

“¿Qué es la vida?” La pregunta de Schrödinger

José Luis San Miguel de Pablos

Universidad de Sevilla

Resumen

Definir la vida de modo satisfactorio ha sido, durante mucho tiempo, más una preocupación de los filósofos que de los científicos. Pero el carácter acuciante de la pregunta ¿qué es la vida? ha sido percibido también por científicos con inquietudes filosóficas. Uno de ellos fue el físico Erwin Schrödinger, que desplegó algunas intuiciones geniales. En su pequeño libro titulado justamente *¿Qué es la vida?* (1944), la biología molecular y la eliminación de entropía por los seres vivos se proponen como los dos pilares de la “biología del futuro”. Reduccionismo y holismo se afrontan en las páginas de esta sugerente obra, sin desembocar en una síntesis clara. Pero el libro contiene un Epílogo inesperado en el que Schrödinger deja planear un tercer punto de la vista: el centrado en la existencia de la conciencia.

En el artículo se sugiere que la Teoría de Sistemas, explicada y justificada por la termodinámica de procesos lejos del equilibrio, puede suministrar la principal pista que lleve a una concepción -y definición- aceptable de “vida”. Siempre y cuando no se eluda la “tercera perspectiva” de Schrödinger, la que se refiere al vínculo entre vida y conciencia; una perspectiva fundamental también para Teilhard, y que se halla en el centro de la filosofía de Whitehead.

Palabras clave : Vida, reduccionismo, holismo, vitalismo, sistemas , biología molecular, evolución termodinámica, entropía, neguentropía, estructuras disipativas, radiación solar, conciencia.

Summary

Defining Life was, during a long time, a more philosophical than scientific concern. However, this pressing question has been perceived by many philosophically sensitive scientists. One of them was the physicist Erwin Schrödinger, who displayed several genial intuitions. In his little book *What is Life?* (1944), he proposed that both molecular approach and entropy removal by the living beings would be the two basic pillars of the future development of Biology. Reductionism and holism face one another in this inspired work, although a complete synthesis is not got. However, the book includes an unexpected Epilogue: a strange text showing a third perspective focused on the existence of Consciousness.

In the article one suggests that the Theory of General Systems (TGS), explained and justified by the far-equilibrium Thermodynamics, could provide the main track leading to a fully satisfactory conception of Life, on condition that the third perspective of Schrödinger (the link between Life and

Consciousness) was taken also into account. This same perspective is very important for Teilhard de Chardin, and it is absolutely central in the Whitehead's thought.

Key words : Life, reductionism, holism, vitalism, systems, molecular Biology, thermodynamic evolution, entropy, negentropy, dissipative structures,

1. La vida, en la encrucijada de la ciencia y la filosofía

Preguntas fundamentales, como la de ¿qué es la vida?, son especialmente difíciles de responder en términos científicos. No obstante, el carácter finalmente ineludible de esta clase de preguntas da la medida del insustituible valor de la reflexión filosófica, puesto que, de no ser formuladas, su acuciante desafío no estaría ahí aguijoneando a una ciencia cuyos límites se ensanchan sin cesar, y cuyos criterios -incluso acerca de lo que es pertinente plantear y lo que no- también experimentan cambios¹. Ahora bien, si tantos pensadores han intentado definir la vida es porque el ser humano tiene, desde siempre, clara noción de que existen "seres vivos" y "cosas" no vivas. Es importante subrayar el carácter intuitivo que presenta la distinción de lo viviente, pues el análisis racional viene en este caso a constatar algo que ya se había captado; y cuando tal análisis, llevado lo bastante lejos, contradice la intuición primera, ésta no se da por vencida, y surgen intensos debates fuertemente impregnados de carga "vital".

La tradición vitalista

La intuición de lo vivo está ligada al hecho de ser nosotros entidades biológicas. Esta misma intuición sustenta a la corriente vitalista.

Lo más común es despachar en pocas líneas esta tradición histórica de aproximación a lo viviente, por considerar que los avances de la ciencia la han dejado obsoleta. No obstante, ciñéndose a lo esencial de sus presupuestos, se puede constatar que pone de relieve ciertos problemas básicos que siguen sin encontrar respuesta.

La posición vitalista asume que las características fundamentales de las entidades

¹ Ver, p. ej.: Rescher, *Los límites de la ciencia*, Tecnos, Madrid, 1994.

biológicas, aquéllas que justamente definen la vida, no pueden ser deducidas de (ni reducidas a) las del mundo fisicoquímico inorgánico, sino que para explicarlas hace falta "algo más". Recordemos esas características:

* La renovación completa, al cabo de un cierto tiempo, de la materia que constituye un organismo, merced a los procesos dinámicos que permanentemente tienen lugar en su seno. Tales procesos, constitutivos del metabolismo, son consustanciales a la materia viva.

* Los organismos, tanto individualmente considerados como atendiendo a los grupos taxonómicos que forman, e incluso a su conjunto completo, la biosfera, no parecen estar sometidos al imperativo rígido de la 2ª ley de la termodinámica que constata el aumento continuo de la homogeneización térmica y del desorden (*entropía creciente*). Sólo cuando un organismo muere, o cuando un ecosistema se degrada hasta la total desertización, pasa a sufrir sin restricciones la degradación que prevé el 2º principio.

* Las formas y estructuras vivas no han sido fabricadas de acuerdo a los planos de ningún constructor, sino que son *autogenerativas*: se fabrican a sí mismas. Ningún relojero ha montado ni puesto en marcha la "maquinaria de la vida". De hecho, la adecuación de este último término es muy discutible, mal que le pese a Descartes, precisamente porque cualquier máquina o artefacto sólo es tal si existe en función de la utilidad que presenta para "alguien", su constructor o usuario, cuyas capacidades extiende.

* Las cosas vivas poseen un *semblante teleológico*. Cualquier entidad biológica se mueve guiada por el propósito de sobrevivir y reproducirse, así como de situarse en las mejores condiciones para ambas cosas. Podríamos decir que busca su propio bienestar.

* La reproducción de entidades idénticas o muy semejantes es otro rasgo que diferencia los mundos orgánico e inorgánico. Hay que notar, no obstante, que este rasgo -largo tiempo considerado fundamental- tiene algo de fronterizo, ya que los cristales mismos despliegan una "reproducción" elemental, y que el proceso de autoduplicación de algunas macromoléculas se encuentra en el límite de los dos mundos.

* Los seres vivos que poseen sistema nervioso tienen *conciencia*. Considerada durante siglos (al menos en Occidente, y especialmente en el marco de la tradición judeocristiana) como una cualidad exclusiva del ser humano, hoy la inmensa mayoría de nosotros estamos persuadidos (más por experiencias privadas de convivencia con animales domésticos que por razonamientos teóricos) de que los otros mamíferos la poseen también. Por lo que se

refiere a los organismos inferiores, parece lógico suponer que formas de conciencia elementales estén presentes en todos los escalones de la escala biológica.

Existen otros rasgos que para la mayoría de los científicos son tan básicos como los anteriores. Tales son la condición de *evolucionar mediante mecanismos selectivos* y la *historicidad* de cada ser vivo y del fenómeno de la vida en su conjunto. Cabe dudar, no obstante, de que estos dos caracteres sean tan básicos como los anteriores, y ello por los motivos siguientes:

- La evolución basada en la selección natural es sin duda un hecho de extraordinaria importancia que se refiere a la vida, pero no creo que contribuya a definirlo tanto como algunos piensan. Monod plantea que la evolución es un "procedimiento de preservación del orden característico de las entidades vivas, frente a perturbaciones que destruirían toda estructura en un sistema no vivo",² y dice que, por eso mismo, lo que más debería sorprendernos es la estabilidad de ciertas especies y grupos taxonómicos, que "siguen ahí" desde hace muchos millones de años.
- La historicidad, la *flecha del tiempo*, que se había venido relacionando exclusivamente con la vida, hoy se sabe que pertenece igualmente al universo, el cual posee un origen basado en una singularidad irreversible, y cuenta con etapas concretas de desarrollo o evolución. Las estrellas (Sol incluido) y la Tierra son asimismo entidades históricas.

Vistos estos rasgos distintivos, enfoquémonos sobre las teorías que tratan de explicarlos, y en primer lugar el vitalismo, que quizás no esté tan superado como suele afirmarse. Para justificar esta opinión, que puede chocar, es preciso establecer claramente la distinción entre *vitalismo funcional* y *vitalismo sustancialista*. Un vitalista funcional es alguien que responde afirmativamente a la pregunta *¿existen cualidades irreductiblemente vitales?*, a saber, cualidades esenciales de lo que está vivo que no pueden ser deducidas de lo que no lo está. Esto se suele considerar como la definición misma del antirreduccionismo, y no del vitalismo. No obstante, entender que todo antirreduccionismo consecuente es en el fondo una forma de vitalismo (funcional) significa poner el acento sobre la integralidad dinámico-holística de lo orgánico y, de hecho, así parece entenderlo Monod desde su

² J. Monod, *Le hasard et la nécessité* (1970), France Loisirs, Paris, pp. 147-148.

posición radicalmente contraria, cuando, en *El azar y la necesidad*, ataca las posturas holistas con no menor dureza que las concepciones vitalistas y animistas³.

El vitalismo clásico (o sustancialista) tiene raíces antiquísimas. Por ejemplo, en la tradición alquímica, con nombres como los de Paracelso y van Helmont. Más cerca de nosotros, en el siglo XVIII, P.J. Barthez defendía que "un principio vital presente en el hombre, es la causa que produce todos los fenómenos de la vida en el cuerpo humano."⁴ A comienzos del siglo XX, Driesch explicaba el desarrollo embrionario por una *entelequia* o campo energético que guiaba el proceso. Hoy en día existe un solitario representante de esta corriente: el biólogo inglés Rupert Sheldrake, cuyos *campos morfogenéticos* evocan las ideas de Driesch⁵.

El filósofo Henri Bergson merece punto y aparte. No creo que su *élan vital* pueda ser considerado como una "sustancia", por lo que hay que situarle claramente dentro del vitalismo funcional. Monod, por su parte, hace de él el representante máximo del *vitalismo metafísico*⁶. Pienso que si Bergson vuelve hoy con cierta fuerza es porque en sus escritos muestra una fina sensibilidad con respecto al fondo de ciertos temas ineludibles, que además acierta a relacionar entre sí: el tiempo, la vida y la conciencia. ¿Cuál es la tesis fundamental de Bergson en lo que se refiere a la vida? Yo diría que la insuficiencia de los modelos analíticos que elabora el intelecto, separado de las demás facultades del *ser viviente humano*, para explicarla y abarcarla. Está claro que Bergson parte de la inmediatez de nuestro vivir, desde el cual percibimos el resto del mundo viviente, y pasa luego a tratar de entender lo que la vida es, negándose a seguir el camino inverso, a saber, partir de un esquema (aunque sea el de la ciencia de su momento histórico) de cómo está hecho el mundo y de cuáles son las entidades y modos de relación que encierra, para establecer lo que la vida *tiene que ser*. Conviene señalar que Bergson admite sin reservas que la extraordinaria complejidad del sustrato físico-químico del mundo orgánico hace innecesarios los "principios energéticos" postulados por los vitalistas clásicos. Y define su

³ *Ibid.*, pp. 104-106.

⁴ Barthez, P.J., *Nouveaux Eléments de la science de l'homme*, París, 1778.

⁵ Ver, entre otras obras de este autor: Sheldrake, R., *Una nueva ciencia de la vida*, Kairós, Barcelona, 1989.

⁶ Monod, J., *op.cit.*, p.46.

postura mediante una metáfora inspirada en la geometría diferencial:

El análisis descubrirá, sin duda, un número creciente de fenómenos físico-químicos. Y a esto se atenderán los químicos y los físicos. Pero de tal cosa no se sigue que la química y la física nos den la clave de la vida.

Un elemento pequeñísimo de una curva es casi una línea recta. Y cuanto más pequeño sea, más se parecerá a una recta.(...) En cada uno de sus puntos, en efecto, la curva se confunde con su tangente. Así, la "vitalidad" es tangente en cualquier punto a las fuerzas físicas y químicas; pero tales puntos no son, a fin de cuentas, otra cosa que las visiones parciales de alguien que imagina imposibles paradas en tales o cuales momentos del movimiento generador de la curva. En realidad, la vida no es más reducible a físico-química de lo que lo es una curva a muchos trozos de rectas.⁷

En una palabra, lo que se debe verdaderamente destacar en Bergson, en relación al tema de la vida, es su fidelidad al testimonio de nuestra experiencia inmediata *íntegra* (y no sólo racional-analítica) de un fenómeno que nos engloba, sin aceptar que haya que considerar como *más real* algún otro nivel ontológico. Si Bergson es vitalista, es porque la vida es para él una *realidad fundamental*, no epifenoménica; y también por su noción del *élan vital*, del *impulso* –que no es una "energía imponderable" sino una tendencia cósmica básica– que la hace nacer y la lleva a evolucionar. Se podría afirmar que es muy clara la influencia de Bergson en Teilhard de Chardin, pero cabe también verlos a ambos como dos hitos de una misma tradición de aproximación al mundo viviente.

El enfoque reduccionista

La pretensión de explicarlo todo a partir de combinaciones de "algo" elemental (una sola sustancia, o componentes últimos) se remonta, como es bien sabido, a los presocráticos. Como apuesta metafísica, el monismo materialista no es, pues, un hallazgo reciente. En la versión que sigue dominando el panorama de las ciencias de la naturaleza, esta concepción no hace sino desplegar -aunque sea en formas sofisticadas- el programa mecanicista de Descartes, de acuerdo al cual sólo existen causas eficientes ligadas a la

⁷ H. Bergson, *L'évolution créatrice*, PUF, París, 1963, pp. 520-521.

transmisión del movimiento. Encontramos, no obstante, una diferencia entre el cartesianismo y el materialismo, y es que Descartes era dualista (para él, la humana *res cogitans* no era reducible a la *res extensa*), mientras que el materialismo es un monismo estricto, hasta el punto que la conciencia tiene que poder ser entendida como un efecto epifenoménico de la actividad del organismo.

Las formas ilustradas de reduccionismo biológico prolongaban, en efecto, la visión cartesiana del organismo como máquina. Con La Mettrie (1709-1751), el modelo pasó a ser la máquina térmica, y la respiración el proceso fundamental. Una vez asumido que no hay nada en los seres vivos que no pueda ser explicado por reacciones químicas que se observan igualmente en el mundo inorgánico, los investigadores ajustan su ángulo de visión a este supuesto. La culminación del enfoque reduccionista clásico lo constituyen los famosos siete puntos de Loeb (1911).

Da la impresión de que ningún corte fundamental separa el reduccionismo clásico de lo que se denomina el "nuevo reduccionismo". El representante de éste con mayor dimensión filosófica es seguramente Jacques Monod, y la vigencia de su enfoque es grande en un momento como el actual, que conoce un desarrollo espectacular de la biotecnología. Podría objetarse que el nuevo reduccionismo asume algunos conceptos holísticos, como la teleonomía (reducción de la propositividad a un resultado complejo de las causas eficientes puestas en juego), la no linealidad del genoma y de su despliegue o la organización global que emerge de ciclos autocatalíticos. Pero me parece que el problema va por otro lado. Es el atomismo filosófico lo que fundamenta la *perspectiva paradigmática* tanto de la biología molecular como del neodarwinismo (que pone el énfasis en el individuo o en el "gen egoísta"). Y si nos centramos en Monod, su célebre libro contiene un conocido mensaje: la vida, azaroso producto cósmico, ha acabado dando nacimiento, por una carambola todavía mucho más inverosímil, al ser humano: "Nadie podría reprocharle a una teoría universal que no afirme ni prevea la existencia de esta configuración particular de átomos [*el hombre*]; basta con que este objeto actual, único y real, sea *compatible* con la teoría. Según ésta, dicho objeto no está obligado a existir, pero tiene derecho a hacerlo"⁸.

⁸ Monod, J., *op. cit.*, p. 66.

2. Las dos flechas termodinámicas

La escisión del mundo

La mecánica clásica que, en su forma elemental, estudia el movimiento de las masas puntuales, es el dominio por excelencia de la *reversibilidad*, por el hecho de que si en las ecuaciones que definen el movimiento cambiamos el signo de la variable t , del tiempo, los resultados siguen siendo válidos, desde el momento que establecen trayectorias posibles. Por eso mismo se ha repetido tanto que el paso del tiempo, que todos experimentamos como unidireccional, no aparece en las fórmulas de la mecánica clásica. Y las *revoluciones* relativista y cuántica no cambiaron las cosas en este aspecto. Einstein mismo consideraba que la flecha del tiempo es "tan sólo una ilusión".

Pero "ilusión" es un término cuyo significado, en determinados contextos, se aproxima a *contenido de conciencia*. De modo que la frase de Einstein puede traducirse diciendo que "es en la conciencia donde fluye el tiempo". Es así, en todo caso, desde el nacimiento hasta la muerte, dos hitos que imponen por sí mismos la ineludible realidad del tiempo irreversible para los seres vivos.

Esta última constatación hizo nacer una paradoja desde que la mecánica galileano-newtoniana propuso unos modelos en los que el tiempo interviene como una magnitud sin sentido definido. A esta paradoja se sumó otra cuando Carnot, Clausius y Boltzmann formularon el segundo principio de la termodinámica. Dicho principio estipula que las diferencias de temperatura entre ámbitos comunicados tienden a desaparecer, y que, una vez que han llegado a anularse (con producción de trabajo en el curso del proceso), no se restablecen espontáneamente. La cantidad total de energía se conserva (*primer principio de la termodinámica*), pero el calor "degradado" por la igualación térmica, no puede ser empleado en producir más trabajo. La *entropía* es una medida del grado de homogeneización térmica (o de "aproximación a la distribución cinética de máxima probabilidad"), y el desarrollo teórico de las últimas décadas ha mostrado dos cosas: 1) que el desorden general -o caotización- de un sistema es equivalente a su entropía; 2) que si definimos una magnitud complementaria, la *neguentropía* ("entropía negativa"), ésta, en

tanto que medida del grado de diferenciación (o de "orden improbable"), es homóloga al *contenido de información* del sistema⁹. Pues bien, lo sorprendente es que mientras los objetos y conjuntos inorgánicos caminan espontáneamente en el sentido que marca el segundo principio, es decir, se desorganizan cada vez más, y tienden a distinguirse cada vez menos del medio (tal como una colina se erosiona hasta nivelarse con el terreno circundante), los seres vivos se desarrollan incrementando su complejidad estructural y su diferenciación con respecto al medio ambiente, aparte de tener una notable capacidad de incidencia en ese mismo medio. Más aun, contradiciendo la idea de una degradación imparable de la naturaleza terrestre, se observa un incremento de la complejidad -o lo que es lo mismo, de la neguentropía- en la evolución biológica. Dicho en otros términos, da la impresión de haber dos flechas opuestas del tiempo: una, la del mundo inorgánico, rigurosamente controlada por el segundo principio, que se dirige hacia la homogeneización, hacia la muerte térmica (que implica "información cero"); otra, la de los seres vivos, que apunta al crecimiento de la complejidad morfológico-funcional, así como a una maximización de la heterogeneidad, correlativa con un aumento en el "contenido de información". Estas dos flechas, la de la muerte y la de la vida, parecen sacadas de una leyenda antigua; se trata, sin embargo de una metáfora científica.

Formulación del problema por Schrödinger

En 1943, el físico Erwin Schrödinger, uno de los "grandes" de la mecánica cuántica, desarrolló una importante reflexión en un campo ajeno al suyo, reflexión que dio a conocer en una serie de conferencias pronunciadas en el Trinity College. El pequeño libro que las recoge, aparecido el año siguiente con el título de *What is life?*, es considerado, más de seis décadas después, como una prueba clásica del valor de las búsquedas interdisciplinares movidas por un afán sintético claramente filosófico.

¿Qué es la vida? es un semillero de ideas. Dos, especialmente, que todos los comentaristas han puesto de relieve, anticipan las dos líneas principales que ha seguido

⁹ Esta es una de las bases de la Teoría de la información. Una posible objeción a la misma es que difícilmente se puede hablar de información sin contar con un sujeto consciente, susceptible de ser informado. Volveremos sobre esto más adelante.

después la investigación sobre la naturaleza de lo viviente: el cristal aperiódico como base material de la transmisión genética, y la concepción de los seres vivos como sistemas expertos en eliminar entropía (o en asimilar neguentropía). La primera de tales ideas -que Schrödinger asocia a la noción de "orden a partir del orden"- ha sido brillantemente confirmada por el descubrimiento de la estructura del ARN y del ADN, pero es la segunda la que ahora nos interesa más. Schrödinger entra de lleno en el tema en el capítulo 6 de su libro ("Orden, desorden y entropía"), y lo hace en los siguientes términos:

¿Qué es ese precioso "algo" contenido en nuestros alimentos, que nos defiende de la muerte? Esto es fácil de contestar. Todo proceso, suceso o acontecimiento -llámeselo como se quiera-, en una palabra, todo lo que pasa en la Naturaleza, significa un aumento de la entropía de aquella parte del mundo donde ocurre. Por lo tanto, un organismo vivo aumentará continuamente su entropía o, como también puede decirse, producirá entropía positiva, y por ello tenderá a aproximarse al peligroso estado de entropía máxima que es la muerte. Sólo puede mantenerse lejos de ella, es decir, vivo, extrayendo continuamente entropía negativa de su medio ambiente, lo cual es algo muy positivo, como enseguida veremos. De lo que un organismo se alimenta es de entropía negativa. O, para expresarlo menos paradójicamente, el punto esencial del metabolismo es aquél en el que el organismo consigue liberarse de toda la entropía que no puede dejar de producir mientras está vivo.¹⁰

Vemos, pues, que Schrödinger dio con una explicación teórica general del principal rasgo de la vida perceptible exteriormente, que iba en la misma línea de las investigaciones fisicoquímicas de Prigogine, quien apenas si empezaba a ocuparse (1945) de la termodinámica de los procesos lejos del equilibrio en el momento de ver la luz *What is Life?* Se trata, por tanto, de un caso de paralelismo.

Entre atomismo y holismo

Como la biología de las últimas décadas, la concepción que Schrödinger tiene de la vida se sitúa en un delicado equilibrio, de apariencia un poco contradictoria, entre las concepciones atomista y holista. De hecho, el pequeño ensayo en que vierte dicha concepción tiene algo de resumen de un grandioso programa de investigación que adelanta

¹⁰ E. Schrödinger, *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 1983, pp. 111-112.

dos disciplinas fundamentales: la biología molecular y la ecobiología sistémica.

En un momento dado, nuestro científico manifiesta su convicción de que las dos principales nociones innovadoras que propone están, de algún modo, relacionadas: la asombrosa propiedad de un organismo de concentrar una "corriente de orden" sobre sí mismo, escapando de la descomposición en el caos atómico, y "absorbiendo orden" de un ambiente apropiado parecería estar conectada con la presencia de "sólidos aperiódicos", las moléculas cromosómicas, las cuales representan, sin ninguna duda, el grado más elevado de asociación atómica que conocemos -mucho mayor que el cristal periódico común- en virtud del papel individual que cada átomo y cada radical desempeñan en ellas.¹¹

Pero semejante conexión no es inmediata, sobre todo habida cuenta del modo en que Schrödinger concibe el funcionamiento de los sólidos aperiódicos que constituyen las fibras cromosómicas, de cara a generar "orden" (biológico) "a partir del orden" que está contenido en ellos. En el último capítulo de *¿Qué es la vida?*, el físico vienés se orienta a la comparación, típicamente mecanicista, de dicho funcionamiento con el de un reloj.

Para formarse una idea del juicio que el *pequeño gran libro* de Erwin Schrödinger le merece a la comunidad científica actual, puede servir otra recopilación de conferencias: las dadas, nuevamente en el Trinity College, por destacados especialistas en biología, física e historia de la ciencia, con ocasión del cincuentenario de las disertaciones de Schrödinger.¹²

En la Presentación, M.P. Murphy y L.A. O'Neill hacen referencia a las controversias a que ha dado lugar *¿Qué es la vida?* a lo largo de las cinco décadas transcurridas. Ha habido, según ellos, dos fases: una primera en la que se enfatizó casi exclusivamente la propuesta de que las macromoléculas que están en la base de la transmisión genética son "sólidos aperiódicos", y una segunda en la que se ve a Schrödinger como el precursor de la nueva interpretación termodinámica de la biología. Los científicos se polarizan a la hora de valorar estas dos aportaciones, de modo que los que subrayan la penetrante visión de Schrödinger en relación a la estructura de las moléculas cromosómicas, apenas se ocupan de su idea de un "orden que surge a partir del desorden", y viceversa.

¹¹ *¿Qué es la vida?*, p. 120.

¹² VV.AA., *La biología del futuro. "¿Qué es la vida?" cincuenta años después*, Tusquets, Barcelona, 1999.

3. De la Teoría de Sistemas a las estructuras disipativas

El universo organísmico de von Bertalanffy

A caballo entre la biología -disciplina de la que procedía- y la filosofía, Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) desarrolló una aproximación al mundo real que tiene la virtud de situarse en ese difícil punto de equilibrio entre la evidencia intuitiva y el rigor racional que con tanta frecuencia se malinterpreta, pero que algunos tenemos por eminentemente lúcido y fructífero.

Bergsoniano, de algún modo, y asumiendo explícitamente la herencia de Nicolás de Cusa, Giordano Bruno y Goethe, von Bertalanffy constata de entrada que no existe razón de peso para considerar como fundamental ninguno de los escalones jerárquicos en que se nos muestra estructurada la realidad, así física como humana o conceptual. La vía analítica conduce a la identificación de una serie de entidades subyacentes a una cualquiera dada, que son indudablemente reales pero que no dan nunca cuenta totalmente de la entidad analizada; y esto no ocurre sólo en el campo de lo viviente u orgánico, sino igualmente en otros, así infra como suprabiológicos. Así, la aproximación meramente atomista -o "individualista"- a los seres vivos, incluido el hombre, no da cuenta de los ecosistemas ni de las sociedades, culturas, etc.

¿Cuál es, según von Bertalanffy, el *plus* que hace que las entidades del nivel ontológico $x+1$ sean irreducibles a las del nivel x ? Su respuesta es clara: las *relaciones* -o mejor interrelaciones- *dinámicas* que conectan los elementos (del nivel x) que componen la entidad perteneciente al nivel $x+1$. Esto le lleva a apostar por una concepción del mundo a la vez dinámica y matemática. Heráclito y Pitágoras quedan, para él, hermanos.

En su último libro¹³, von Bertalanffy vincula su concepción a varios desarrollos teóricos independientes que apuntan, todos ellos, a una cosmovisión similar, si bien dotada de un esqueleto formal que él no llegó a generar. Me refiero sobre todo a la teoría cibernética (Wiener), y a la termodinámica de sistemas lejos del equilibrio (Prigogine).

¹³ von Bertalanffy, L., *Perspectivas en la teoría general de sistemas*, Alianza, Madrid, 1979.

Estructuras disipativas

Mirando a su alrededor, von Bertalanffy identificó un rasgo del mundo (e incluso del lenguaje, la música, etc.) que, por lo demás, es casi evidente: su constitución organizada jerárquicamente sobre la base del principio *entidades integran entidades*¹⁴, sin que tenga demasiado sentido hablar de “realidades fundamentales” y “epifenómenos”. Sin embargo, por qué está hecho así el mundo, y cómo ha llegado a ser de este modo, son dos cuestiones en las que apenas si entró von Bertalanffy. Se diría que el auténtico descubridor de la *causa eficiente* de que el mundo posea una estructuración general sistémica –la cual la vida no hace sino poner de manifiesto al máximo– es Ilya Prigogine. La pieza-clave la constituyen las *estructuras disipativas* que, si bien son físico-químicas, resultan generalizables, según él, debido a la modelización que establecen. Una explicación especialmente clara de la naturaleza de estas estructuras, así como de su papel central en el dominio biológico, se encuentra en la conferencia de E. Schneider y J. Kay "Orden a partir del desorden; la termodinámica de la complejidad en biología", incluida en *La biología del futuro*. Antes que nada, hay que recordar que la evolución de un sistema cerrado lleva siempre al crecimiento de su entropía, o a que, en el mejor de los casos, ésta se mantenga invariable, de acuerdo al segundo principio. Pero si el sistema es abierto, es decir, si lleva a cabo intercambios energéticos con el medio externo, entonces la variación de su entropía está definida por una suma:

$$dS = dS_i + dS_e \quad (1)$$

en la que dS_i (la variación de la entropía dentro del sistema) es positivo, mientras que el otro sumando, dS_e (la variación de entropía a causa de los intercambios exteriores), puede ser positivo o negativo. Ahora bien, en caso de que dS_e sea negativo y supere en valor absoluto a dS_i , dS será también negativo. Esto significa que los sistemas que intercambian energía con el medio (la cual puede estar contenida eventualmente en materia, asimismo objeto de intercambio) pueden, en ciertas condiciones, reducir su entropía, o lo que es lo

¹⁴ Esta intuición se remonta a Leibniz, quien dice en su *Monadología*: “Cada parte de la materia puede ser concebida como un jardín lleno de plantas y como un estanque lleno de peces. Pero cada rama de la planta, cada miembro del animal, cada gota de sus humores, es también como ese jardín o ese estanque.” (Leibniz, *Monadología*, 67, trad. de Manuel García Morente, Facultad de Filosofía de la UCM, 1994, p. 26).

mismo, aumentar su orden interno, su *neguentropía*, estrechamente relacionada con el "contenido de información" del sistema.

Los autores que cito manejan un par de conceptos que se revelan útiles de cara a entender el funcionamiento de las estructuras disipativas. El primero es el de *exergía*, muy próximo al de "energía libre": la cantidad total de *energía no degradada*, o lo que es lo mismo, utilizable para producir trabajo o transformaciones de algún tipo. Para que, en la fórmula 1, dS sea negativo es preciso que el flujo energético que llega al sistema procedente del medio sea rico en exergía, ya que la energía total -que incluye la degradada- no es lo que en realidad cuenta.

El segundo lo constituye una interesante reformulación del segundo principio, de acuerdo a la cual la disipación de la exergía que recibe el sistema tiende siempre a una maximización que, en las condiciones alejadas del equilibrio que impone -más allá de un cierto umbral- el propio flujo energético en presencia, empuja a los sistemas a explorar modos de disipación (compatibles en todo caso con las restricciones existentes) que implican disminuciones locales, muy grandes incluso, de la entropía, o lo que es lo mismo, la aparición de formas organizadas, más eficientes en orden a dicha disipación que la forma desordenada inicial. Como la exergía no es sino energía útil, ello implica la *presencia de gradientes*. Así, fuentes netas de exergía son la energía solar y el intenso gradiente geotérmico de las chimeneas volcánicas, que no por casualidad son las mismas fuentes que centran últimamente la indagación científica sobre el origen de la vida. Por el contrario, la inmensa cantidad de energía térmica contenida en el mar no es rica en exergía, debido a no existir en su seno gradientes acusados.

Schneider y Kay afirman explícitamente:

La vida puede contemplarse como una estructura disipativa lejos del equilibrio que mantiene su nivel de organización local a expensas de producir entropía en el entorno.

Y prosiguen diciendo:

Si contemplamos la Tierra como un sistema termodinámico abierto, con un intenso gradiente impuesto por el Sol, la segunda ley reformulada sugiere que el sistema reducirá este gradiente echando mano de todos los procesos físicos y químicos a su alcance.

Nosotros sugerimos que la vida en la Tierra es una forma más de disipar el gradiente solar inducido y, como tal, una manifestación de la segunda ley reformulada. Los sistemas vivos son sistemas disipativos lejos del equilibrio, con un gran potencial para reducir gradientes de radiación planetarios.¹⁵

Prigogine sugiere esto mismo¹⁶, pero el mérito de estos dos autores reside en la meridiana claridad de sus formulaciones. No parece, sin embargo que nadie haya definido mejor que el premio Nobel de Bruselas las condiciones de evolución de los sistemas termodinámicos muy alejados de las condiciones de equilibrio, de los cuales la vida no sería sino un caso particular.

Evolución termodinámica

El equilibrio no se alcanza nunca sin oscilaciones alrededor del punto que él representa. Esas oscilaciones se denominan *fluctuaciones*, y se van amortiguando paulatinamente en la evolución normal de los sistemas, hasta llegar al equilibrio (en rigor inalcanzable, ya que el proceso es asintótico). Sin embargo, si una fluctuación, inducida por un flujo de energía, se amplifica más allá de un cierto umbral, puede ocurrir que el sistema, en vez de regresar trabajosamente al estado inicial, tome otro rumbo... Puede ocurrir que se reestructure globalmente, adquiriendo una configuración integrada capaz de disipar de manera mucho más eficiente el flujo energético que incide. Asistimos entonces al nacimiento de un *todo* de orden superior, que incluso puede tener propiedades completamente nuevas.

Demos la palabra a Prigogine:

Tal como lo hemos visto, *tanto el azar como la necesidad* juegan un papel esencial en los procesos de autoorganización. Podemos considerar las estructuras disipativas como fluctuaciones gigantes mantenidas con flujos de energía y de materia. Son realmente el resultado de fluctuaciones, pero una vez formadas pueden ser estables frente a un amplio

¹⁵ Schneider & Kay en *La biología del futuro, op. cit.*, p. 229.

¹⁶ "...en el seno de un sistema que evoluciona globalmente hacia el equilibrio –y es este, por ejemplo, el caso del sistema planetario en su conjunto–, flujos irreversibles pueden crear, de manera predecible y reproducible, la posibilidad de que surjan procesos locales de autoorganización. En semejante contexto, un fenómeno como el de la aparición de formas vivas puede ser considerado previsible desde el punto de vista de la teoría física." (Prigogine, *La nouvelle alliance*, Gallimard, París, 1997, p. 215).

rango de perturbaciones.(...) Intuimos que cerca de las bifurcaciones las fluctuaciones deben ser "más grandes" de lo que son usualmente. El sistema empieza a "escoger" entre varias posibilidades. La presencia de fluctuaciones anormalmente grandes caracteriza los puntos de cambio, incluso en la tecnología o en la historia de la humanidad.¹⁷

El universo y la sociedad –y no sólo la vida- habrían, pues, evolucionado a través de procesos que se adaptan al modelo que proporciona la termodinámica lejos del equilibrio. Entidades "de orden superior", definidas holísticamente (y no a partir de la composición mecánica de sus elementos), han surgido cada vez que una fluctuación se ha amplificado lo suficiente dentro del agregado caótico de unas "entidades de orden inferior" que son ciertamente los ladrillos básicos de las nuevas entidades emergentes, pero a las que éstas últimas no pueden reducirse, puesto que lo que las define es *una estructura dinámica global integradora* que estaba ausente inicialmente. El modelo prigoginiano desplaza, en cierto modo, a la vida de su eminente posición singular. Pero, a diferencia de los modelos mecanicistas, no la reduce. Más bien le proporciona un semblante vital al universo entero, con todas sus estructuras (los *verdaderos sistemas* de von Bertalanffy), desde el átomo hasta la galaxia, pasando por las formaciones "superestructurales" específicamente humanas. A mi entender, las propuestas de Prigogine le proporcionan unas sólidas bases a la Teoría de Sistemas bertalanffiana. Y prestan asimismo apoyo a otras filosofías dinamicistas, organicistas y... vitalistas, como la de Whitehead, de quien el propio Prigogine se confiesa admirador¹⁸.

Quedan flotando, no obstante, muchas preguntas. Una especialmente intrigante es la siguiente: ¿por qué el fenómeno de la vida, entendido -como explícitamente plantean Schneider y Kay- como una super-estructura disipativa del flujo de energía solar que incide sobre el planeta, tiene una configuración atomista -basada en individuos separados, así como en múltiples especies o en "genes egoístas"- y no una global, como parece que exigiría más bien el modelo prigoginiano? Una de las posibles respuestas es que acaso una vida basada en individuos y en especies en competencia selectiva sea más eficiente de cara a realizar una "función disipativa" de escala planetaria, debido a que *los organismos que*

¹⁷ *Ibid*, pp. 166-167.

¹⁸ *Ibid.*, pp. 156-160.

mejor la llevan a cabo son los que acaban siendo seleccionados. Y esto por una buena razón: los organismos que más contribuyen a "poner orden" en el medio son los que en mayor medida mejoran la calidad de éste (se entiende que de su medio ambiente local a corto plazo, y eventualmente del global a largo plazo), y tienen, por eso mismo, más posibilidades de sobrevivir. Esta idea contradice el postulado neodarwinista de que la evolución carece de toda orientación. Y sin embargo es la solución que proponen Schneider y Kay, en parte en base a la constatación empírica de la impresionante expansión de un grupo biológico como el reino vegetal, que posee la máxima capacidad disipativa del gradiente energético solar, y que constituye el componente-clave de los grandes ecosistemas termo-reguladores continentales¹⁹.

Esta respuesta esconde, en cierto modo, otra. Porque los ecosistemas mismos pasan a ser el escalón holístico que se echaba en falta. Se llega, en el límite, a la *teoría de Gaia*, de acuerdo a la cual los árboles atomistas de la "lucha por la supervivencia" pueden impedirnos ver el bosque del comportamiento global de la vida terrestre cuando la contemplamos a gran escala, así espacial (planetaria) como temporal. En el 2º Congreso Internacional sobre la hipótesis Gaia, celebrado en junio del 2000 en Valencia, se defendió la idea de que la biosfera, estrechamente acoplada con el planeta que la sustenta, constituye una estructura disipativa global *finamente ajustada por la selección natural*, que pasa así a ser entendida como un mecanismo cibernético interno de la entidad Gaia²⁰.

4. ¿Qué les falta a las estructuras disipativas para ser idénticas a “vida”?

Vida y conciencia. El "problema fuerte"

De forma inmediata (¡como que es la inmediatez misma!) constata el viviente ser humano que posee conciencia subjetiva. Tengo para mí que el *cogito* cartesiano constituye una meditación primaria que alguna vez hay que hacer espontáneamente -mejor sin haber leído nunca a Descartes- para saber por propia experiencia en qué consiste el núcleo central de la inquietud que llevó, hace miles de años, a nuestros antepasados a plantearse

¹⁹ El mismo papel que, de cara a la homeostasis atmosférica, juegan las plantas vasculares en las áreas continentales, lo cumplen las algas en los océanos.

"preguntas absurdas" pero ineludibles, es decir, a filosofar.

Es obvio que la conciencia jamás podría ser descubierta desde la no conciencia. Pero este mismo enunciado -que, sin embargo, a estas alturas, no carece de interés- es tautológico, porque todas las cosas se descubren en y desde la conciencia. Dicho en otros términos, ésta constituye un presupuesto de todo "des-cubrimiento" (que evidentemente lo es *para ella*). Está claro, por otra parte, que la inmediatez de la conciencia, al privar de toda perspectiva, hace extremadamente difícil ceñirla conceptualmente. Pero vayamos al aspecto del problema que nos interesa aquí. Resulta que "eso" que llamamos conciencia, y que cada uno vivencia como un orden de realidad irreductible a materia inconsciente, está innegablemente ligado sea a la actividad del sistema nervioso central (según la gran mayoría de los científicos), sea a la dinámica del conjunto del organismo (según algunos investigadores minoritarios), por lo que todo dualismo sustancial debe ser excluido como contrario a la evidencia científica. Es obvio, sin embargo, que esta constatación pone sobre la mesa una contradicción nada pequeña, que a su vez pone de manifiesto cuál es el núcleo del problema. La cuestión es esta: por mucho que la conciencia, entendida como *ámbito subjetivo*²¹, surja de las complejíssimas estructuras cerebrales de materia-energía, sigue siendo esencialmente extraña a ésta. Y si bien se mira, no resulta equiparable a las otras propiedades emergentes, porque si consideramos, por ejemplo, las que caracterizan el "mundo clásico" de la física, que emerge por vía estocástica del "mundo cuántico", está claro que, por grandes que sean las diferencias entre ambos mundos, éstas únicamente atañen a "leyes" y a "propiedades", sin que esté juego nada menos que todo un campo ontológico como el que representa el *ser subjetivo*. ¿Por qué un orden de realidad ajeno al orden de los objetos emerge de un sustrato material-energético que es pura objetualidad? Esta acuciante pregunta constituye el llamado "problema fuerte" que plantea la existencia de la conciencia

²⁰ Lenton, T.M., "Gaia and natural selection, *Nature*, 394, pp. 439-447.

²¹ Y no como autoconciencia, pensamiento ni capacidad conceptualizadora. Estas son formas superiores de conciencia, pero es fácil ver que presuponen la presencia de un "campo de interioridad" más básico, como el que se vivencia en el ensueño.

El punto de vista de David Chalmers

Curiosamente, este problema filosófico fundamental sólo es percibido como tal por algunas personas. De hecho, hace tiempo que tengo la impresión de que la distinta apreciación de este problema establece dos grupos humanos mal comunicados: el que forman quienes lo captan de inmediato, y el de quienes no lo captan, sin que por lo demás tal cosa implique juicio de valor alguno. Pues bien, un investigador de la conciencia que indudablemente percibe el problema con toda nitidez es David Chalmers, filósofo y psiconeurólogo norteamericano a quien se debe una audaz propuesta.

Chalmers parte de constatar el "problema fuerte", que además acierta a ilustrar muy expresivamente con varios ejemplos²². Y como lo considera insoluble desde las posturas reduccionistas, epifenomenistas y "negacionistas", y dado que él no asume tampoco un posicionamiento dualista (es decir, espiritualista clásico), toma el único camino que le queda, un camino difícil que se presta a críticas feroces y a sarcasmos, pero que no deja de ser coherente: bien podría ser la conciencia, dice Chalmers, una propiedad básica del universo, que no emerge, por tanto, de un dominio que no tiene nada que ver con ella, sino que más bien se centra, organiza y despliega en / desde unos sistemas nerviosos material-energéticos surgidos como resultado de largos procesos evolutivos. Chalmers cree que la clave está en la noción de *información*, ligada a numerosas estructuras del universo, y que él identifica con el zócalo elemental de la conciencia²³.

Como es fácil adivinar, la propuesta de Chalmers ha sido duramente descalificada por panpsiquista o, lo que es lo mismo, por implicar una cierta revalorización del animismo. J.R. Searle, por ejemplo, la critica en los siguientes términos:

Esta concepción absurda [de Chalmers], llamada panpsiquismo, es consecuencia directa de la tentativa de explicación de la conciencia en términos de "información", en el sentido técnico y escueto del término.(...)

²² Uno es la *paradoja del científico daltónico*: un hipotético gran especialista en las teorías física y neuro-cerebral de los colores, que lo sabe todo acerca de éstos, pero que, por ser daltónico, carece de la experiencia consciente del color.

²³ D. Chalmers, *La mente consciente*, Gedisa, Barcelona, 1999. Ver también del mismo autor: "El problema de la conciencia", en *Investigación y ciencia*, 233 (febrero 1996).

No hay la menor razón para adoptar el pansiquismo, la tesis según la cual todo es consciente en el universo. La conciencia es ante todo un fenómeno biológico, y está tan acantonada en la biología como puede estarlo la secreción de la bilis o la digestión de los hidratos de carbono. De todos los resultados absurdos que se pueden encontrar en el libro de Chalmers, el pansiquismo es el más absurdo de todos, y nos hace pensar que hay algo de radicalmente erróneo en la tesis que lo implica.²⁴

En esta crítica -que, como vemos, es bastante visceral- se distingue una componente con fuerte trasfondo socio-institucional (*un científico no puede en modo alguno aceptar la posibilidad del pansiquismo, concepción extraña a su tradición*), y otra racional, que de hecho Searle no desarrolló del todo hasta que recibió la réplica de Chalmers. En todo caso, esta otra componente parece más sólida: la información no puede fundamentar ninguna clase de pansiquismo desde el momento que se trata de una noción establecida por nosotros, seres conscientes, para dar cuenta de los datos que nos proporciona el mundo, o que éste es susceptible de proporcionar a otros seres igualmente conscientes.

Por mucho que Uds. quieran hacer de la función de información algo específico, lo cierto es que no existe más que relativamente a observadores e intérpretes. Una cosa no es un termostato más que para alguien capaz de interpretarlo y utilizarlo como tal. Los anillos de crecimiento de un árbol no dan información sobre la edad del árbol nada más que a quien sabe interpretarlos. Si eliminan Vds. los intérpretes y los usuarios, la noción se vacía, puesto que entonces *todo*, literalmente, puede ser portador de información, y contar por consiguiente con algún tipo de "organización funcional".²⁵

Pienso que Searle tiene aquí razón. Pero, aun así, no hace más que empujar hacia atrás el problema, porque si la información sólo existe *para la conciencia*, siguen en pie las preguntas cruciales de qué es ésta y de qué tiene que ver con la materia, sobre todo teniendo en cuenta que el muy convencional punto de vista de Searle al respecto, reproducido unas líneas más arriba, deja intacto el problema de fondo.

²⁴ J.R. Searle, *The Mystery of Consciousness*, Granta Books, Reino Unido, 1997; pp. 162 y 168-69 de la traducción francesa, Ed. Odile Jacob, París, 1999.

²⁵ J.R. Searle, *The Mystery of Consciousness*, p. 184 de la traducción francesa.

Obviamente, para Chalmers la pregunta que da título al presente apartado debería tener por respuesta que... *no les falta prácticamente nada*. Cualquier estructura disipativa física, en la medida en que posee orden estructural portador de información, se asocia -según él- a una conciencia elemental. Un ser vivo, que no es -a fin de cuentas- más que una estructura disipativa especialmente compleja, tiene simplemente "más de lo mismo". Y el ser humano, "mucho más"...

Dos grandes figuras del pensamiento aparecen especialmente próximas a Chalmers: Whitehead y Teilhard. La apuesta panpsiquista del autor de *Process and Reality* es ampliamente reconocida, con su noción del *self-enjoyment* (¿"gozosa interioridad"?), de las partículas-sucesos elementales, que son como burbujas de la espuma del río de la realidad-proceso. Llama la atención que Whitehead sea uno de los filósofos de cabecera de Prigogine, que, no obstante, evita cuidadosamente referirse explícitamente a este rasgo básico de su metafísica. En cuanto a Teilhard, muy pocas dudas caben de que su concepción del mundo iba igualmente por ese lado. Como recuerda Ignacio Núñez de Castro²⁶, para Teilhard en los corpúsculos de la previda ya se halla presente un "dentro", inasible por infinitesimal, es decir, una conciencia elementalísima que el incremento de la complejidad hace derivar hacia la conciencia superior (*ley de complejidad-conciencia*).

Erwin Schrödinger y la Vida / Conciencia

Es sumamente probable que el "misticismo" de Chalmers hubiese sido tratado con respeto por Schrödinger, ya que el eminente físico puso como broche final de su ensayo sobre biología un provocador Epílogo en el que, sin el más mínimo *pudor racionalista*, daba a conocer sus convicciones metafísicas relativas a la conciencia, unas convicciones que implicaban precisamente una alta valoración de determinadas intuiciones místicas.

El pensamiento místico-metafísico de Schrödinger se resume en su creencia en la unicidad última de la(s) conciencia(s), y la identidad de ésta(s) con la Divinidad no personal. Se trata de una de las nociones centrales del hinduismo, sintetizada en la fórmula *Atman y Brahma son una y la misma cosa*, a la que Schrödinger se refiere explícitamente.

²⁶ Núñez de Castro. I., "La Biofilosofía de Teilhard de Chardin", en *Pensamiento*, 230 (2005), Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, pp. 231-252.

El sorprendente Epílogo de *¿Qué es la vida?* suele ser pasado por alto. Pero un hecho evidente es que, para Schrödinger, dicho Epílogo guardaba estrecha relación con el contenido total del libro. Pienso que si Schrödinger puso este texto como colofón fue porque pensó que era su obligación sugerir otra visión *complementaria de la científica*. Fue porque creyó que no era adecuado que un problema como el que daba título a su ensayo se quedase encerrado en una estructura conceptual de la que el *ser subjetivo* estaba ausente. Él sabía, sin duda, que su exposición final no sería apreciada por la mayoría de sus colegas, pero está claro que escribió para un público más amplio y que lo que verdaderamente le importaba era transmitir un mensaje de fondo.

Y es que quien tenga en sus manos un libro como éste, que se titula *¿Qué es la vida?* y que fue escrito por un gran físico cuántico, debe estar preparado para encontrar en él ideas contradictorio-complementarias. Como, por ejemplo, que *la vida es, a la vez e inseparablemente, materia-energía y conciencia*.

BIBLIOGRAFIA

Ayala, F., & Dobzhansky, T. *Estudios sobre la filosofía de la biología*, Ariel, Barcelona, 1983.

Bergson, H. *L'évolution créatrice*, in "Oeuvres", PUF, París, 1963.

von Bertalanffy, L. *Perspectivas en la teoría general de sistemas*, Alianza Editorial, Madrid, 1979.

Capra, F. *La trama de la vida*, Anagrama, Barcelona, 1998.

Chalmers, D. *La mente consciente*, Gedisa, Barcelona, 1999.

Darwin, C., *El origen de las especies*, Alianza, Madrid, 2003.

Dawkins, R., *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 1989.

González Recio, J.L. "Galileo y Kant reencontrados. Ciencia y filosofía en los orígenes de la biología molecular" en *Thémata*, 20, Universidad de Sevilla, 1998.

- Jonas, Hans, *El Principio Vida. Hacia una biología filosófica*, Trotta, Madrid, 2000.
- G.J. Klir (dir.), *Tendencias en la teoría general de sistemas*, Alianza, Madrid, 1978.
- Leibniz, *Monadología*, trad. de M. García Morente, Facultad de Filosofía de la UCM, 1994.
- Lovelock, J. *Las edades de Gaia*, Tusquets, Barcelona, 1993.
- Margulis, Lynn & Sagan, D., *Microcosmos*, Tusquets, Barcelona, 1995.
- Monod, J. *Le hasard et la nécessité*, France Loisirs, París, 1989.
- Morin, Edgar, *La Méthode*, tomos 1-5, *Le Seuil*, París, 1977-2001.
- Núñez de Castro, I., "La Biofilosofía de Teilhard de Chardin" en *Pensamiento*, 230 (2005), Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, pp. 231-252.
- Prigogine, I. *La nouvelle alliance*, Gallimard, París, 1986.
- Rescher, N. *Los límites de la ciencia*, Tecnos, Madrid, 1994.
- Ruse, M. *La filosofía de la biología*, Alianza Editorial, Madrid, 1990.
- Schneider, E. y Kay, J. "Orden a partir del desorden; la termodinámica de la complejidad en biología", en *La biología del futuro*, Tusquets, Barcelona, 1999.
- Schrödinger, E. *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 1983.
- Searle, J. *The Mystery of Consciousness*; trad. francesa: *Le mystère de la conscience*, Odile Jacob, París, 1999.
- Sheldrake, R., *Una nueva ciencia de la vida*, Kairós, Barcelona, 1989.
- , *El renacimiento de la Naturaleza*, Paidós, Barcelona, 1994.
- Teilhard de Chardin, P., *El fenómeno humano*, Taurus, Madrid, 1963.
- , *La energía humana*, Taurus, Madrid, 1963.
- , *El grupo zoológico humano*, Taurus, Madrid, 1963.

Whitehead, A.N., *Process and Reality*, Mac Millan, Nueva York, 1969.