razones económicas. Sin embargo, este argumento no invalida la riqueza intelectual de los campos cuyo desarrollo se ha frenado por falta de recursos o de voluntad política, y la historia de la ciencia abunda

en ejemplos de contribuciones que hubieron de esperar turno para ser aceptables en lo político o en lo económico.

Por ahora, la biología no parece enfrentar esos problemas. Las expectativas abiertas a sus aplicaciones tecnológicas en la medicina, la agricultura y otras áreas de gran interés económico se expresan en generosos presupuestos. Recordemos solamente que el asignado a los institutos nacionales de salud de Estados Unidos el año pasado fue de más de 16 mil millones de dólares, muy superior al de cualquier otra agencia promotora de la investigación científica, casi cuatro veces superior al de la Fundación Nacional para la Ciencia, que subsidia todos los campos de la investigación,<sup>13</sup> y más del doble del que se le negó al desarrollo de la física de alta energía. Por otra parte, el costo de la investigación biológica está más cerca del propio de la "pequeña ciencia" que del de la "gran ciencia", según la co-

<sup>13</sup> N. Gingrich, "An Opportunities-Based Science Budget", en *Science*, núm. 290, 2000, p. 1303.

nocida caracterización de De Sollla Price.<sup>14</sup> Además, la posibilidad de modificar la vida, de crear nuevas especies biológicas con gran valor comercial, de curar enfermedades y de mejorar la naturaleza humana ejercen un atractivo tan poderoso que no faltarán los empresarios o los mecenas que subsidien las exploraciones en ese campo de estudio.

Otro peligro que se advierte para el desarrollo de la ciencia es el que se deriva del deterioro de la imagen de ésta en la sociedad. Difícilmente un miembro del Museo de Alejandría, un siglo antes de la era cristiana, pudo haber anticipado la destrucción del mismo, y la desaparición, durante más de un milenio, de cualquier avance de consideración en el conocimiento de la naturaleza. Pese a la expansión continua de la ciencia durante los últimos tres siglos, algunos investigadores universitarios han llegado a considerar los brotes recurrentes de activismo político irracional entre grupos de estudiantes como el principio del fin de la vida científica universitaria. Así, John Eccles, distinguido neurobiólogo, ante las turbulencias universitarias registradas a finales de la década de los sesentas, predijo el fin de la universidad como centro productor de conocimiento.<sup>15</sup>

Históricamente, la ciencia se ha abierto paso entre las limitaciones impuestas por sociedades poco informadas y aun menos sensibles a las necesidades propias de la creación científica. Desde luego, cada vez que hay conflictos sociales y carencias económicas, la ciencia desciende en la escala de prioridades, hasta llegar al famoso *dictum* del Directorio de la Revolución francesa, que se negó a condonar la pena de muerte a Antoine Lavoisier con el argumento de que "la Revolución no necesita sabios". Ninguna sociedad está asegurada contra estos brotes antiintelectuales y anticientíficos, pero hasta ahora han sido aislados y transitorios, y la ciencia ha seguido avanzando, aunque entre obstáculos, de manera continua, hasta en sociedades con grandes carencias y limitaciones, y, desde luego, en el mundo tampoco se avizoran motivos que justifiquen pronósticos como el de Oswald Spengler, a principios del siglo xx, según el cual se verificaría el colapso de la civilización occidental.<sup>16</sup> Es innegable que la ciencia está lejos de marcar el rumbo de la vida social, y aun llegan a identificarse signos de retroceso;<sup>17</sup> en

particular, algunos científicos se preocupan de que la biología no pueda responder a las grandes expectativas que genera en la sociedad, pero los beneficios ya tangibles de la investigación en este campo, el ritmo al que se están produciendo y la ya existente conciencia social de su riqueza potencial sugieren que en el futuro cercano seguirá gozando de buena aceptación y recibirá la confianza y el apoyo de la sociedad.<sup>18</sup>

### El amplio horizonte

En suma, ni la agenda propia de la biología ni las circunstancias intelectuales o sociales externas a ella justifican la noción de que está en crisis o en etapa de agotamiento terminal, y más bien la noción prevalente es la de que, en el nuevo siglo, será un poderoso motor del desarrollo científico y social, así como la física se erigió en el paradigma fundamental durante el xx.

Si la biotecnología, las neurociencias, las ciencias de la computación y la microelectrónica mantienen su ritmo de avance, la centuria actual podrá ser la verdadera Edad de Oro de la Biología, al conducirnos a interpretar en toda su integridad la partitura de la vida, encontrar sus orígenes en la sopa primeva, igual que los cosmólogos han rastreado el origen del universo hasta el estallido primigenio y han logrado anticipar sus futuros. Sólo que, a diferencia de la cosmología, la biología sí puede permitir que se modifique y aun reescriba la partitura de la vida, se creen nuevas formas de vida y se moldee a voluntad la biosfera, se amplíe la inteligencia, se prolongue la vida humana y se mejore su calidad. Quizá se llegue por fin a resolver la ecuación humana, y la psicología quede asimilada como un caso especial de la biología, como se ha llegado a postular,<sup>19</sup> y la sociología llegue a ser explicable en términos cuantitativos como interacciones de individuos, aunque esta visión reduccionista tropieza con vivas objeciones.<sup>20</sup> Quizá sean las herramientas propias del análisis de fenómenos complejos las que permitan alcanzar amplios horizontes. Por ahora no las tenemos, pero nada permite afirmar que no sea posible crearlas. ♦

<sup>14</sup> D. de Sollla Price y D. J. de Sollla Price, *Little Science, Big Science... and Beyond*, Nueva York, Columbia University Press, 1986.

<sup>15</sup> J. C. Eccles, *Facing Reality*, Nueva York-Berlín, Springer Verlag, 1970.

<sup>16</sup> O. Spengler, *La decadencia de Occidente* (trad. del alemán de M. García Morente; 1a. ed. alemana, 1917), Madrid, Espasa-Calpe, 1966.

<sup>17</sup> P. R. Gross, N. Levitt y M. W. Lewis (eds.), "The Flight from Science and Reason", en *Annals New York Academy of Science*, núm. 775, 24 de junio de 1996.

<sup>18</sup> National Research Council, *Opportunities in Biology*, Washington, D. C., National Academy Press, 1989.

<sup>19</sup> E. U. Wilson, *Consilience: The Unity of Knowledge*, Nueva York, Random House, 1998.

<sup>20</sup> K. Malik, *Man, Beast, Zombie*, Londres, Weidenfeld Nicholson, 2000.