



EL CARÁCTER UNITARIO Y SUSTANCIAL DE LOS SISTEMAS MOLECULARES: UNA REFLEXIÓN DESDE LA TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Gabriela García Zerecero

Doctora en Historia del Pensamiento por la Universidad Panamericana (México)
Profesora del Departamento de Humanidades de la Universidad Panamericana (México)
gagarcia@up.edu.mx

Resumen

A partir de los años cincuenta del s. XX, el problema de la complejidad de lo real se ha convertido en uno de los principales desafíos tanto para el conocimiento científico como para el filosófico. Para comprender esta complejidad, actualmente se está hablando de sistemas. Bajo esta perspectiva, puede resultar interesante cuestionarnos si los modelos de las macro moléculas objeto de la biología molecular pueden considerarse sistemas materiales, es decir, si tienen un carácter holístico particular. Dado que los enfoques sistémicos se han desarrollado últimamente tanto en la biología como en la química, en el presente trabajo pretendo mostrar, a través de la teoría general de los sistemas, que las moléculas y las macromoléculas pueden considerarse sistemas unitarios centrales lo que permite reconocer su carácter de totalidad y, por tanto, establecer su identidad sustancial.

Palabras clave: Biología molecular. Sistemas unitarios. Identidad sustancial. Holismo.

Abstract

From the beginning of the second half of the twentieth century, the problem of the complexity of reality has become one of the main challenges for both scientific and philosophical knowledge. To understand this complexity, we are currently talking about systems. From this perspective, it may be interesting to question whether the models of the macro molecules object of molecular biology can be considered material systems, that is, if they have a particular holistic character. Given that systemic approaches have been developed lately in both biology and chemistry, in this paper I intend to show, through the General Systems Theory, that molecules and macromolecules can be considered central unitary systems, which allows us to recognize their character as a whole and, therefore, establish their substantial identity.

Keywords: Molecular biology. Unitary systems. Substantial identity. Holism.

Introducción

El siglo XX experimentó un profundo cuestionamiento del enfoque determinista y lineal gracias al cual las ciencias naturales han logrado explicar muchos aspectos de la realidad material. El progreso técnico detrás de las transformaciones en el mundo material son una prueba de este éxito. Los avances en la ciencia han contribuido a forjar gradualmente una inteligibilidad cada vez más compleja muy superior a la que el conocimiento ordinario nos permite constatar.

La teoría de los sistemas representa un amplio punto de vista que trasciende los problemas y requerimientos tecnológicos y, por tanto, resulta de utilidad en el intento de la comprensión de esta complejidad. Además de ser un campo matemático que ofrece técnicas novedosas y detalladas estrechamente vinculadas a la ciencia de la computación, se presenta también como una reorientación necesaria para la ciencia en general, en todo el conjunto de disciplinas, desde la física y la biología, a las ciencias sociales y hasta la filosofía (BERTALANFFY, 2019, p. VII).

El objetivo central de este trabajo es mostrar que los modelos de las moléculas y macromoléculas presentan un carácter holístico particular ya que éste es una de las propiedades fundamentales que definen a una entidad como un sistema unitario central. Después de describir las propiedades fundamentales de la teoría general de los sistemas, se verificará su aplicabilidad a los sistemas moleculares. Si las características fundamentales de un sistema molecular coinci-

den con las que, en la filosofía tradicional designa como todo (*holon*), entonces la noción de sistema unitario central será equiparable a la de unidad sustancial metafísica (ARTIGAS, 1995, p. 170).

1 La teoría general de los sistemas

1.1 Contexto histórico y científico

La teoría general de los sistemas fue propuesta por primera vez en 1928 por el biólogo alemán Karl Ludwig von Bertalanffy. Surge a partir de consideraciones biológicas, ámbito en el que tienen gran relevancia lo relativo a la organización y a las funciones. “El enfoque mecanicista entonces imperante (...) parecía desdeñar, si no es que negar activamente, lo que es, ni más ni menos, esencial en los fenómenos de la vida” (BERTALANFFY, 2019, p. 10). El objetivo que la investigación biológica debería establecer era descubrir los principios de organización en todos los niveles. Fue la biología la que dio vida a la idea de sistema (MORIN, 1977, p. 98).

La teoría de sistemas surge como una herramienta que podría ser compartida por muchas ciencias distintas. En un sentido amplio, la teoría general de los sistemas se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad. Se caracteriza por su perspectiva holística e

integradora, basada en la interrelación entre los elementos que forman los sistemas (ARNOLD CATHALIFAUD & OSORIO, 1998).

Son numerosos los campos tanto científicos como tecnológicos en los que hoy en día se utiliza esta perspectiva sistémica. Esto tiene como consecuencia que el concepto de sistema pueda ser definido y profundizado de distintas maneras y refleje aspectos diversos de la realidad en consonancia con los objetivos de cada investigación. Para Bertalanffy,

[...] la teoría general de los sistemas representa un nuevo paradigma en el pensamiento científico, una reorientación del pensamiento y la visión del mundo en contraste con el paradigma analítico, mecanicista y unidireccionalmente causal de la ciencia clásica. En definitiva, una "nueva filosofía de la naturaleza (BERTALANFFY, 2019, p. XV).

El concepto de sistema tuvo un gran impacto en el amplio campo de las ciencias en los años 1960-70 con el desarrollo de teorizaciones formalmente matematizadas. "Hace treinta años que enuncié el postulado y lance el término 'teoría de sistemas'. [...] El postulado de una nueva ciencia que yo había presentado se ha convertido en una realidad" (BERTALANFFY, 2019, p. 11).

El impulso inicial de Bertalanffy y otros provocó una intensa reflexión sobre los sistemas materiales y la complejidad en general. La literatura sobre este tema es amplia y está vinculada a otros campos de investigación científica y epistemológica como el de las teorías de la información y su aplicación a la biología molecular. La teoría general de los sistemas ha dado lugar a reflexiones de orden filosófico. Estas intentan formular los problemas generales planteados

por las relaciones entre orden, irreductibilidad y complejidad de lo real (MANFREDI, 2003, p. 189).

Se pueden descubrir en el origen de la teoría general de los sistemas causas tanto de tipo metodológico como epistemológico vinculadas a la evolución de las ciencias. Entre estas cabe mencionar:

- 1) El impresionante crecimiento del conocimiento científico desde hace tres siglos en muchos campos;
- 2) La aparición y diversificación de nuevas disciplinas acompañadas de una profundización del conocimiento respectivo, pero también un desmoronamiento del conocimiento de la naturaleza;
- 3) Una modelización matemática siempre más elaborada con el fin de alcanzar áreas de lo real insospechadas anteriormente. Ésta, sin embargo, se aleja cada vez más de las representaciones habituales e intuitivas del sentido común (BERTALANFFY, 2019, p. 30).

En el conocimiento de la realidad se pueden distinguir al menos dos tendencias principales. La primera, el enfoque analítico o reduccionismo metodológico, que consiste en analizar, recortar lo estudiado y luego reconstituir una presentación, un modelo de la cosa en cuestión, a través de una síntesis teórica abstracta. Este enfoque debe considerarse, en primer lugar, como una simple metodología científica. Si a partir de éste se propone una interpretación más profunda de la realidad entonces tenemos el enfoque filosófico o reduccionismo filosófico, el cual busca explicar un fenómeno complejo reduciéndolo a sus elementos más simples que se supone que están sujetos a una causalidad idéntica

y que puede transponerse al fenómeno estudiado. Este reduccionismo, según J. D. Robert (1979, p. 129), no respeta realmente la pluralidad de niveles de análisis y la especificidad específica de sus respectivos conceptos operativos. El reduccionismo filosófico es realmente reductivo en el sentido fuerte del término. El reduccionismo metodológico, en cambio, admite plenamente la diversidad irreducible de los niveles de análisis e investigación científica. Salvaguarda la pluralidad de tipos de causalidad en el trabajo en las ciencias mientras busca conceptos y principios comunes a diversos niveles.

La segunda tendencia, el globalismo o el holismo, por el contrario, consiste en comprender la cosa directamente en y a través de su globalidad. La considera en lo que tiene inteligible como un todo y, en una primera aproximación, la describe como una unidad específica. Las totalidades no son el resultado de una mera adición o agregación, sino que tienen en cuenta las interrelaciones entre los componentes. El surgimiento de esta segunda tendencia en la cultura científica se considera una reacción al reduccionismo filosófico. La perspectiva analítica, aunque proporciona métodos valiosos indispensables para el conocimiento de la naturaleza, no proporciona una representación adecuada de la realidad pues descompone las totalidades, por lo que debe ser completada con la sintética. La teoría general de los sistemas es un intento de sintetizar los dos modos generales de comprensión de la naturaleza (reduccionismo y holismo) a través de la noción de sistema (ARTIGAS, 1995, p. 163).

2 La finalidad de la teoría de los sistemas

La teoría general de sistemas es, en primer lugar, un intento de unificación de los conocimientos científicos. El alcance de esta teoría está claramente reivindicado por Bertalanffy:

La expresión “teoría general de sistemas” la introdujo el presente autor deliberadamente, en un sentido amplio. Por supuesto, es posible restringirse al sentido “técnico”, desde el punto de vista matemático, como tantas veces se hace, pero esto no parece del todo recomendable, en vista de que abundan los problemas de «sistemas» que requieren una teoría no disponible al presente, todavía, en términos matemáticos (BERTALANFFY, 2019, p. XIII).

La diversidad de disciplinas científicas resulta de la multiplicidad de los objetos de investigación y la pluralidad de su modo de aprehensión. La unificación de los conocimientos de las ciencias implicaría una articulación coherente entre disciplinas diversas y la existencia de una cohesión interna entre ellas. Conceptos, modelos y leyes parecidos surgen una y otra vez en campos muy diversos, de modo independiente y con fundamentos del todo distintos.

No sólo se parecen aspectos y puntos de vista generales en diferentes ciencias; con frecuencia hallamos leyes formalmente idénticas o isomorfas en diferentes campos. (...) Parece que existen leyes generales de sistemas aplicables a cualquier sistema determinado sin importar las propiedades particulares del sistema ni de los elementos participantes (BERTALANFFY, 2019, p. 37).

Bertalanffy pone como ejemplo la aplicación de una ley exponencial de crecimiento tanto a células bacterianas, como a poblaciones de animales o humanos, al progreso de la investigación científica medida por el número de pu-

blicaciones, etc. Bacterias, animales, personas, libros, etc., son completamente diferentes. Se da el caso de que iguales sistemas de ecuaciones se aplican en algunos ámbitos tanto de la fisicoquímica o de la economía. Partiendo de la observación innegable de isomorfismos comunes a campos de conocimiento muy diferentes es posible inferir la existencia de principios válidos para todos los sistemas en general (BERTALANFFY, 2019, p. 33).

Esta similitud constatada por Bertalanffy entre los modelos, principios y leyes de diferentes disciplinas científicas justificaría una teorización que haga abstracción de las condiciones particulares de los dominios respectivos de las ciencias. Por tanto, su objetivo no es simplemente identificar isomorfismos (similitudes) de naturaleza matemática común a varias ciencias y luego aplicarlos a otras, sino reconocer propiedades generales. La observación de la existencia de isomorfismos es solo un medio a través del cual se puede inducir la existencia de propiedades fundamentales no necesariamente matematizadas. Como se verá más adelante, entre estas propiedades fundamentales están totalidad, organización, etc (MANFREDI, 2009, 194).

La pregunta es, entonces, saber qué es isomórfico en todas las ciencias y qué hace que podamos reclamar una teorización unificadora de todo conocimiento. Bertalanffy ya nos ha dado elementos de respuesta. Lo que es similar en todas las ciencias son principalmente formalismos matemáticos, sistemas de ecuaciones, etc. Aunque las definiciones de sistema son numerosas y variadas, al definir sistemas materiales, las formulaciones de naturaleza matemática ocupan un lugar y una función importantes. De hecho, se reconoce que cualquier

modelo matemático de una entidad corporal dada la define como un sistema. La mayor parte del capítulo II de la obra fundamental de Bertalanffy sobre la teoría general de sistemas es una descripción elemental de algunos tipos de sistemas conocidos.

Según Bertalanffy, la teoría general de los sistemas vendría a ser una disciplina lógico-matemática, puramente formal en sí misma pero aplicable a las varias ciencias empíricas con una significación análoga a la que en su momento tuvo la teoría de la probabilidad, que es también una disciplina matemática formal aplicable a ámbitos muy distintos como la termodinámica, la experimentación biológica, la genética, las estadísticas para seguros de vida, etc. (BERTALANFFY, 2019, p. 37).

Los principios en los que se basa la teoría general de los sistemas para unificar el conocimiento científico, hacen que esta teoría tenga como objetivo identificar relaciones matemáticamente isomorfas entre dominios de conocimiento, o encontrar nuevas similitudes matemáticas. La teoría general de los sistemas no está libre del aspecto cuantitativo de la realidad corporal. Además, no pretende trascender esta dimensión cuantitativa, ya que reclama para sí un estado de ciencia positiva, capaz de proponer modos de explicación de naturaleza matemática.

En casos simples, es fácil ver de qué se trata el isomorfismo. La ley exponencial establece, por ejemplo, que, si tenemos una determinada población de cualquier ser, un porcentaje constante de sus elementos desaparece o se multiplica por unidad de tiempo. Por lo tanto, esta ley se aplicará a libras esterlinas

en una cuenta bancaria, así como a átomos de radio, bacterias, moléculas o individuos en una población (BERTALANFFY, 2019, p. 84). Si para Bertalanffy los sistemas pueden encontrar una expresión matemática, sin embargo, no es tanto el formalismo matemático en sí mismo el que está en la base de la teoría, sino más bien su carácter homólogo.

Bertalanffy utiliza este término de homología porque para él las analogías no tienen valor científico. Las homologías, por el contrario, tienen una importancia considerable como modelos conceptuales en la ciencia: “[...] si un objeto es un sistema, debe tener ciertas características de los sistemas, sin importar de qué sistema se trate” (BERTALANFFY, 2019, p. 87). La homología lógica no solo permite el isomorfismo, sino que, proporcionando un modelo conceptual, posibilita la explicación de fenómenos. Son ejemplos la consideración del fluir del calor como el fluir de una sustancia, la comparación de la corriente eléctrica con la de un líquido y, en general, el traslado de la noción hidrodinámica de gradiente a potenciales eléctricos, químicos, etc. Si bien sabemos que no hay tal sustancia calorífica, el calor ha de interpretarse bajo el marco de la teoría cinética. El modelo permite establecer leyes que son formalmente correctas. La homología de características de sistemas no implica reducción de un dominio a otro sino una correspondencia formal fundada en la realidad en la medida en que ésta puede considerarse constituida de sistemas de cualquier tipo.

Sin embargo, podría surgir una objeción: si estos isomorfismos se reducen a iso-formalismos de naturaleza matemática (algebraica o geométrica), la teoría general de los sistemas podría asimilarse a un nuevo enfoque sobre el

modo de hacer un mejor uso de las matemáticas en la resolución de diferentes clases de problemas. Bertalanffy reconoce la objeción y señala que la cuestión no es la simple explicación de expresiones matemáticas sino la consideración de que

[...] los modos clásicos de pensamiento fracasan en el caso de la interacción entre un número grande, pero limitado, de elementos o procesos. Aquí surgen los problemas circunscritos por nociones como las de totalidad, organización y demás, que requieren nuevos modos de pensamiento matemático (BERTALANFFY, 2019, p. 35).

Donde la inteligibilidad no consiste en una simple matematización lineal de lo que es cuantificable y medible.

El objetivo no es tanto proponer nuevos formalismos matemáticos de la propia ciencia matemática, sino formular estos nuevos formalismos principalmente a partir de conceptos no matemáticos como la totalidad u organización. Formular otros modos de cuantificación no es la única finalidad de la teoría general de los sistemas, ya que, si así fuera, el alcance universal que afirma esta teoría (desde la física hasta las ciencias sociales) podría ser cuestionado.

3 La teoría general de los sistemas como explicación última

La idea de una meta-ciencia que proponga una explicación total pero no necesariamente definitiva parece ser el fundamento de la teoría general de los sistemas. El objetivo de estudiar lo que para Bertalanffy pertenecía a la metafísi-

ca, las totalidades, manifiesta el proyecto de elaborar una explicación última que las ciencias particulares no pueden proporcionar. Bertalanffy reivindica para la teoría general de los sistemas esta capacidad de formular una explicación meta-científica que por ser unificadora tendría un carácter definitivo. Sin embargo, este proyecto de explicación última no significa abandonar, como ya se ha señalado, el enfoque matemático formal de las ciencias particulares (MANFREDI, 2003, p. 201).

La teoría general de los sistemas es la exploración científica de “todos” y “totalidades” que no hace tanto se consideraban nociones metafísicas que salían de las lindes de la ciencia. Para vérselas con ello han surgido novedosas concepciones, modelos y campos matemáticos, como la teoría dinámica de sistemas, la cibernética, la teoría de los autómatas. El análisis de sistemas merced a las teorías de los conjuntos, las redes y las gráficas, y así sucesivamente (BERTALANFFY, 2019, p. XIV).

¿Buscaría, entonces, la teoría general de sistemas los principios últimos de los diversos aspectos de la realidad estudiados por las ciencias? ¿Es posible proponer principios fundamentales para toda la realidad considerada como "totalidad" desde un punto de vista particular de estas realidades y no de estas realidades en cuanto tales? La idea de desarrollar una filosofía propiamente dicha no parece haber sido claramente esbozada por Bertalanffy quien fluctúa entre la atracción de un ideal de formalización matemática precisa —ideal proyectado como una solución definitiva para reemplazar la filosofía— y una apertura universal, basada en principios más generales.

Hablando filosóficamente, la teoría general de los sistemas, en su forma desarrollada, reemplazaría lo que se conoce como “teoría de las

categorias" (N. Hartmann, 1942) por un sistema exacto de leyes lógico-matemáticas. Nociones generales aun expresadas en la lengua común y corriente adquirirían la expresión exacta posible sólo en lenguaje matemático" (BERTALANFFY, 2019, p. 89).

Bajo la influencia de Bertalanffy, P. Laszlo ha sido uno de los autores que se ha dedicado a desarrollar una filosofía de sistemas, es decir, una filosofía que toma como modelo la teoría general de los sistemas. Según Laszlo, la filosofía de los sistemas evitaría las trampas y dificultades que presentan la mayoría de las especulaciones filosóficas, tanto tradicionales como contemporáneas, a la vez que permite salir de los estrechos límites donde el movimiento analítico y sus diversas expresiones han confinado a la filosofía (LASZLO, 1972, p. 129-30). De una manera similar a la de la teoría general de los sistemas que asigna límites conceptuales dentro de los cuales trabajan los científicos de disciplinas muy diferentes, del mismo modo la filosofía de los sistemas ofrece un marco conceptual que permitiría vincular sistemáticamente problemas filosóficos extremadamente diferentes y estos problemas con otros de naturaleza no filosófica.

La filosofía de los sistemas, tal como la concibe Lazlo, aspira a ser una filosofía abierta en la medida en que los marcos conceptuales marcados por esta filosofía son lo suficientemente grandes como para vincular los nuevos desarrollos en las ciencias, en la experiencia humana de los valores, creencias, y en el pensamiento filosófico. Es esta misma preocupación por la apertura para garantizar el enfoque conceptual más amplio posible que ya encontramos en Bertalanffy (2019, p. 18). A diferencia de la vieja metafísica inductivista, la filosofía de los sistemas no sería una simple acumulación y racionalización de los resultados extraídos de las ciencias sino una ontología y una fuente de leyes y princi-

pios generales de la organización en cuanto tal (FERRATER MORA, 1990, p. 1916).

Laszlo distingue entre la teoría general de sistemas que es una metodología aplicable a cualquier empresa cognitiva y la filosofía de sistemas que es propiamente filosófica. Por lo tanto, aparentemente hay dos clases de marcos conceptuales, estrechamente relacionados entre sí, el de la metodología y el de la filosofía. El primero es anterior al segundo, pero el segundo puede en su conjunto establecer relaciones sistémicas que habrían escapado al primero. El marco conceptual propuesto por Laszlo se refiere al sistema mismo de la filosofía de los sistemas, a su estructura ontológica, para los diferentes niveles de realidad, para las formas de conocimiento, para la acción humana libre, para valores éticos e imperativos y para preguntas metafísicas (FERRATER MORA, 1990, p. 1916-7).

Hay que decir que estos marcos conceptuales están delimitados por la naturaleza misma de los problemas que enfrentan, por los diversos aspectos de la realidad y su conocimiento. En cada caso hay un sistema interpretativo. Estos sistemas de interpretaciones funcionan como unidades que se trata de poner en relación o de conjugarlas de tal manera que se evite tomar parte en tal o cual posición filosófica. Las posiciones filosóficas tradicionalmente opuestas podrían interpretarse como complementarias en el contexto superior de la interpretación sistémica. Ninguno de los sistemas de interpretación puede considerarse como la base desde la cual sería posible explicar o interpretar todos los demás. En otras palabras, la filosofía de los sistemas negaría cualquier prioridad que sea

fundamental para una pregunta o tipo de conocimiento (MANFREDI, 2003, p. 207).

¿Es la teoría de sistemas una filosofía? Aunque Bertalanffy no lo afirma, propone, con la ayuda de esta ciencia general, hacer inteligible la “totalidad”, es decir, formular principios válidos que puedan dar una explicación a sistemas de varios ordenes (problemas de organización, interacciones dinámicas, etc.) no comprensibles por investigación de sus respectivas partes aisladas (BERTALANFFY, 2019, p. 37).

De todos modos, es posible preguntarse: ¿qué es básicamente un sistema? ¿Podemos encontrar en el concepto de sistema entendido como organización, como totalidad, los elementos de inteligibilidad que permitan un modo más filosófico de interpretación de la realidad material? Para responder a esta pregunta es necesario evaluar el alcance filosófico de las características fundamentales que definen un sistema natural.

4 La noción de sistema

Cuando L. von Bertalanffy busca definir qué es un sistema, comienza dándonos ejemplos y clasificándolos en tres categorías:

Que haya de definirse y de describirse como sistema no es cosa que tenga respuesta evidente o trivial. Se convendrá en que una galaxia, un perro, una célula y un átomo son *sistemas reales*, esto es, entidades percibidas en la observación o inferidas de ésta, y que existen independientemente del observador. Por otro lado, están los *sistemas con-*

ceptuales, como la lógica, las matemáticas, (pero incluyendo p. ej. también la música) que son ante todo construcciones simbólicas, con *sistemas abstraídos* (ciencia) como subclase de las últimas, es decir, sistemas conceptuales correspondientes a la realidad (BERTALANFFY, 2019, p. XV-XVI).

La posición epistemológica de Bertalanffy parece ser la del realismo clásico aceptado en el mundo de las ciencias naturales.

5 Definición del concepto de sistema

El sistema puede definirse como una interrelación de elementos que constituyen una entidad o unidad global. De hecho, la mayor parte de las definiciones de sistema reconocen estos dos rasgos esenciales poniendo el acento o en la globalidad (totalidad), o en relación.

Las definiciones más interesantes unen el carácter global y el rasgo relacional: “un sistema es un conjunto de unidades en interrelaciones mutuas (...) (Bertalanffy, 1956)”, “es la unidad resultante de las partes en mutua relación” (Ackoff, 1960), es “un todo (*whole*) que funciona como todo en virtud de los elementos (*parts*) que lo constituyen (Rapport, 1969)” (MORIN, 1999, p. 124).

Una definición particularmente bien articulada es la de F. Saussure quien considera que el sistema “es una totalidad organizada hecha de elementos solidarios que no pueden ser definidos más que los unos con relación a los otros en función de su lugar en esa totalidad”, pues hace surgir el concepto de organización uniéndolo al de totalidad y al de interrelación.

En un sistema se da un conjunto de unidades interrelacionadas de tal manera que el comportamiento de cada parte depende del estado de las otras, pues todas se encuentran en una estructura que las interconecta. Como resultado surgen en los sistemas características realmente nuevas, propiedades emergentes que no existían en los componentes (ARTIGAS, 1995, p. 163).

Mientras que en un pasado relativamente reciente la ciencia se ocupaba de reducir los fenómenos a la interacción entre sus partes elementales, hoy el énfasis se coloca en las nociones de totalidad, jerarquía y finalidad, en problemas de organización, en relaciones que surgen en la totalidad y que no son manifiestas en el comportamiento de las partes, en las propiedades emergentes, en la importancia de las estructuras, de la organización. Esto sugiere la existencia de modelos, principios generales y leyes que se aplican a todos los sistemas independientemente de la naturaleza de las entidades que los conforman, del carácter de las fuerzas que interactúan y del tipo de relaciones que se establecen. (RAMÍREZ, 1999, p. 26).

6 Características fundamentales de los sistemas

De todas las definiciones propuestas, parecería surgir principalmente la idea de disposición y estructuración, pero esta característica fundamental no es la única. Para definir las propiedades fundamentales y generales de cualquier

sistema, Bertalanffy comienza desde la noción más genérica atribuible a una entidad material, la de complejo.

Puede definirse la sumatividad diciendo que es posible constituir paso a paso un complejo juntando los elementos primeros separados; a la inversa, las características del complejo pueden ser analizadas completamente en las de los elementos separados (BERTALANFFY, 2019, p. 65).

Sin embargo, esta noción de complejo significa algo más que una simple agregación. Es cierto que, en cualquier agregación material, la noción de orden está presente si se entiende por orden una disposición determinada. La idea de un complejo se refiere a un *orden construido* dado que se produce una determinada operación (del hombre o de la naturaleza); la operación de sumatoria. En consecuencia, se puede hacer una distinción entre agregación y complejo, complejo por el cual una cierta intencionalidad (proyecto humano) o, al menos, la direccionalidad operativa (proceso natural) entra en su constitución. Por ejemplo, ciertos procesos de cristalización de compuestos orgánicos producen complejos. Es a partir de esta noción genérica básica de complejo que el autor especifica la de sistema. Los conceptos de totalidad, suma, mecanización y centralización “han sido tomados a menudo como descripciones características de seres vivos nada más, o incluso como pruebas de vitalismo. La verdad es que son propiedades formales de los sistemas” (BERTALANFFY, 2019, p. 68).

Bertalanffy parece vincular el carácter fundamental de estas propiedades con el de la forma. La pregunta es saber que entiende él por propiedades formales. Si la sumativa es el principio explicativo de un complejo construido paso a

paso, al agregar un elemento tras otro, ¿cuál sería la forma para los llamados sistemas complejos? El autor define la idea de las propiedades formales representadas en alemán por el término *Gestalt* que en alemán significa figura, forma. El verbo *Gestalten* traduce la idea de dar forma, modelar la forma. Bertalanffy reconoce la influencia de esta corriente filosófica en la constitución en la génesis de la teoría de sistemas (BERTALANFFY, 2019, p.10).

Según la perspectiva de la teoría los de sistemas las nociones de 1) desestructuración, 2) organización, 3) emergencia, 4) holismo, 5) direccionalidad, 6) centralidad y 7) niveles jerarquizados, son de fundamental importancia. Se trata de una concepción *holística*, es decir, que se refiere a algo que es un todo o una totalidad (ARTIGAS, 1995, p. 163-4).

Cada una de estas características esenciales y todas tomadas en su conjunto están correlacionadas, de alguna manera, con el aspecto dinámico del sistema material considerado. Explicar el significado que se debe dar a estas características fundamentales es también clasificar las diferentes modalidades a través de las cuales se manifiesta el dinamismo de la entidad del cuerpo en cuestión.

7 La dimensión estructural

El holismo destaca la importancia de las estructuras pues éstas expresan el carácter sistémico, holístico y sintético de los objetos. La teoría general de los

sistemas define que el sistema tiene un mayor grado de estructura y complejidad que el de sus partes. Tiene propiedades que son irreducibles a las de los componentes, irreductibilidad que debe atribuirse a la presencia de las relaciones que los unen. Los químicos hablan sobre enlaces o interacciones, Morin (1999, p. 118) de interrelaciones. Se asume una relación de similitud entre el fenómeno y el modelo a nivel de la estructuración de los elementos materiales constitutivos, de modo que se pueda esperar y utilizar de manera predictiva una semejanza con el comportamiento.

Bertalanffy propuso una teoría unitaria basada en el isomorfismo de estas similitudes. Dentro de ciertos límites, esta semejanza será posible mediante el establecimiento de las mismas leyes matemáticas y para los fenómenos que se describirán y para el modelo descriptivo.

En general, las descripciones matemáticas formales de las entidades materiales se pueden agrupar al menos en dos categorías. 1) En la primera categoría, los complejos materiales se describen bajo sus aspectos dinámicos, posiblemente interactuando con el exterior. El formalismo matemático adoptado es generalmente de naturaleza algebraica. Con mayor frecuencia son sistemas de ecuaciones diferenciales de variables fundamentales en física clásica (distancia, masa, tiempo) o sistemas de ecuaciones de funciones de variables. Los operadores (Laplacianos, Hamiltonianos, etc.) se aplican a las funciones de variables simples, que, en cierto modo, son funciones de funciones. 2) A esta formalización algebraica a menudo puede corresponder incluso si es aproximada, una formalización geométrica que opera una objetivación espacial del complejo material. La modelización molecular utiliza ambos formalismos. El modelo molecular se calcula algebraicamente, pero también y sobre todo se objetiva espacialmente. Esta objetivación es especialmente importante en química y bioquímica (MANFREDI, 2003, p. 218).

La noción de estructura sugiere una ordenación jerarquizada de elementos. Pero hay tantos órdenes como principios de orden. Algunos de ellos pueden aplicarse mejor a las realidades físicas y otros a realidades de otro orden. Así pues, la hablar de estructura hay que referirse simultáneamente a las operaciones del espíritu y a la naturaleza misma de las cosas físicas. Si nos referimos a las operaciones del espíritu, las estructuras son instrumentos de conocimiento que permiten hacer inteligibles las situaciones físicas u otras distintas. Es el caso, por ejemplo, de la matemática moderna y de la lógica axiomatizada que muestran estructuras posibles teniendo en cuenta que éstas han de estar avaladas por la experiencia concreta. Las estructuras de tipo biológico, físico, sociológico, psicológico, etc., son muy discutibles dado los puntos de vista hipotéticos que adoptan los científicos (CRUZ-CRUZ, 1972, p. 37).

En un sentido general, la idea de estructura evoca una unidad organizada que comprende los elementos constitutivos y las relaciones que los unen. La estructura pone en juego elementos múltiples y sus relaciones, pero a quién se asigna una unidad es al conjunto. La noción de estructura es fundamental porque permite vislumbrar la noción de unidad jerárquica.

La caracterización moderna de las entidades naturales da especialmente relevancia al dinamismo que se extiende a todos los niveles (desde el biológico hasta el físico-químico y el microfísico) formando en cada uno de ellos sistemas que poseen una complejidad estructural. El dinamismo contiene información que se almacena en estructuras espaciales que, a su vez, son fuente de nuevos tipos de dinamismo. La estructuración se convierte así en una característica fun-

damental y el progreso científico procura un conocimiento cada vez más amplio y profundo de las estructuras naturales (ARTIGAS, 1995, p. 35-6).

La existencia de estructuras se relaciona con las pautas o patrones que tienen su propia consistencia aunque cambien los componentes materiales.

El término inglés *pattern* designa la configuración pero, más que en cuanto *reconocible*, en cuanto *reproducible*. *Pattern* es la forma inglesa de la palabra española *patrón* (derivadas ambas de la palabra *pater*) y designa el modelo a partir del cual se puede producir o reproducir tantas veces como se quiera la misma configuración (ARTIGAS, 1995, p. 45).

Las pautas, de hecho, son estructuras repetibles que pueden referirse al espacio, y entonces suelen llamarse configuraciones, o también al tiempo, y entonces se llaman ritmos. La ciencia dedica especial atención a las configuraciones, pero es fácil advertir también la importancia de los ritmos en la investigación científica. Las pautas se encuentran estrechamente relacionadas con el antiguo concepto de forma, que se utilizaba para designar los modos de ser de las diferentes entidades. De un modo u otro, el concepto de forma continúa estando presente en el desarrollo de la ciencia empírica (ARTIGAS, 2000, p. 141).

8 El sistema en tanto que organización

La estructuración de un sistema se relaciona con la organización. El término orgánico proviene del griego *ergon* que significa trabajo, *organon* significa instrumento. En latín *organicus* significa organizar armoniosamente. Este con-

cepto de organización se aplica, por ejemplo, al cuerpo vivo y a sus partes que constituyen los órganos capaces de cumplir una función determinada. Para Bertalanffy:

la biología, a la luz mecanicista, veía su meta en la fragmentación de los fenómenos vitales en entidades atómicas y procesos parciales. El organismo vivo era descompuesto en células, sus actividades en procesos fisiológicos y por último en físico químicos, el comportamiento en reflejos condicionados y no condicionados, el sustrato de la herencia en genes discretos, y así sucesivamente. En cambio, la concepción organísmica es básica para la biología moderna. Es necesario estudiar no sólo partes y procesos aislados, sino también resolver los problemas decisivos hallados en la organización y el orden que los unifican, resultantes de la interacción dinámica de las partes y que hacen diferente el comportamiento de éstas cuando se estudian aisladas o dentro del todo (BERTALANFFY, 2019, p. 31).

Autores como Morin han intentado profundizar en la cuestión de la complejidad de lo real tematizado por la teoría general de los sistemas, introduciendo la noción de organización. “Ahora sabemos que lo que la física antigua concibió como un elemento simple es la organización” (MORIN, 1999, p. 94). Le debemos Bertalanffy en particular y a la teoría general de los sistemas en general haber otorgado relevancia y universalidad al concepto de sistema, de haber considerado el sistema como un todo no reducible a las partes.

¿Qué es la organización? En una primera definición, la organización es la disposición de las relaciones entre componentes o individuos que produce una unidad compleja o sistema, dotado de cualidades desconocidas en el nivel de componentes o individuos. Esta noción de organización intenta expresar lo que la noción de estructura no puede explicar en términos de la naturaleza dinámica de la unidad de un sistema material.

La organización es una noción más compleja y rica que la de estructura. Por lo tanto, ni el sistema fenoménico (el todo como un todo, sus propiedades emergentes), ni la organización en su complejidad pueden reducirse a reglas estructurales (MORIN, 1995, p. 133).

El carácter fenoménico y global que toman las interrelaciones y su disposición constituyen la organización del sistema. Toda interrelación dotada de cierta regularidad o estabilidad produce un sistema debido a su carácter organizacional. Y, aunque hay cierta circularidad entre los términos interrelación, organización y sistema, los tres son relativamente distinguibles. La idea de interrelación hace referencia a los modos y formas de unión entre elementos o individuos y entre estos y el todo. La idea de sistema remite a los caracteres y propiedades fenoménicas del todo relacionado y su unidad compleja. Finalmente, la idea de organización alude a la disposición de las partes dentro, en y por un todo (MORIN, 1999, p. 127). La organización es el concepto clave que vincula la idea de interrelación con la idea de sistema.

La organización es al mismo tiempo el principio de orden que asegura la permanencia. La permanencia en el ser de átomos, moléculas, macro-moléculas, etc. no corresponde a la inercia sino a la organización activa. La organización mantiene la permanencia del sistema en su forma (*Gestalt*), su existencia, su identidad. Como principio, la organización sería, por lo tanto, una determinación primaria. Por consiguiente, podemos decir que, si el concepto de estructura expresa más particularmente la idea de orden, de disposición definida, el de organización indicaría la idea de un todo permanente e integrado. La organiza-

ción sería lo que hace que un todo se mantenga dinámicamente en su integridad (MORIN, 1999, p. 130-1).

9 Propiedades propias del sistema o propiedades emergentes

Se puede llamar emergencias a las cualidades o propiedades de un sistema que presentan un carácter de novedad con relación a las cualidades o propiedades de los componentes considerados aisladamente o dispuestos de forma diferente en otro tipo de sistema (MORIN, 1999, p. 129-30).

La teoría de los sistemas afirma la existencia de las llamadas propiedades emergentes. No solo hay propiedades aditivas que son el resultado o efecto de la simple agregación de las propiedades respectivas de los componentes iniciales, sino también nuevas propiedades que son el resultado de las interacciones entre estos componentes. Estas interacciones darían lugar a niveles entitativos cualitativamente diferentes que deben estudiarse de acuerdo con sus propias leyes (ARTIGAS, 1995, p. 165).

Actualmente estamos en condiciones de afirmar que en diferentes niveles de la naturaleza hay sistemas que no pueden reducirse a una simple yuxtaposición de los compuestos que los forman, que estos sistemas ya tienen propiedades que no se encuentran en sus componentes y que existe un dinamismo y una estructura que es específica del sistema considerado como tal (ARTIGAS, 1995, p. 171).

La emergencia es una cualidad que aparece no solamente a nivel global sino eventualmente también a nivel de los componentes. Las cualidades inhe-

rentes a las partes en el seno de un sistema o son virtuales o están ausentes cuando estas partes se encuentran aisladas y no pueden ser adquiridas y desarrolladas más que por el todo y en el todo.

La emergencia es irreductible fenoménicamente y no deducible lógicamente. Esto quiere decir que la emergencia se impone como un hecho, como un dato fenoménico que el entendimiento puede constatar. Por ejemplo:

[...] las propiedades nuevas que surgen en el nivel de la célula no son deducibles de las moléculas consideradas en sí mismas. Incluso cuando se la puede predecir a partir del conocimiento de las condiciones de su surgimiento, la emergencia constituye un salto lógico que permite captar la irreductibilidad de lo real (MORIN, 1999, p. 132).

La noción de emergencia está relacionada con el carácter realmente irreductible de los sistemas materiales estudiados por los químicos y bioquímicos. La molécula de hidrógeno, por ejemplo, es la de un gas más liviano que el aire y altamente inflamable, mientras que el agua, a la misma temperatura y presión, es un líquido que el hombre usa comúnmente para extinguir incendios. Estas propiedades cambian radicalmente y no tienen nada que ver unas con otras. Nos enfrentamos a una nueva realidad. Estas propiedades emergentes del agua comprometen a todos los componentes de esta molécula. En el agua ya no hay espacio para la extrema inflamabilidad del hidrógeno. La bioquímica nos enseña que las macromoléculas biológicas dan lugar, bajo ciertas condiciones, a fenómenos llamados de repliegue de sus estructuras adoptando así una conformación global determinada susceptible de interactuar de un modo muy concreto con otras especies.

La estructura principal de un ácido nucleico o de una proteína corresponden respectivamente a la secuencia de nucleótidos o de aminoácidos. Toda la información genética se encuentra en las estructuras primarias de los ácidos nucleicos; la estructura primaria de las proteínas resulta de la expresión de esta información. (...) Una estructura local estable resultante de restricciones estereoquímicas en un polipéptido o cadena de ácido nucleico corresponde a la estructura secundaria. (...) La estructura terciaria de una macromolécula describe su arquitectura tridimensional completa. La estructura cuaternaria corresponde a la arquitectura de varias macromoléculas que forman un complejo (MANFREDI, 2003, p. 230).

Las llamadas estructuras terciarias de repliegue de las proteínas son de tal complejidad que es prácticamente imposible prever sus propiedades emergentes a través de una resolución teórica. Los bioquímicos se ven obligados a identificar leyes específicas a nivel de la organización de las macromoléculas. Estas leyes serían lógicamente no deducibles en principio, no solamente para los elementos atómicos distantes (C, H, N) sino también para los elementos moleculares cercanos como son los diferentes aminoácidos. Podemos entonces afirmar que el conocimiento de naturaleza empírica es indispensable en cada nivel de organización molecular. Sin embargo, si los químicos y bioquímicos son contrarios a desarrollar un conocimiento empírico particular, respectivo a cada uno de los niveles sucesivos, esto significa que nos encontramos delante de niveles de realidad de naturaleza diferente, irreductibles los unos en relación con los otros.

En términos generales, podemos ver que las leyes del nivel inferior son necesarias, pero no son suficientes para iluminarnos sobre lo que está sucediendo en el nivel superior. El dinamismo del nivel inferior es como absorbido por

la complejidad estructural del nivel superior. Estamos presenciando un proceso de integración de un dinamismo más simple en una organización molecular más compleja.

En resumen, por propiedades emergentes queremos significar la aparición de nuevas cualidades en comparación con los componentes del sistema molecular o macromolecular. Por lo tanto, una propiedad emergente tiene la virtud de un evento, ya que surge de forma discontinua una vez que el sistema está constituido. Por supuesto, tiene el carácter de irreductibilidad, es una cualidad que no puede descomponerse y que no puede deducirse de elementos anteriores. La emergencia se impone como un hecho, como fenómeno dado que el entendimiento debe constatar, observar y medir si es posible (MANFREDI, 2003, p. 232-3).

10 Existencia de distintos niveles de organización

La teoría de sistemas otorga gran importancia a la existencia de niveles de jerarquizados de organización. Según la teoría, existen diferentes niveles de sistemas:

La realidad concebida de un modo nuevo, se presenta como un tremendo orden jerárquico de entidades organizadas que va, en superposición de numerosos niveles, de los sistemas físicos y químicos a los biológicos y sociológicos (BERTALANFFY, 2019, p. 90).

Aun teniendo una autonomía relativa, los sistemas están vinculados, de tal manera que los niveles inferiores se integran en los niveles superiores. En los niveles superiores existen propiedades emergentes que no se dan en los inferiores.

No resulta adecuado, por tanto, un reduccionismo que considere a los sistemas superiores como una mera agregación de los sistemas inferiores. Cada nivel debe ser estudiado de acuerdo con sus características propias.

Actualmente, la físicoquímica ha adquirido el nivel de conocimiento suficiente para analizar las entidades químicas y llegar hasta el componente más elemental que las constituye, o sintetizar dichas entidades para ascender a niveles más complejos de organización. Desde un nivel entitativo dado, por ejemplo, el de una entidad molecular, un aminoácido, podemos describir los niveles entitativos inmediatamente inferiores o superiores ya sea yendo hacia abajo o hacia arriba.

11 El dinamismo direccional de los sistemas o finalidad

La teoría de sistemas subraya que la finalidad es una característica de las totalidades orgánicas. Los sistemas son el resultado de tendencias que manifiestan un comportamiento teleológico. La teoría general de los sistemas subraya las funciones de las partes en el todo y en relación con otras, es decir, las relaciones funcionales que son características de los sistemas organizados.

Bertalanffy distingue diferentes tipos de finalidad. La teleología estática o adecuación, significando que una disposición parece útil para un determinado propósito. La teleología dinámica, significando una orientación de procesos; es decir: la dirección de acontecimientos hacia un estado final que puede ser expresado como si el presente comportamiento dependiera del estado final. Finalmente, lo que denomina el movimiento basado en la estructura, denotando que una disposición estructural conduce el proceso, de tal suerte que se logra un resultado determinado. Bertalanffy propone, además, el concepto de equifinalidad en el que considera que se puede lograr el mismo resultado final desde diferentes condiciones iniciales y por diferentes vías. Esto es lo que se encuentra en los sistemas abiertos (sistemas que intercambian energía y / o materia con el exterior), si alcanzan un estado estable (BERTALANFFY, 2019, p. 80-1).

12 Los sistemas unitarios centrales y las entidades naturales

En la Naturaleza existe una gran variedad de entidades que pueden ser denominadas naturales, en cuanto son el resultado de procesos naturales. En un sentido amplio, todas podrían ser denominadas sistemas, si por sistema se entiende una mera combinación de elementos heterogéneos que forman una unidad. Sin embargo, se reserva el nombre de sistema para designar a aquellas entidades a las que pueden aplicarse las características señaladas por la teoría general de los sistemas, a saber: holismo, estructuración, organización, emergen-

cia, direccionalidad. Entre los sistemas unitarios, existen algunos que poseen una unidad especial tanto en el aspecto dinámico como en el estructural. Se denominan sistemas centrales porque tienen en sí mismos como un centro que atrae a los componentes hacia la unidad y porque desempeñan una función central en cuanto que en ellos se articulan el dinamismo y la estructuración (ARTIGAS, 1995, p. 168).

Los sistemas centrales tienen características particulares por lo que se refiere tanto a sus dimensiones internas como a su actividad. No son entidades amorfas, sino que poseen un dinamismo propio que se despliega siguiendo pautas definidas; poseen virtualidades y tendencias propias. En ellos se da un funcionalismo o cooperatividad de las partes; sus componentes desempeñan funciones que hacen posible la existencia del todo y contribuyen a su actividad.

Para distinguir las agregaciones de los sistemas naturales N. Hartmann (1960, p. 512-3) ha acuñado el término predeterminación central, equilibrio dinámico interno del que resulta su unidad y que destaca la función que estos sistemas desempeñan como centros de dinamismo y estructuración. A diferencia de las agregaciones que no tienen una unidad dinámica propia, las entidades naturales poseen esta unidad que denomina complejo dinámico definiéndolo como “aquella formación natural que tiene su interior ‘dentro de sí’. Por eso es una formación independiente, por eso es su límite el límite esencial peculiar en él, y por eso es su totalidad una unidad natural dinámicamente sustentada” (HARTMANN, 1960, p. 517). Esta predeterminación central se encuentra tanto

en el nivel orgánico como en el inorgánico, pues se da en todas las totalidades naturales que presentan una cierta independencia.

En la actualidad estamos en condiciones de afirmar que en los diferentes niveles de la naturaleza existen sistemas que poseen propiedades que no se encuentran en sus componentes y que, además, poseen un dinamismo y estructuración que son propias al sistema como tal. En estos sistemas los componentes cambian como resultado de sus interacciones generando novedades estructurales y dinámicas que, a su vez, forman nuevos patrones estructurales. Suele aceptarse, como un hecho, que en muchos sistemas se dan novedades que no se reducen a la mera yuxtaposición de los componentes de lo que resulta una emergencia de nuevas características (ARTIGAS, 1995, p. 171).

Para que afirmar la existencia de un sistema central es necesario que se cumplan dos condiciones: la individualidad y la unidad. La individualidad se refiere a cierto grado de independencia que se manifiesta en poseer dinamismo y estructuración propios. La unidad, que también se manifiesta tanto en el dinamismo como en la estructuración, se refiere a la integración efectiva de los componentes en el sistema: holismo y cooperatividad.

La existencia de sistemas centrales no es exclusiva del nivel biológico, sino que se da en muchas entidades de otros niveles, aunque en diferente grado. En el nivel microfísico, los núcleos, los átomos y las moléculas poseen una estructuración y dinamismo propios, unitarios y diferentes de lo que resultaría de una mera agregación. Del mismo modo, aunque la estructura de las moléculas se representa mediante los enlaces químicos que unen a los átomos entre sí,

los sistemas químicos no se explican mediante meras interacciones externas de sus componentes, sino que poseen aspectos holísticos y direccionales propios. La noción de sistema central puede aplicarse, por tanto, tanto a las entidades microfísicas (átomos, moléculas, macromoléculas) como a las sustancias químicas formadas por átomos que constituyen una unidad estructural y dinámica unitaria, y a los vivientes (ARTIGAS, 1995, p. 174-5).

Para una concepción realista, la inteligibilidad de la naturaleza se centra en torno a las formas propias de las entidades naturales. La explicación de la naturaleza mediante el concepto de forma se relaciona con el problema de la composición y estructuración de la materia. Uno de los méritos del conocimiento científico ha consistido en proporcionar conocimientos auténticos sobre estos problemas, conocimientos que corresponden, en gran medida, a las ideas clásicas de causa material y causa formal.

La causa material y la causa formal expresan los principios intrínsecos de las entidades naturales. La causa material se refiere a aquello de lo que algo está hecho, es decir, a los componentes de los sistemas naturales. La causa formal se refiere al modo de ser de las entidades. La existencia de componentes no ha sido puesto en duda, lo que entró en crisis a raíz del mecanicismo y del funcionalismo de la ciencia matemática (centrado en la búsqueda de leyes cuantitativas) fue la idea de forma. El concepto de forma no es un concepto operacional semejante a las magnitudes de la ciencia experimental, sino que se refiere al modo de ser de las entidades naturales (ARTIGAS, 1995, p. 337).

El concepto de forma resulta muy adecuado cuando se pretende reflejar la realidad de modo completo. Precisamente porque no es un término operacional, se refiere a al modo de ser al que corresponden las propiedades particulares y no a una serie de operaciones teóricas o experimentales concretas. El estudio de estas propiedades no tendría sentido si éstas no correspondiesen a los modos de ser de las entidades naturales. Por eso, solo resulta legítimo hablar de formas cuando nos referimos a sustancias naturales. ¿Podemos afirmar que las entidades científicas corresponden a sustancias naturales? Como hemos visto la noción de sustancia corresponde a lo que denominamos sistemas centrales que poseen un dinamismo y estructuración unitarios. Los estudios científicos ponen de manifiesto que los átomos, las moléculas y las sustancias químicas son entidades naturales que pueden ser considerados sistemas centrales genuinos.

Conclusiones

La teoría general de los sistemas sostiene una visión ontológica holística, emergentista y estructuralista que posibilita el estudio sistémico de las entidades naturales. Las entidades naturales estudiadas por la química y la bioquímica poseen dinamos particulares y estructuración propia. Estos dinamos confluyen en la producción de un resultado unitario. Las moléculas y macromoléculas objetos de estudio de la química y la bioquímica no son complejos mate-

riales en donde los componentes se encuentran simplemente situados unos en relación con los otros.

Gracias a la explicación de ciertos conceptos fundamentales de la química molecular y macromolecular se puede justificar que las entidades químicas y bioquímicas constituyen sistemas materiales unitarios centrales. El carácter holístico de los sistemas materiales en química y bioquímica tiene una explicación unitaria de orden causal que justifica su carácter de totalidad.

El modo de ser de los sistemas centrales corresponde al concepto de forma. Estos sistemas son centros de dinamismo y estructuración y poseen un modo de ser unitario con características holísticas que no se encuentran en sus componentes.

Referencias

ARNOLD CATHALIFAUD, M. & OSORIO, F. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de Moebio*, n. 3, abril de 1998. Disponible en: <https://www.ewdalyc.org/articulo.oa?id=10100306>. Consultada el 10 de abril de 2020].

ARTIGAS, M. *La inteligibilidad de la naturaleza*. Pamplona: EUNSA, 1995.

ARTIGAS, M. *La mente del universo*. Pamplona: EUNSA, 2000.

CRUZ-CRUZ, J. *Filosofía de la Estructura*. Pamplona: EUNSA, 1967.

FERRATER-MORA, J. *Lazlo Erwin*. Diccionario de filosofía. Madrid: Alianza, 1990, v. 3.

HARTMANN, N. *Ontología IV*. Filosofía de la naturaleza. Teoría especial de las categorías. México: F.C.E., 1960, vol. I (Categorías dimensionales. Categorías cosmológicas).

LASZLO, E. The case for systems philosophy. *Metaphilosophy*, v. 3, n. 2, p. 123-141, abril 1972.

MANFREDI, A. *Le caractère holistique des systèmes matériels en chimie moléculaire*: Roma: PUSC, 2003. Tesis de Doctorado.

MORIN, E. *El Método (I)*. La naturaleza de la Naturaleza. Madrid: Ediciones Cátedra, 1999.

PARISI, G. Fisica dei sistema complessi. *Enciclopedia del Novecento*, v. 11, Supl., 1998. Disponible en: http://www.treccani.it/enciclopedia/sistemi-complessi-fisica-dei_%28Enciclopedia-del-Novecento%29/. Consultada el 11 de abril de 2020.

RAMIREZ, S. (coord.). *Perspectivas en las teorías de sistemas*. México: UNAM, 1999.

ROBERT, J. D. Actualité du réductionnisme?, *Archives de Philosophie*, v. 42, n. 1, p. 127-144, janvier-mars 1979.

VON BERTALANFFY, L. *Teoría general de los sistemas*: México: F.C.E., 2019.



Esta obra está licenciada sob a licença [Creative Commons Atribuição – Não Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).