

UN ANÁLISIS ONTOLÓGICO DE LA COMPLEJIDAD

AN ONTOLOGICAL ANALYSIS OF COMPLEXITY

Pablo López Mezo^{a}*

Fechas de recepción y aceptación: 18 de julio de 2018 y 24 de septiembre de 2019

Resumen: Los fenómenos que suelen asociarse con los sistemas complejos, como la emergencia o la autorregulación, parecen estar envueltos en cierta oscuridad. En primer lugar, las definiciones ofrecidas tienden a ser demasiado generales e inclusivas. En segundo lugar, no se suele aclarar el estatuto de este tipo de fenómenos: si son enteramente debidos al sujeto, o si poseen partes esenciales no reducibles a ningún otro fenómeno. El presente artículo analiza, desde el punto de vista de los sistemas complejos, las nociones de emergencia y autorregulación. Se discuten los principales problemas que estas presentan y se perfilan algunas soluciones que podrían usarse de cara a elaborar una ontología de los sistemas complejos. Haciendo uso de estas soluciones, se proponen algunas definiciones de los principales fenómenos que componen un sistema complejo para, finalmente, ofrecer una definición de este tipo de sistema. Estas definiciones y soluciones se elaboran mediante el uso de herramientas filosóficas tales como la mereología o la teoría de la fundamentación.

Palabras clave: complejidad, sistemas dinámicos, sistemas complejos, ontología, mereología, fundamentación.

^a Facultad de Filosofía. Universidad Complutense de Madrid.

* Correspondencia: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Filosofía. Ciudad Universitaria. Plaza Menéndez Pelayo, s/n, 28040 Madrid. España.

E-mail: pablop01@ucm.es



Abstract: Phenomena usually associated to complex systems like the emergence or self-regulation seem to be surrounded by some obscurity. First, the offered definitions tend to be too general and inclusive. Second, the status of this kind of phenomena is not usually clarified. It is not clear whether they are entirely subject-dependent or they have essential parts which are non-reducible to any other phenomena. The present article analyses, from the point of view of complex systems, the notions of emergence and self-regulation. The main problems of these concepts are thus discussed, and some solutions which could be used to elaborate an ontology of complex systems are also sketched. Making use of these solutions, some definitions of the main phenomena of complex systems are therefore proposed. Finally, a definition of complex system is provided. These definitions and solutions are developed by means of philosophical tools like mereology or foundation theory.

Keywords: complexity, dynamic systems, complex systems, ontology, mereology, foundation.

§1. INTRODUCCIÓN

En la literatura acerca de los sistemas complejos podemos encontrar una gran variedad de definiciones que, aunque suelen diferir en su forma, hacen referencia a una serie de rasgos comunes. Las siguientes definiciones pueden servir de ejemplo:

- “sistemas compuestos por agentes interactuantes descritos en términos de reglas. Estos agentes se adaptan cambiando sus reglas cuando acumulan experiencias” (Holland, 2004: 25).
- “a system in which large networks of components with no central control and simple rules of operation give rise to complex collective behavior, sophisticated information processing, and adaptation via learning or evolution” (Mitchell, 2009: 13).

Formulaciones similares, provenientes de enfoques dispares, pueden encontrarse en (Bertalanffy, 2007: 56; Johnson, 2009: 3-4; Ladyman et al., 2013: 4-9; Maldonado y Cruz, 2011: 47).



Se puede observar en estas definiciones un claro aire de familia, cuyos rasgos compartidos son: interacción, adaptación, reglas, emergencia, falta de control central y comportamiento grupal. Estos rasgos se encuentran relacionados de manera muy estrecha, y es tarea de una ontología de los sistemas complejos el describir esa relación.

A modo de definición preliminar, se podría decir que un sistema complejo consiste en una variedad de elementos (muchas veces llamados agentes) que interactúan entre sí siguiendo un conjunto de reglas sencillas. De dicha interacción se dice que emergen nuevos patrones de conducta, los cuales no se daban en los elementos aislados y son, en principio, irreducibles a aquel conjunto de reglas simples. Esto sucede sin control central (es decir, de forma autorregulada) y, a menudo, los sistemas pueden cambiar su comportamiento para adaptarse a situaciones cambiantes.

Por lo tanto, las siguientes características suelen ser atribuidas a este tipo de sistemas en la literatura: una dinámica basada en agentes y reglas, el fenómeno de la emergencia, una jerarquía de niveles y capacidades autorregulatorias. Estos fenómenos, pese a ser encontrados de forma constante en los estudios sobre sistemas complejos, parecen aún muy lejos de estar aclarados. Esta oscuridad reside tanto en su significado como en la descripción de su manera esencial de ser, su ontología.

Uno de los problemas de esta ontología es el uso constante del concepto de sistema, siendo siempre empleado desde una perspectiva intuitiva o dependiente de la teoría de sistemas dinámicos (es decir, conjuntos de ecuaciones diferenciales). No obstante, desde un punto de vista ontológico, se desearía responder a cuestiones como las siguientes: qué es ser un sistema, qué es ser el componente de un sistema, qué tipo de relaciones existen entre el sistema y sus componentes, qué tipo de realidad tiene un sistema, o qué estatuto tendrían sus propiedades respecto de sus componentes.

Muy cercanos a los problemas sobre la realidad sistémica se encuentran, en segundo lugar, los problemas que acarrea la propia idea de emergencia. Una ontología de los sistemas complejos habría de enfrentarse a las siguientes cuestiones: qué significa que una entidad sea emergente, qué estatuto ontológico tiene lo emergente (si es reducible o no), qué tipo de entidades pueden



emerger (propiedades, estructuras, objetos, etc.), qué significa la causación descendente y si hay alguna forma de conciliarla con la física, etc.

En tercer lugar, puede apreciarse que hay una noción que atraviesa todas las anteriores: la idea de nivel. Si algo es emergente, se dice, por lo general, que emerge en un nivel superior. La propia idea de causación descendente implica ya la existencia de al menos dos niveles distintos. Conviene examinar, por tanto, las siguientes cuestiones: qué es ser un nivel y pertenecer a un nivel, qué tipo de relación existe entre un nivel y otro y cómo se establece su orden.

Por último, pero no por ello menos fundamental, se encuentran los problemas que trae consigo la idea de autorregulación. En dicho concepto, el “auto-” parece hacer alusión a una entidad que, en cierto modo, puede referirse a sí misma a través de acciones que redundan en su propio estado. Además, este fenómeno se ha atribuido, ya sea por unos autores o por otros, a una amplia gama de entidades que pueblan el mundo: animales, células, especies, grupos de personas, grupos de máquinas, etc. Autores como Kauffman (1993) casi dan por hecho que la autorregulación se da, y que esto influye en el desarrollo biológico, pero no ofrecen una descripción clara de cómo surge este tipo de procesos. Esto hace necesario enfrentarse a las siguientes cuestiones: qué es ser autorregulado, cómo puede aparecer la autorregulación, qué tipos de autorregulación se dan (si es que los hay), etc.

Una posible forma de aclarar las oscuridades de estos fenómenos pasaría por realizar un estudio de la ontología de los sistemas complejos.

La perspectiva mereológica, tal y como la comenzó Husserl en la tercera investigación lógica (Husserl, 2006), y después desarrollada por autores como Lesniewski (Lesniewski, 1992; Urbaniak, 2008), Nelson Goodman (Goodman, 1966) o Roberto Casati y Achille Varzi (Casati y Varzi, 1999), podría tener mucho que decir respecto de los sistemas complejos. Analizar los sistemas en términos de todos y partes permite entender su naturaleza más elemental, que consiste en componentes integrados en una entidad mayor.

La teoría de la fundamentación, por su parte, permite describir las relaciones de dependencia entre entidades, algo necesario para lidiar con el tema de la emergencia en particular y con las propiedades sistémicas en general. Estas propiedades son, en cierto sentido, dependientes de los componentes



que dan lugar a ellas. Pueden encontrarse los gérmenes de esta teoría de nuevo en Husserl (2006), así como discusiones en Fine (1995), Simons (1982) y Blecksmith y Null (1991).

La mayoría de los autores citados proponen diversos sistemas axiomáticos para establecer el significado del concepto de parte, así como el de fundamentación, distinguiendo entre partes propias e impropias, partes solapadas, fundamentación fuerte y débil, etc. El carácter de este artículo es introductorio, en el sentido de que señala la dirección de una investigación, y por razones de brevedad se utilizará la noción de parte en un sentido informal, asemejándose al concepto de parte propia (componente que no puede coincidir con la totalidad del todo del que forma parte), y la fundamentación se entenderá de forma general como dependencia de la existencia: a fundamenta a b syss cuando a existe, entonces b existe. Utilizando estos conceptos, en la sección final se esbozarán las definiciones de los fenómenos complejos.

§2. EMERGENCIA Y CAUSACIÓN DESCENDENTE

Se afirma de manera habitual que una propiedad emergente es aquella que posee el todo pero no las partes. Esta parece ser la idea detrás de la célebre sentencia “el todo es mayor que la suma de las partes”. Cabría añadir, para mayor precisión, que esta propiedad que el todo posee y las partes no la posee precisamente en virtud de las partes: por la forma en que están dispuestas, por su actividad, etc. Sin embargo, pese a que en la mayoría de textos sobre sistemas complejos no se suele ir más allá de estas someras definiciones, se puede comprobar que resultan claramente insuficientes para caracterizar este fenómeno. Por ejemplo, si se tiene un pedazo de hierro de un kilogramo, se puede afirmar que este kilogramo es el fruto de la suma de mil partes de hierro de un gramo en una masa continua, ninguna de las cuales pesa un kilogramo. Este caso parece cumplir las condiciones de la definición que se acaba de dar. Ahora bien: ¿es esto la emergencia? O mejor dicho: ¿es esto un concepto interesante de emergencia?

Puede verse en la síntesis llevada a cabo por Kim una ejemplificación de la forma que suele tomar la definición de emergencia: *superveniencia* +



irreducibilidad. La superveniencia es definida de la siguiente manera: “La propiedad M superviene sobre, o es determinada por, las propiedades N_1, \dots, N_n en el sentido de que cualquier cosa que tenga N_1, \dots, N_n , tiene necesariamente M ” (traducido de Kim, 2006b: 550). Kim ofrece una definición similar (2006a: 193). Esto parece querer decir, de forma muy general, que una propiedad o conjunto de propiedades es dependiente de otra propiedad o conjunto de propiedades.

Kim afirma que la superveniencia es una condición necesaria para la emergencia, pero no suficiente. Para continuar con la caracterización de este fenómeno, se ha de dar un paso más en una dirección: la irreducibilidad. La definición de emergencia queda precisada entonces por Kim de la siguiente manera: una propiedad emergente es superveniente, es decir, dependiente de una base que la “realiza”, pero a su vez no es reducible a esta base.

No obstante, estas no son las únicas características del fenómeno de la emergencia. Kim, entre otros, también opina que la causación descendente se halla indisolublemente unida al emergentismo, y que esta es a su vez una gran fuente de problemas (2006a: 198) Para tratar este concepto en profundidad, es necesario ofrecer una definición de causalidad.

Parece existir cierto consenso a la hora de definir el concepto de causalidad en torno a las leyes de conservación. En física se consideran conservados en un sistema la masa-energía, la carga y los momentos angular y lineal (Vicente, 2001: 6-7) La causalidad se entiende como una relación entre propiedades conservadas (Vicente, 2001: 10). Un epifenómeno se podría definir, según lo dicho, como un fenómeno que no instancia cantidades conservadas. Por ejemplo, una sombra en movimiento proyectada en una pared resulta ser un fenómeno físico, pero que carece de poder causal, pues solo posee velocidad, una cantidad que no se conserva.

Siguiendo el concepto de causalidad propuesto, la causalidad descendente ha de entenderse, entonces, como la transferencia de una cantidad conservada de un nivel superior a uno inferior. Es esto lo que parece afirmarse cuando se dice que los patrones globales de comportamiento influyen en la conducta de los agentes individuales, que la mente actúa sobre el cerebro, o que el



entorno influye sobre los genes¹, etc. En definitiva, cada vez que se afirma que el todo influye causalmente sobre alguna de las partes que lo componen. Sin embargo, el propio concepto de causalidad descendente, o al menos esta forma habitual de entenderlo, puede resultar problemático, entre otras cosas, respecto de lo que se conoce como “principio del cierre causal” o “principio del cierre causal del mundo físico”.

2.1 *Los problemas de la emergencia*

Se podrían agrupar los problemas en torno a la emergencia en tres grandes grupos: problemas sobre la definición positiva, sobre la fuerza y sobre la causación descendente.

El primer problema puede quedar expuesto de forma somera como sigue. Como se ha visto, la definición que se ha ofrecido más arriba constaba de dos elementos: la superveniencia y la irreductibilidad. La superveniencia sí ha sido definida de manera positiva, pero la irreductibilidad ha recibido solo una caracterización negativa: la negación de la reducción. El problema es que, ya sea como negación del funcionalismo o de algún otro tipo de reducción, siempre recibe una definición negativa: la no-reductibilidad. Y, como recuerda Kim, decir lo que no es algo no equivale siempre a decir lo que es (Kim, 2006b: 557). Por ejemplo, afirmar que alguien es hermano de alguien aporta una información definida acerca de dos sujetos y una relación; por el contrario, decir que alguien no es hermano de alguien resulta difuso, y puede llegar a no aportar información en absoluto (Kim, 2006a: 201). Constituye, por tanto, una importante tarea del emergentismo la de dar una definición positiva de la emergencia que sea clara y no pague de una generalidad excesiva.

Por otro lado, cabe preguntarse si todo lo que emerge es irreducible a sus componentes, o nada emergente es reducible, o en algunos casos sí, y en otros no. A su vez, es posible que un fenómeno sea ontológicamente reducible (en

¹ Es célebre el ejemplo propuesto por Campbell acerca de la causación descendente que la selección natural ha provocado sobre la forma de la mandíbula de ciertas termitas en “La causación descendente en los sistemas biológicos jerárquicamente organizados” (Ayala & Dobzhansky, 1983: 236-245).



el sentido funcionalista propuesto más arriba) o epistémicamente reducible, es decir, que puede ser explicado o comprendido utilizando únicamente enunciados sobre sus componentes. Estas cuestiones giran en torno a la fuerza de la emergencia. Por lo general², se suele denominar *emergencia fuerte* a aquella que no es ontológicamente reducible y, por lo tanto, tampoco lo será epistémicamente. *Emergencia débil* se denomina, por el contrario, a la que sí se puede reducir en el sentido ontológico, y en el nivel epistémico o bien no es reducible, o bien sí lo es en principio, pero resulta demasiado complicado en la práctica.

La causación descendente, en caso de que exista, aseguraría que el fenómeno no es reducible, puesto que posee un poder causal que no reside en sus componentes. Así sucedería, por ejemplo, en la evolución. Sin embargo, hay quien afirma que en realidad toda emergencia es reducible –y por tanto débil–, que la causación descendente no se da, de modo que, aunque en la práctica algunos sistemas se traten como poseedores de propiedades irreducibles, esto simplemente es una postura pragmática, y si nuestro conocimiento de la naturaleza fuera perfecto, o nuestro intelecto más potente, podríamos reducir cualquier propiedad a sus componentes.

Además, dada la disparidad de fenómenos a los que se aplica el término de emergencia, es posible que resulte útil realizar ciertas distinciones de grados o tipos de emergencia. Tratar la emergencia como si fuera un concepto de un único significado puede que sea, al menos en parte, una de las semillas de donde germinan varios de los problemas que este concepto acarrea. Por ejemplo, las propiedades de un triángulo son emergentes respecto de las rectas que lo componen: dependen de la disposición de esas rectas, pero, a su vez, no pueden ser reducidas a ellas en solitario. Sin embargo, esta emergencia resulta muy diferente de la que ofrecen las capacidades intelectuales respecto del cerebro. Para empezar, no solo el cerebro está compuesto de múltiples sistemas anidados, sino que sus componentes interactúan dinámicamente, y no se limitan a formar una estructura inmóvil, como en el caso del triángulo. Además, al menos en la concepción más común, las propiedades mentales tienen la ca-

² Ver, por ejemplo, el resumen de Chalmers sobre el estado de la cuestión en Chalmers (2006: 244-254) o la reflexión de Bedau en torno a la emergencia débil en Bedau (2008).



pacidad de modificar la conducta del sujeto, sin ser meros epifenómenos. Es posible que entre estos dos casos extremos existan varios grados intermedios cuya identificación ayude en la definición y comprensión de la emergencia³.

Pero la aceptación de la causación descendente como un elemento diferenciador entre tipos o grados de emergencia trae consigo sus propios problemas, el mayor de los cuales se ha denominado “violación del cierre causal del mundo físico”. El principio del cierre causal, que se infiere a partir de las leyes de conservación (Vicente, 2001: 5), se puede enunciar como sigue: “[el principio del cierre causal] afirma [...] que si un evento físico tiene una causa, esta es física. Que la causa es completa quiere decir que engloba también a lo que suelen denominarse “factores causales”. En definitiva, el principio del cierre sostiene que ninguno de los factores causales involucrados en la producción de un efecto físico es no físico” (Vicente, 2001: 4).

Por ejemplo, cuando se afirma que los pensamientos tienen efectos en el mundo físico, según este principio, parece que no queda otra que aceptar que los pensamientos son procesos físicos. De otra forma, se tendría que aceptar que un proceso no físico tiene efectos sobre un proceso físico, violándose las leyes de conservación: un pensamiento podría introducir o quitar parte de la energía de un sistema, por ejemplo, una taza de café, haciendo que dicha taza se enfriara o se calentara, dando lugar a una suerte de *telekinesis*, y a la vez, dando al traste con la conservación de la energía.

Aplicado a la emergencia, el problema es el siguiente: si lo que emerge de lo físico no es reducible, por principio, a lo físico, y a su vez tiene poderes causales sobre el nivel inferior del que emerge, entonces se podría entender que algo no físico tiene influencia causal sobre lo físico, violándose así el principio del cierre causal (Kim, 2006a: 199-200)⁴.

³ A este respecto se puede tomar como ejemplo la sugerencia de Terrence Deacon y sus tres clases de emergencia (Deacon, 2006, p. 126):

- De primer orden o termodinámica
 - De segundo orden o morfodinámica (en sistemas autoorganizados)
 - De tercer orden o teleodinámica (en sistemas con memoria y procesamiento de información)
- Cada una de estas emergencias constituye un nivel que depende del anterior.

⁴ El problema que supone este tipo de causación puede quedar bien expresado en lo que se ha conocido como “argumento de la exclusión”. Es expuesto, por ejemplo, por Van Gulick en Gulick (1993: 236, 242 y ss.).



2.2 Algunas propuestas de solución

En lo referente al problema de la definición positiva de la emergencia, se podría adoptar la siguiente postura. Si bien es cierto que las propiedades emergentes dependen de las relaciones entre partes del nivel inferior, como suele afirmarse en las definiciones habituales⁵, con dicha afirmación aún no se habría salido del escueto campo de acción de las definiciones del estilo *superveniencia + irreductibilidad*. Es necesario ahondar en cada uno de los fenómenos que componen la emergencia, y para ello se han de tener en cuenta, al menos, las siguientes perspectivas ontológicas: la que provee la mereología y la que aporta la fundamentación.

En conjunción, ambas teorías permitirían esbozar una teoría de los niveles, necesaria a la hora de describir la ontología de las jerarquías de entidades que suelen encontrarse en el seno de los sistemas. Esto es así porque permitirían relacionar las partes de un nivel con las partes de niveles inferiores a través de fenómenos de dependencia, los cuales permitirían expresar, al menos en parte, el estatuto de lo emergente: una entidad que depende en cierto sentido de sus componentes pero que, a su vez, presenta cierta autonomía debido a su novedad estructural.

En cuanto al problema de las múltiples fuerzas y sentidos del concepto de emergencia, quizá convendría comenzar por distinguir diferentes tipos de relaciones. Se podría asumir que existen relaciones reales e ideales (Simons, 1982: 153-155) y, dentro de las reales, hay unas con más fuerza o relevancia que otras, y que dicha relevancia ha de ser destacada con respecto a algo. Si se dice simplemente que el objeto *A* está a la derecha del *B*, se tenderá a pensar que se trata de una relación débil que para nada crea una entidad compleja más allá de la palabra que la designa. Sin embargo, si se establece que se trata de un conjunto de dos planetas, uno de los cuales gira en torno al otro, que *A* y *B* estén en tal relación sí posee relevancia. Así, se podría decir que las relaciones relevantes para el estudio de un fenómeno se dan en el contexto del sistema que estas conforman.

⁵ Por ejemplo, Baas & Emmeche (1997); James P. Crutchfield (1993); Emmeche, Koppe, & Stjernfelt (1997).



Utilizando estas ideas sobre las relaciones se puede afirmar que, para ayudar a resolver el debate sobre la fuerza de la emergencia, habría que establecer qué es exactamente lo que hay de nuevo entre los elementos que no puede ser descrito por las leyes de dicho nivel: lo nuevo en esencia son relaciones. Se ha de determinar entonces en qué punto estas relaciones se vuelven tan complejas o relevantes como para necesitar un lenguaje nuevo. Pues estrictamente hablando, cualquier relación no-ideal no es reducible a sus componentes, pero no por ello funda un nivel nuevo necesitado de otras herramientas legales y descriptivas. La decisión acerca de la fuerza de las relaciones ha de ser más bien una cuestión empírica: la ontología simplemente provee de unas categorías, las cuales, si están bien elaboradas, encontrarán realizaciones.

Según esta perspectiva de las relaciones el debate no podría zanjarse *a priori*. Esto daría lugar a una posición más o menos neutral. Sin embargo, pueden ofrecerse algunos otros argumentos.

En primer lugar, el partidario de la reductibilidad de toda emergencia, en última instancia, utilizaría la “estrategia del pagaré”: ciertas propiedades no han sido reducidas, pero por principio se puede, y quizá en un futuro se consiga. Pero el hecho de que ciertas propiedades, como el calor, se hayan reducido en el pasado a las leyes matemáticas de sus componentes (mecánica estadística) no quiere decir que toda propiedad aparentemente emergente pueda ser reducida sino, a lo sumo, que hay un género de propiedades que sí son reducibles.

En segundo lugar, se puede ofrecer un argumento basado en la probabilidad, que apoya la idea de que la descripción reduccionista no es suficiente (Deacon, 2006: 140): una explicación que opere únicamente en el nivel de los componentes más básicos de la naturaleza no parece poder explicar por qué se dan de forma reiterada ciertas configuraciones de componentes y no otras, las cuales resultan improbables en el sentido de que, dentro del conjunto de todas las combinaciones posibles, representan una pequeña parte.

Se ha sugerido que podría carecer de sentido tratar de dirimir el debate de una forma *a priori* y que, además, una de las partes en disputa podría tener ciertas dificultades para explicar algunos fenómenos. Pero además, y unido a todo esto, cabría hacerse la siguiente pregunta: ¿tendría la resolución del debate alguna diferencia en la práctica? Es decir, la diferencia entre una propiedad irreducible en principio y una irreducible en la práctica pero reducible en



principio, a la hora de describir la ontología de un sistema, tiende a ser nula, pues, aunque se establezca que es reducible, si no se posee la descripción de tal reducción, habría que seguir operando como si fuera irreducible.

Por lo tanto, parece que la postura recomendable que se debe tomar es la de utilizar la ontología que mejor permita entender los sistemas, sin obviar nada y sin añadir entidades innecesarias, y esa parece ser, al menos en principio, alguna que contemple la idea de la emergencia fuerte aunque sea solo de manera pragmática.

Por último, en cuanto al problema de la causación descendente, una de las soluciones⁶ más plausibles, que se encuentra presentada de manera bastante similar en autores como Van Gulick (1993: 233-256), Juarrero (2013), El-Hani y Emmeche (2000) o Murphy (2006), tiene como cimiento la siguiente idea: ampliar la noción de causa.

La noción de causa definida anteriormente como transferencia de cantidades conservadas hace que la causación descendente resulte problemática, como se ha visto, respecto de las leyes físicas. Sin embargo, puede haber otras formas de ejercer influencia. Y es que las propiedades de los compuestos no las determinan solo las leyes físicas, sino también la organización de estos mismos compuestos (Gulick, 1993: 250).

Los componentes de un sistema se hallan relacionados formando patrones, y son estas relaciones las que se suman a las leyes físicas pertinentes y definen el comportamiento global del sistema. A través de estos patrones, los poderes causales de los constituyentes, es decir, la aplicación de las leyes físicas correspondientes sobre las partes del todo, son seleccionados, y a su vez, esta selección contribuye a que el patrón permanezca. Esto quiere decir, simplemente, que los patrones emergentes actúan como constricciones (Gulick, 1993: 251-252). Lo que hacen las constricciones es, en definitiva, modificar (limitando o ampliando) el espacio de estados posibles del sistema. No aparece una nueva sustancia, sino una nueva distribución de probabilidades (Juarrero, 2013: 10).

De esta manera, si los patrones emergentes simplemente modifican las posibilidades de distribución de los componentes del sistema, no parece que se

⁶ Inspirada en las ideas de Michael Polanyi. Ver Polanyi (2012).



violen las leyes de conservación, puesto que se trata de un tipo de causalidad distinta no basada en la transmisión de cantidades conservadas. Se puede entonces seguir aceptando el cierre causal, así como la idea de que todos los eventos son físicos, puesto que un nuevo nivel no supone un nuevo tipo radical de entidad, sino a lo sumo una nueva estructura, dinámica o comportamiento con la capacidad de producir constricciones, pero no de violar las leyes fundamentales. El único añadido que habría de hacerse es el siguiente: la descripción física completa de los eventos del mundo debe incluir las especificaciones de las condiciones de frontera y de las condiciones iniciales, pues si son elementos causalmente relevantes han de intervenir en la explicación de la historia de formación de los sistemas, así como de su funcionamiento.

La clave es reconocer, por tanto, que no solo los estados microfísicos son eficazmente causales, sino que también lo son sus compuestos, precisamente en virtud de que son compuestos suyos y mantienen ciertas propiedades que son seleccionadas. Por tanto, es necesario aclarar la naturaleza de estos compuestos de nivel superior a través de una elucidación de la emergencia y la causación descendente.

§3. AUTORREGULACIÓN

Una característica esencial de los sistemas complejos es la temporalidad. En primer lugar, porque sus partes se mueven y sus propiedades pueden cambiar o modularse con el tiempo. En segundo lugar, porque gracias a esto el sistema puede adaptarse, aprender o evolucionar, dando lugar a nuevas estructuras o patrones de comportamiento. La capacidad de un sistema de cambiar su configuración a lo largo del tiempo podría denominarse, en general, dinamismo. Gracias a este dinamismo y a las emergencias que surgen de él, el sistema puede mantenerse en ciertos estados sin necesidad de una ayuda externa, es decir, se autorregula. Como primera aproximación, se puede entender que un sistema dinámico consiste en un conjunto de estados que evoluciona según unas reglas (una dinámica) en el denominado espacio de estados (Crutchfield, Farmer, Packard y Shaw, 1995: 37-38).



A la hora de estudiar un sistema no se puede tratar de abarcar la totalidad de este, sino que se seleccionan ciertas variables relevantes, llamadas variables de estado. El valor de esas variables relevantes en un momento dado constituye un estado del sistema (Zill, 2005: 28). El espacio de estados será entonces el conjunto de estados por los que el sistema pasa. A su vez, estas variables están relacionadas por una serie de reglas que constituyen la dinámica del sistema. La trayectoria de un sistema representa la sucesión de sus estados debida a su dinámica. Esta dinámica proviene, en gran medida, de las relaciones que mantienen las partes entre sí (Aracil y Gordillo, 1997: 16).

Podría considerarse que los sistemas autorregulados son un caso especial de los sistemas dinámicos. En general, cuando se afirma que algo se regula, significa que existe cierto estado, o rango de estados, en los que debe permanecer dada cierta situación. Por ejemplo, se regula la temperatura de la habitación en función de nuestra sensación de frío o calor abriendo la ventana, o la velocidad del vehículo según las circunstancias de la vía. Un aspecto del sistema cambia en función de algo (una meta u objetivo) y no aleatoriamente (de esta forma, sería un sistema caótico). En el caso del automóvil o la temperatura, las acciones eran llevadas a cabo por un agente externo: es simple regulación. En cambio, cuando esta regulación se lleva a cabo desde dentro del propio sistema, se trata de autorregulación. Por ejemplo, si la temperatura se regulara mediante un termostato al que se le ha fijado un valor de temperatura específico.

Como señalan Bertalanffy (2007), Maturana y Varela (2003) o Prigogine (2006), se dan casos de sistemas autorregulados en los que no existe simplemente una suerte de “fijación autónoma de las metas”, sino además, y ante todo, una “auto-construcción” (*autopoiesis* en palabras de Maturana y Varela). Siguiendo el lenguaje de Bertalanffy, que después será empleado de forma habitual a la hora de hablar sobre complejidad, hay sistemas que no están solo abiertos al entorno en cuanto a intercambio de información, sino también de materia y energía. Esta apertura de información y energía se suele asociar con la complejidad: son los sistemas complejos los que toman y procesan partes de su entorno para, por ejemplo, crecer o reparar daños en su estructura. Por ejemplo, un animal gestándose o alimentándose.



El principal problema que encontramos al estudiar la autorregulación es que se trata de un fenómeno compuesto de muchas partes relacionadas entre sí. Tratar el fenómeno “en bruto”, sin analizarlo en sus partes componentes, dificulta la tarea de comprensión de su naturaleza, así como su puesta en relación respecto del resto de características de los sistemas complejos.

Al hablar de una entidad autorregulada, se está hablando de algo que ha adquirido una característica que en cierto sentido le permite referirse a sí mismo (sea, por ejemplo, en forma de resultados de procesos, o en forma de autorreflexión). Por tanto, parece una característica que podría revelar una estrecha conexión con la emergencia.

Asimismo, estos problemas se relacionan con la tarea de definir qué clase de entidad es un sistema y cómo se relaciona con sus partes: ¿qué clase de fenómeno se ha dado para que un conjunto de partes relacionadas adquiriera un estatus tal que el resultado de esas mismas relaciones pueda afectar a la propia entidad que componen?

3.1 *Algunas soluciones posibles*

A la hora de elaborar una definición de la autorregulación, se podría seguir en cierta medida la propuesta de Ashby (1962). Así, se puede entender la autorregulación como la selección de ciertos estados del sistema: de entre todos los estados posibles, algunos caóticos y otros de alto orden, el sistema queda confinado en un espacio determinado. Buckley (2008) adelantó la idea de que para la autorregulación es necesaria variación, un mecanismo de selección para esa variación y otro que permita transmitir las variaciones seleccionadas.

El mecanismo de selección es el que confinaría al sistema dentro de determinados estados posibles. En los sistemas con emergencia fuerte, se ha visto que es posible entender esta restricción a través de una reinterpretación de la causación descendente como condiciones de frontera.

Estos mecanismos de selección actúan, a su vez, sobre las distintas posibilidades que las diferentes formas de variación ofrecen. Las maneras en las que se expresa la variación van desde el movimiento caótico de las partículas de



un gas o los flujos de un líquido en un recipiente hasta fenómenos más sofisticados como la mutación genética. Estos fenómenos dan lugar al espacio de estados “en bruto”, el cual se irá acotando tras la emergencia de las sucesivas jerarquías.

Los mecanismos de transmisión pueden entenderse como bucles de realimentación (tanto positiva como negativa)⁷. Se ha de hacer la precisión de que, en un sistema biológico, los valores que estos bucles de realimentación tratan de alcanzar⁸ han sido seleccionados debido a la propia dinámica del sistema (el mecanismo de selección es interno). En cambio, en un sistema mecánico, habrían sido impuestos por un agente externo. Esto puede llevar a distinguir entre autorregulación fuerte y autorregulación relativa⁹.

Respecto de la autoconstitución o *autopoiesis*, puede observarse que se trata de una característica íntimamente ligada a la complejidad y, en especial, a los sistemas fuertemente autorregulados. Al igual que en el caso de la autorregulación fuerte, esta *autopoiesis* proviene de la propia dinámica del sistema, haciendo de este una entidad relativamente autónoma con respecto a su entorno. Yendo más lejos, se podría afirmar que solamente una entidad fuertemente autorregulada es susceptible de *autopoiesis*. No parece, desde luego, que se haya observado la existencia de una entidad que se dote a sí misma de sus valores de referencia de forma autónoma y, a su vez, no intercambie materia y energía con el entorno para sustentarse. Y es que parecen ser procesos que se dan, por así decir, a la par: la autoconstitución de la estructura dota a esta de las relaciones y disposiciones necesarias que hacen que apunte a un cierto rango de valores y no a otro.

⁷ Para una descripción de éstos, ver Aracil & Gordillo (1997: 30-38).

⁸ Esta idea evoca, de forma inevitable, la noción de teleología. Para tratar de evitar los clásicos problemas que trae este concepto, resulta importante comprender de dónde proviene ontológicamente el fin, puesto que si este se entiende como causa eficiente, se incurre en una paradoja: algo que no es real, no es efectivo, por ser futuro, es causa de algo real. Aquí entran en juego precisamente la causación descendente y la emergencia: es el sistema, por su propia forma, el que se inhibe y dirige hacia ciertos rangos de valores.

⁹ Sin embargo, es posible observar otros fenómenos de transmisión que parecen, en principio, ir más allá de este tipo de bucles: la memoria, el aprendizaje, la escritura, el ADN, el lenguaje, las telecomunicaciones, etc. Estos fenómenos de alto nivel se manifiestan en sistemas complejos tales como animales, sociedades y células, y han de ser tenidos en cuenta a la hora de lidiar con una ontología de los mecanismos de transmisión.



§4. HACIA UNA ONTOLOGÍA DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Los conceptos básicos de la ontología que se empleará en la definición de las características de los sistemas complejos se presentan a continuación junto con una breve descripción:

– Entidades primitivas:

- Objetos: las entidades de las que se predicán las relaciones y las propiedades (animales, máquinas, sistemas, etc.).
- Relaciones: las entidades que suponen cierto enlace entre otras entidades. Pueden ser espaciales (estar junto a, estar alejado de...), causales, ideales o lógicas (esta propiedad es similar, el objeto x es idéntico a y , x se deduce de y ...), etc.
- Propiedades: las entidades que permiten distinguir un objeto de otro (colores, olores, formas, texturas, etc.).

– Nociones auxiliares:

- Reglas: funciones que relacionan el estado de ciertas variables, o que describen el comportamiento de los agentes. Las leyes se consideran reglas o regularidades necesarias, que son instanciadas por relaciones necesarias.
- Tiempo: permite expresar flujos y cambios.

Haciendo uso de estos elementos es posible obtener de forma recursiva definiciones cada vez más complejas que finalmente permitan dar cuenta de las características sistémicas. Uno de los conceptos que, por permitir definir un sistema dinámico, ha de ser descrito en primer lugar, es el de estado. Al estudiar un sistema se tienen en cuenta un conjunto de parámetros relevantes para comprender su comportamiento. El valor de estos parámetros (por ejemplo, la velocidad y la posición) en un momento dado constituye un estado del sistema. Se trata de una especie de imagen instantánea del sistema. Así, se puede establecer la siguiente definición:



Definición de estado: un conjunto de objetos, propiedades y las relaciones que existen entre ellos (en adelante, un conjunto o conglomerado, OPR), los cuales representan la configuración del sistema en un momento dado.

Las leyes que gobiernan el sistema dirigen la transición entre estados. Cada estado constituye el fundamento de un estado posterior, es decir, que están entre sí en una relación de fundamentación o dependencia, estableciéndose así una cadena. Esto no quiere decir que todo sistema sea predecible, sino que podemos “reconstruir su historia”.

Al hablar de espacio de estados, se ha de distinguir entre espacio de estados posible y espacio de estados efectivo. El espacio de estados posible es el conjunto de todos los estados en los que el sistema se podría encontrar en algún momento dado, según las leyes o reglas que lo rigen. Sin embargo, existen sistemas que, a lo largo de su historia, no pasan por todos los estados por los que podrían pasar o que, debido a la causación descendente, ven merma dos sus estados posibles. Por ello es útil distinguir la anterior noción de la de estado efectivo. El espacio de estados efectivos es el conjunto de estados por los que el sistema sí pasa realmente en una sucesión temporal concreta. En ambos casos, por supuesto, se trata de conjuntos ordenados. Un sistema dinámico puede considerarse como la suma de sus estados posibles más sus estados efectivos (pues los efectivos por sí solos no describen toda su dinámica).

Si un estado capta una instantánea del sistema, un proceso¹⁰ se refiere a un conjunto de (OPR) conectados causalmente que “atraviesan” varios estados efectivos de un sistema. Por ejemplo: se está estudiando la ontología del cuerpo humano en tanto que sistema, clasificando algunos de sus procesos (como se hace en algunas ontologías biomédicas; Smith y cols., 2005). La respiración, entendida como entrada y salida de aire en los pulmones, sería un proceso. Está contenida parcialmente en varios estados efectivos, pues es algo que se dilata en el tiempo y no implica la totalidad de las partes del cuerpo, sino solo algunas como la nariz, la boca, la tráquea, el diafragma, los pulmones, etc. A la vez que este proceso, suceden otros, como la digestión. La digestión implica otro subconjunto distinto de objetos (aunque a la postre

¹⁰ Una distinción similar a la de objetos y procesos, bajo las denominaciones de “*endurants*” y “*perdurants*”, se encuentra en Bittner & Smith (2004); Simon & Smith (2004); Smith (2005b, 2005a).



ambos procesos estén conectados, por ejemplo, a través del flujo sanguíneo o el ritmo cardíaco), pero puede atravesar los mismos estados efectivos que la respiración: suceden a la vez. Además, cabe señalar el carácter productivo de los procesos, pues por lo general, dan lugar a cierto resultado, ya sea este una entidad (un producto químico diferente, por ejemplo), o un cambio en una entidad (crecimiento, sustento, movimiento, etc.). Por tanto:

Definición de proceso: un conjunto (OPR) que, debido a cierta conexión causal, conforma una entidad que atraviesa varios estados del sistema, y que por lo general tiene como resultado una entidad distinta o un cambio sobre alguna entidad.

Los procesos pueden ser, por tanto, simultáneos (total o parcialmente) o no simultáneos. Además, pueden estar relacionados entre sí, influyendo causalmente unos en otros o siendo unos condición de posibilidad de otros.

Un sistema dinámico puede considerarse, en cierto sentido, un conjunto de procesos, lo cual puede resultar en ocasiones más útil o cómodo que considerarlo un conjunto de estados o de (OPR).

Otro de los conceptos clave a la hora de lidiar con entidades compuestas es el de *nivel*, dentro del cual convendría distinguir al menos dos sentidos. Puede considerarse un nivel, en sentido mereológico, como una entidad que consiste en la fusión mereológica de las entidades que cumplen las siguientes condiciones:

Definición de nivel mereológico:

- ciertas entidades constituyen el nivel n , y sus partes propias el nivel $n-1$, y así sucesivamente hasta llegar al caso límite en el que las entidades ya no tienen partes propias, que constituirían el nivel primero en el orden absoluto.
- Además, las entidades que conforman un nivel poseen una característica que se fundamenta en partes del nivel inferior (salvo en el caso del nivel primero absoluto).

Sin embargo, al tratar con sistemas complejos resulta habitual hablar de conceptos como “el nivel de lo mental”, “el nivel físico”, “el nivel biológico”, etc. Estos niveles, por lo general, suelen estar compuestos de varios niveles en el sentido mereológico estricto. Por ejemplo, en el “nivel social” intervienen



gran cantidad de entidades, que a su vez son descomponibles en muchas partes propias: neuronas, lenguaje, conductas, economía, metabolismo, etc. Debido a que en muchas ocasiones resultará más cómodo y útil hablar de estos niveles, que podrían denominarse “niveles amplios”, se puede tratar de definir el concepto a partir del sentido mereológico de nivel:

Definición de nivel amplio: Una entidad con forma de nivel tal que contiene, al menos, un nivel mereológico.

Que tiene forma de nivel quiere decir que hereda sus características: al igual que los niveles mereológicos, se fundamenta en otros niveles, a los que contiene como partes.

Al estar los sistemas compuestos, en otro sentido, por conjuntos de estados, es claro que también en los estados se pueden distinguir niveles. Pero, además, suele ser posible dividir en niveles, tanto amplios como mereológicos, los procesos que forman parte de un sistema. Por ejemplo, siguiendo con el modelo de la respiración antes mencionado, se puede ver que en ella interviene el nivel de los órganos, pero también los niveles moleculares y de tejidos (alvéolos, glóbulos rojos, etc.).

Se ha de observar que no todas las partes de todos los niveles de un sistema están en un continuo devenir, aunque formen parte de uno o varios procesos. Existen ciertas entidades de un carácter más o menos estable: las estructuras. Por ejemplo, los huesos del cuerpo de un animal sufren cambios (aumentan o reducen su densidad, reparan roturas, algunos producen médula ósea, etc.), pero constituyen una formación estable que permite dar forma y sostener el conjunto del cuerpo, permitiendo que muchos otros procesos se desarrollen. A otros niveles, como el celular, se puede observar el mismo fenómeno: pese a la entrada y salida de productos, así como ciertos movimientos e incluso cambios de forma; una célula posee una arquitectura concreta y relativamente constante.

Distinguir las estructuras del resto de partes de un sistema resulta esencial para comprender cómo lleva a cabo sus procesos, pues se podrá relacionar un proceso o el resultado de un proceso con determinadas partes de las estructuras, estableciendo cadenas causales. Asimismo, la descripción de la aparición de algunas de estas estructuras es la tarea primordial en el estudio de la génesis de algunos sistemas, como los que están sujetos a selección natural.



Definición de estructura: un conjunto de (OPR) que permite, al menos, el desarrollo de un proceso.

Una vez se han obtenido las definiciones de los anteriores elementos, se podría estar en condiciones de comenzar a ofrecer una definición de sistema dinámico en general. Habitualmente se ofrecen caracterizaciones como la siguiente: “un sistema es un conjunto de partes entre las que se establece alguna forma de relación que las articula en la unidad que es precisamente el sistema. Un sistema se nos manifiesta como un aspecto de la realidad dotado de cierta complejidad precisamente por estar formado de partes en interacción” (Aracil y Gordillo, 1997: 11). Otras más pueden encontrarse, por ejemplo, en Crutchfield et al. (1995: 37-38), Ogata (1987: 1) y Schaffernicht (2009: 9-10). Sin embargo, aunque estas definiciones posean cierta utilidad como elemento introductorio, se muestran insuficientes a la hora de presentar una ontología de los sistemas. Además, y según se han ido desarrollando los conceptos, “conjunto de partes en interacción” podría describir un proceso, un fragmento del espacio de estados o incluso una estructura.

Un sistema dinámico podría caracterizarse, usando todo lo definido hasta ahora, de la siguiente forma:

Definición de sistema dinámico: entidad consistente en

- Una suma de (OPR).
- Los cuales conforman, por lo general, dos tipos de entidades:
 - Procesos.
 - Estructuras.
 - Relacionados entre sí de tal forma que las segundas hacen posibles los primeros.
- Al ser una entidad extendida en el tiempo, puede ser caracterizada como una sucesión de estados. Esta sucesión de estados está regida por reglas (leyes, patrones, comportamientos...), influidas por las condiciones iniciales y, en ocasiones, por condiciones de frontera. Estas reglas se denominan dinámica del sistema, y la transición entre estados, trayectoria del sistema.
- Resulta habitual, aunque no necesario, que los sistemas sean descomponibles en niveles amplios.



La definición ofrecida sirve tanto para un péndulo como para un hormiguero, es decir, entidades que si bien parecen compartir una estructura general común, resultan de lo más dispares respecto de ciertos elementos esenciales, como el tipo de comportamiento y su predicción. De modo que si se quiere afinar la estructura teórica presentada hasta el punto de que permita describir de forma algo más precisa la ontología de un sistema complejo, se habrán de incluir los fenómenos que, en principio, son exclusivos de este tipo de sistemas: la emergencia, la causación descendente y la autorregulación.

La emergencia es uno de los fenómenos más interesantes que puede presentarse en un sistema dinámico. Dado que ya se ha obtenido la definición de sistema, se podría ofrecer una definición de emergencia. Pese a que la entidad resultante sea de un género diferente (una propiedad, un proceso, una estructura o un objeto), la definición general comparte los rasgos principales. Se puede denominar emergente a una entidad que cumpla lo siguiente:

Definición de emergencia: en un sistema dado, una entidad es emergente con respecto a otra si debido a la dinámica del sistema, y no por algún añadido externo, aparece a partir de un determinado estado del sistema (y puede que desaparezca en un futuro, si cambian ciertas condiciones).

Partiendo de esta base común, se pueden distinguir los distintos grados de emergencia:

- Emergencia débil: Se considera que es, al menos, ontológicamente reducible, y en algunos casos también epistémicamente. Que sea ontológicamente reducible quiere decir, en el fondo, que es idéntica a su base, pero que se poseen dos nombres o descripciones diferentes (una de ellas abreviada), para expresar lo mismo. Es decir, que la entidad emergente y su base no pertenecen en realidad a niveles diferentes.
- Emergencia fuerte:
 - Se considera que no es ni ontológica ni epistémicamente reducible, de modo que no es idéntica a su base, así que supone una entidad genuinamente novedosa. Esto hace que pueda considerarse una entidad que se fundamenta en otras entidades distintas de ella.
 - Además, este tipo de emergencia aparece en un nivel superior respecto de aquel en el que opera la dinámica a partir de la cual ha



surgido (en la débil esto no puede suceder, ya que ambas entidades están en el mismo nivel, puesto que son idénticas).

- Por añadidura, esta emergencia es susceptible de ejercer causación descendente, algo que parece suceder en la mayoría de ocasiones.

El hecho de que, en la emergencia débil, lo aparentemente emergente sea idéntico a su base quiere decir, en la mayoría de los casos, lo siguiente: que la base constituye un conglomerado complicado de objetos y relaciones tal que ha sido necesario emplear una descripción o nombre nuevos para designarlo, lo cual no constituye prueba alguna de que exista una entidad novedosa. Por ejemplo, se emplea el término “atasco” para referirse a un conjunto de coches con un comportamiento peculiar debido a que establecen ciertas relaciones y propiedades (baja velocidad, corta distancia entre vehículos, etc.), pero esto no significa que se dé una entidad “atasco” que no sea por entero explicable por estas relaciones y propiedades.

Sin embargo, cuando efectivamente lo que emerge pertenece a un nivel superior respecto del proceso base, tal reducción no es posible. Como se ha sugerido, este debate no puede ser resuelto *a priori* pero, si bien no se posee una reducción tal ni se sospecha que pueda haberla, o bien se muestran indicios de causación descendente, la emergencia habría de ser tratada como fuerte. Y es que la emergencia fuerte está indisolublemente unida a la causación descendente, ya que cualquier entidad que esté conformada por entidades de un nivel inferior imbuidas en ciertas relaciones, por el mero hecho de ser, ya está modificando el comportamiento de sus componentes al influir en sus grados de libertad. Dicho de forma sintética: la causación descendente, una vez se tiene emergencia fuerte, no parece una opción, sino que se muestra como la otra cara del fenómeno.

Una de las mejores formas de entender este tipo de causación para evitar incoherencias, es la siguiente: el propio sistema, debido a su dinámica, modifica el tamaño de su espacio de estados posibles. Esto quiere decir que algunos niveles superiores influyen en los inferiores mermando el alcance de su dinámica. Este suceso se podría definir, haciendo uso de los conceptos presentados hasta ahora, así:



Definición de causación descendente: fenómeno en el cual, una entidad fuertemente emergente (propiedad, estructura, proceso u objeto), modifica el espacio de estados posibles del sistema en su conjunto.

El último de los fenómenos que se han considerado esenciales para los sistemas complejos es la autorregulación. La idea básica de la autorregulación es la selección de ciertos estados posibles del sistema y el consiguiente confinamiento del sistema dentro de dichas regiones del espacio. Siguiendo el esquema propuesto más arriba (véase 3.1), se puede afirmar que la autorregulación consta de los siguientes mecanismos: variación, selección y transmisión. (Cabría añadirse que, en el caso de los sistemas *autopoiéticos*, existe intercambio de materia y energía con el medio). De esta forma, la variación proporciona el material sobre el que se lleva a cabo la selección, cuyos resultados son mantenidos por el sistema a través de la transmisión. La definición podría ser la siguiente:

Definición de autorregulación: un sistema autorregulado es capaz de mantenerse dentro de ciertos conjuntos de su espacio de estados debido a su propia dinámica, la cual opera a través de los siguientes mecanismos:

- De variación: una dinámica que amplía el espacio de estados posibles del sistema.
- De selección: una emergencia fuerte que, a través de causación descendente, selecciona un determinado conjunto de esos estados posibles, confinando al sistema en él. En los sistemas fuertemente autorregulados, esta selección proviene del interior del propio sistema.
- De transmisión: una dinámica que mantiene al sistema dentro de ciertos estados durante un determinado periodo de tiempo.
- De *autopoiesis*: en los sistemas fuertemente autorregulados, el sistema se mantiene intercambiando partes con el medio e influyendo en él.

4.1 Una definición de sistema complejo

Una vez descritas y definidas de manera rigurosa las características que todo sistema complejo parece, en principio, poseer, se pueden presentar de



forma compacta para ofrecer una definición general de sistema complejo. Debido a que parece haber –al menos en primera instancia– sistemas que, compartiendo todas o casi todas las demás características descritas, no parecen exhibir intercambio de materia con el medio, resulta pertinente dividir los sistemas complejos en, al menos, dos grados. Pues si bien es cierto que, para algunos, la genuina complejidad reside en los sistemas que se autoconstituyen, una definición que solo abarcara este tipo de sistemas dejaría fuera una gran cantidad de entidades que comparten con ellos no solo ciertas características, sino también los problemas asociados a ellas (no linealidad, gran cantidad de elementos en interacción, imposibilidades de predicción, autorregulación, etc.) y que, por tanto, también merecen un espacio en un estudio dedicado a la ontología de la complejidad. Las definiciones podrían tener la siguiente forma:

Definición de sistemas complejos de primer grado: un sistema dinámico que posee autorregulación relativa.

Definición de sistemas complejos de segundo grado: un sistema dinámico tal que posee autorregulación fuerte y *autopoiesis*.

Debido a que contienen cierto número de términos definidos, las definiciones son compactas. Si se desarrolla de nuevo la definición de sistema complejo de segundo grado (el tipo de sistema que suele verse como canónico en complejidad), se podría decir lo siguiente: un sistema complejo es una entidad tal que, debido a las propias reglas que definen su evolución en el tiempo, ha dado lugar a entidades ontológicamente novedosas (estructuras, procesos, propiedades...). Estas entidades, que se fundamentan en otras pertenecientes a un nivel inferior, constriñen el alcance de aplicación de la dinámica del propio sistema, reduciendo así sus grados de libertad y confinándolo en ciertas configuraciones. Esto hace que la propia dinámica del sistema, de forma indirecta, regule el comportamiento de este. También forman parte de esta dinámica procesos de intercambio de materia y energía con el medio circundante, mediante los cuales se conforman las estructuras que componen el sistema, y por tanto también poseen influencia en la regulación de este y viceversa.



§5. CONCLUSIONES

En primer lugar, conviene tratar la variedad de fuerzas de la emergencia a través de una distinción en grados. No parece que, en principio, se haya de determinar que todos los casos de emergencia son ontológicamente reducibles o no reducibles, sino que los diferentes sentidos o grados de la emergencia se adecuan mejor dependiendo de las circunstancias. Así, la emergencia en termodinámica, es decir, la aparición del calor, la temperatura, la entropía, etc., a partir de interacciones de miles de partículas, resulta reducible ontológicamente a través de la mecánica estadística; en cambio, en otros casos, como los sistemas autoorganizados (que a su vez tienen como base sistemas termodinámicos), esta emergencia no parece reducible de ninguna forma.

Además, a través de las relaciones mereológicas y de fundamentación se ha tratado de afrontar el problema de una definición positiva de la emergencia, ofreciendo una definición de este fenómeno que pone el acento en la distinción entre niveles, así como el hecho de la dependencia y no tanto en términos negativos como la irreductibilidad.

En cuanto a la causación descendente, se ha observado que una de sus principales lacras era la de la posibilidad de la violación del cierre causal. Por lo general, este problema depende de la interpretación de “causa” que se esté utilizando. Al interpretar la causación descendente a través del concepto de condiciones de frontera, este problema desaparece, pues es la estructura del propio sistema, y no una entidad ajena de un tipo nuevo, la que reduce el espacio de estados posibles del sistema, modificando su comportamiento.

Por su parte, la autorregulación se ha tratado de describir descomponiéndola en lo que parecen sus mecanismos básicos: variación, selección y transmisión. Estos procesos se han descrito en términos de otros fenómenos ya conocidos: la selección se puede ver como el efecto de las condiciones de frontera, la transmisión puede consistir en bucles de realimentación o estructuras más complejas como el ADN, la variación se entiende en términos de ampliación del espacio de estados posibles, etc.

Haciendo uso de las nociones de emergencia, autorregulación y causación descendente, por fin desarrolladas y clarificadas, se ha llegado finalmente a una definición de sistema complejo. Esta definición pone de manifiesto la



estrecha relación entre estos tres fenómenos, dado que la autorregulación depende, en parte, de la emergencia fuerte y la causación descendente. Se ha creído conveniente distinguir dos sentidos de sistema complejo, uno abarcando todos los sistemas que se construyen a sí mismos a través del intercambio de materia y energía con el medio (denominados *autopoieticos* por algunos autores), y otro, más débil, que comprende los sistemas que se autorregulan relativamente, simplemente tomando cierta información del medio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aracil, J., Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza.
- Ashby, W. R. (1962). Principles of the Self-Organizing System. En H. V. Forster, G. W. Z. Jr (eds.), *Principles of Self-Organization: Transactions of the University of Illinois Symposium* (págs. 255-278). Pergamon.
- Ayala, F. J., Dobzhansky, T. (1983). *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Ariel.
- Baas, N., Emmeche, C. (1997). On Emergence and Explanation. *Intellectica*, 2(25), 67-83.
- Bedau, M. A. (2008). Is Weak Emergence Just in the Mind? *Minds and Machines*, 18(4), 443-459.
- Bertalanffy, L. von. (2007). *Teoría general de los sistemas*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Bittner, T., Smith, B. (2004). Normalizing Medical Ontologies Using Basic Formal Ontology. En *Proceedings of GMDS 2004* (págs. 199-201).
- Bleeksmith, R., Null, G. (1991). Matrix representation of Husserl's part-whole-foundation theory. *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 32(1), 87-111.
- Buckley, W., Schwendt, D., Goldstein, J. A. (2008). Society as a complex adaptive system. *Emergence: Complexity and Organization*, 10(3), 86.
- Casati, R., Varzi, A. C. (1999). *Parts and Places. The Structures of Spatial Representation*. Cambridge: The MIT Press.



- Chalmers, D. J. (2006). Strong and Weak Emergence. En *The re-emergence of emergence. The emergentist hypothesis from science to religion*. Oxford University Press.
- Crutchfield, J. P., Farmer, J. D., Packard, N. H., Shaw, R. S. (1995). Chaos. En R. J. Russell, N. Murphy, A. R. Peacocke (eds.), *Chaos and Complexity* (págs. 35-48). Vatican Observatory Publications.
- Crutchfield, James P. (1993). The calculi of emergence: computation, dynamics and induction. En *Proceedings of the Oji International Seminar Complex Systems: from Complex Dynamics to Artificial Reality*. Numazu.
- Deacon, T. W. (2006). Emergence: the hole at the wheel's hub. En *The re-emergence of emergence. The emergentist hypothesis from science to religion*. Oxford University Press.
- El-Hani, C. N., Emmeche, C. (2000). On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation. *Theory in Biosciences*, 119(3), 234-275.
- Emmeche, C., Koppe, S., Stjernfelt, F. (1997). Explaining Emergence: Toward an Ontology of Levels. *Journal for General Philosophy of Science/Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*, 28(1), 83-119.
- Fine, K. (1995). Part-Whole. En B. Smith, D. W. Smith (eds.), *The Cambridge Companion to Husserl* (pág. 463). Cambridge University Press.
- Goodman, N. (1966). *The structure of appearance* (2.^a ed.). Indianapolis: The Bobbs-Merrill Company.
- Gulick, R. V. (1993). Who's in charge here? And who's doing all the work? En *Mental causation*. Oxford University Press.
- Heil, J., Mele, A. (1993). *Mental Causation*. Oxford: Clarendon Press.
- Holland, J. (2004). *El orden oculto. De cómo la adaptación crea la complejidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Husserl, E. (2006). *Investigaciones lógicas* (vol. II). Madrid: Alianza.
- Johnson, N. F. (2009). *Simply Complexity: A Clear Guide to Complexity Theory*. Oxford: Oneworld.
- Juarrero, A. (2013). Downward Causation: Polanyi and Prigogine. *Tradition and Discovery*, 40(3), 4-15.



- Kauffman, S. A. (1993). *The Origins of Order Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Kim, J. (2006a). Being realistic about emergence. En *The re-emergence of emergence. The emergentist hypothesis from science to religion*. Oxford University Press.
- Kim, J. (2006b). Emergence: Core Ideas and Issues. *Synthese*, 151(3), 547-559.
- Ladyman, J., Lambert, J., Wiesner, K. (2013). What is a Complex System? *European Journal for Philosophy of Science*, 3(1), 33-67.
- Lesniewski, S. (1992). *Collected works*. (S. J. Surma, J. Szrednicki, D. I. Barnett, V. F. Rickey, eds.). Warszawa/Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Maldonado, C. E., Cruz, N. A. G. (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad. Una investigación sobre qué son, su desarrollo y sus posibilidades*. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.
- Maturana, H., Varela, F. (2003). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Buenos Aires: Lumen.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Murphy, N. (2006). Emergence and mental causation. En *The re-emergence of emergence. The emergentist hypothesis from science to religion*. Oxford University Press.
- Ogata, K. (1987). *Dinámica de sistemas*. Nuacalpan de Juárez: Pentice-Hall Hispanoamericana.
- Polanyi, M. (2012). Life's irreducible structure. *Emergence: Complexity & Organization*, 14(4), 139-153.
- Prigogine, I. (2006). *El nacimiento del tiempo*. Buenos Aires: Tusquets.
- Russell, R. J., Murphy, N., Peacocke, A. R. (eds.). (1995). *Chaos and Complexity* (2.^a ed.). Notre Dame: Vatican Observatory Publications.
- Schaffernicht, M. (2009). *Indagación de situaciones dinámicas mediante la dinámica de sistemas*. Talca: Editorial Universidad de Talca.



- Simon, J., Smith, B. (2004). Using philosophy to improve the coherence and interoperability of applications ontologies: a field report on the collaboration of IFOMIS and L&C. En *Proceedings of the Firts Workshop on Philosophy and Informatics*. Colonia.
- Simons, P. M. (1982). Three essays in formal ontology. I. The formalisation of Husserl's theory of wholes and parts. En *Parts and moments. Studies in logic and Formal ontology*. Philosophia.
- Smith, B. (2005a). Against Fantology. En J. C. Marek, M. E. Reicher (eds.), *Experience and Analysis* (págs. 153-170). HPT&ÖBV.
- Smith, B. (2005b). The Logic of Biological Classification and the Foundations of Biomedical Ontology. En *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 12th International Conference* (págs. 505-520). King's College Publication.
- Smith, B. y cols. (2005). Relations in Biomedical Ontologies. *Genome Biology*, 6(5), R46.
- Urbaniak, R. (2008). *Lesniewski's Systems of Logic and Mereology. History and Re-Evaluation* (tesis doctoral). University of Calgary.
- Vicente, A. (2001). El principio del cierre causal del mundo físico. *Critica*, 33(99), 3-17.
- Zill, Dennis G. (2005 [1940]). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado* (7.^a ed.). México D. F.: Thomson Learning.

