

1.1.1. Etimología y significados comunes del término complejidad

El concepto de complejidad no es una categoría técnica acuñada desde cero, sino un término del lenguaje común que, como tal, tiene un conjunto de significados históricamente adquiridos y fijados. Esos significados comunes, como no podía ser de otro modo, han condicionado el modo como el término ha sido integrado y utilizado en los discursos eruditos (filosóficos y científicos) y las posibilidades de evolución del mismo en las constelaciones teórico-conceptuales elaboradas en el marco de esos discursos.

El término *complexe* surgió en el siglo XIV en la lengua francesa a partir del latín *complexus* (palabra que resulta de la conjunción de *cum* y de *plecti*, *plexi*, *plectere*, *plexum*) y se utilizaba con los significados de enrollar los cabellos (rizar, trenzar), entrelazar, tejer, enlazar, abrazar, contener una cosa dentro de otra.

En su origen, el verbo *plectere* remite al trabajo del cesterero que trenza ramitas en forma de un círculo en el que el principio y el final (*arché* y *télos*) no se distinguen (Weinmann 1990: 34-35). El prefijo *con* añade a *plectere* el sentido de una dualidad en la que a dos elementos se enlazan íntimamente, pero sin anular la dualidad. *Complectere* se utilizaba tanto para referirse al combate entre dos contendientes como al entrelazamiento de dos amantes.

En el siglo XVI, *complexe* fue retomado como adjetivo para calificar lo compuesto por diversos elementos heterogéneos que mantienen entre sí numerosas y diversas relaciones y que, por ello, resultan difíciles de captar, de aprehender. Se habló, así, con este significado, de una personalidad, una sociedad, un sentimiento y un pensamiento complejo (*complexes*).

El sustantivo *complexité* apareció a mediados del siglo XVIII, para referirse a algo juzgado como complejo generalmente en contraposición a algo valorado como no complejo (como *simple*).

Desde mediados del siglo XVIII hasta principios del siglo XX, el calificativo *complexe* se introduce y utiliza en varios ámbitos científicos (lingüística, semiótica, matemáticas, música, psicología, química, biología, geometría, economía, medicina). Se habla así, por ejemplo, de complejo de Goigi, complejo de Edipo, complejo ganglio-pulmonar, número complejo. En muchos de esos casos, el término complejo remite a un elenco de elementos diversos que, merced a su interdependencia, constituyen un conjunto o todo más o menos coherente.

En castellano, según el Diccionario de la Real Academia Española, el significado del término complejidad es remitido a los significados complejo, pues la complejidad se define como cualidad de complejo». El término complejo tiene tres significados fundamentales, que son de interés de cara a nuestra clarificación y comprensión conceptual de la complejidad: 1) compuesto de elementos diversos 2) complicado: enmarañado, difícil, compuesto de un gran número de piezas; 3) conjunto o unión de dos o más cosas. La complejo, pues, presenta un carácter tanto objetivo (unión de elementos diversos) como subjetivo (difícil de comprender).

Como se verá, varios de los significados más técnicos o eruditos que, en el ámbito de las ciencias naturales y sociales, cobrarán la noción de complejidad o se vincularán con la misma (multidiciplidad de elementos relacionados, retroacción, sistema, incertidumbre) entroncan con los significados etimológicos o comunes del sustantivo complejidad y del adjetivo complejo.

1.1.2. Teorías de la complejidad: principales etapas o generaciones

Se han distinguido varias etapas, corrientes o generaciones en el desarrollo histórico de las «teorías de la complejidad, de los planteamientos teóricos relacionados con la idea de complejidad.

Expondré a continuación dos de esas clasificaciones históricas.

Hebert A. Simon (1996) distingue tres «etapas», «brotes», momentos, u «oleadas» relacionadas con la complejidad y los sistemas complejos, en cada una de las cuales se ha puesto la atención en «distintos aspectos de lo complejo» (Simon 1996: 201 – 202).

Un primer brote se originó tras la Primera Guerra Mundial, puso el acento en la idea de que el todo trasciende la suma de las partes, tuvo un marcado carácter antirreduccionista y reivindicó el holismo.²

Un segundo brote, surgido tras la Segunda Guerra Mundial, estuvo vinculado a la cibernética y a la teoría de los sistemas generales.

Finalmente, Simon distingue un tercer brote, vigente en la actualidad,

En el que aparecen nuevas ideas, conceptos y herramientas para pensar y abordar la complejidad y los sistemas complejos, tales como la teoría del caos, la teoría de las catástrofes, los sistemas complejos adaptativos, los algoritmos genéticos y los autómatas celulares.

Como Simon (1996: 216) señala, la complejidad ha sido vista cada vez más por la ciencia «como una característica clave del mundo en el que vivimos y de los sistemas que coexisten en nuestro mundo».

En esta línea de reflexión, lo novedoso no es tanto el estudio de sistemas complejos particulares, pues no constituye una novedad para la ciencia intentar comprender ese tipo de sistemas³, sino «el estudio del fenómeno de la complejidad en sí mismo».

Más recientemente, Michel Alhadeff-Jones (2008), inspirándose en Simon (1996) y en Le Moigne (1996), considera que de 1940 a nuestros días es posible distinguir la emergencia cronológica de al

² El holismo fue formulado a finales de la década de 1920 por el estadista y filósofo sudafricano J. C. Smuts («Holism», Encyclopedia Britannica. vol. 11, 1929). Según Smuts, el holismo es la consideración de los objetos naturales como «totalidades» que «no pueden ser completamente reducidas a la suma de sus partes» y que son, por ello, «más que la suma de sus partes». En el sentido de que «el mero ensamblaje mecánico de sus partes no las produce ni da cuenta de su comportamiento y características» (cit. en Simon 1996: 202). El holismo defiende el principio de emergencia, según el cual un sistema complejo manifiesta propiedades nuevas que no tienen sus componentes.

³ Los átomos, por ejemplo, que fueron considerados como partículas elementales, pasaron a ser tratados esencialmente como sistemas complejos (Simon 1996: 219).

menos tres generaciones de teorías de la complejidad, es decir, de teorías que han contribuido al estudio de fenómenos entendidos como complejos y, de manera más específica, al estudio de lo que Warren Weaver (véase posteriormente) denominó como «complejidad organizada».

1.1.3 Primera generación de teorías de la complejidad

Una primera generación de teorías de la complejidad estaría constituida por las teorías de la información y de la comunicación, por las primeras investigaciones con autómatas celulares (Cellular automata) y con redes neuronales (Neural networks), y por la cibernética y el análisis operacional.

Las teorías de la información y de la comunicación se desarrollaron a partir de la teoría matemática de la comunicación formulada por Claude Shannon (1949). El primer autómata celular fue diseñado por John Von Neumann en la década de 1940. Las redes neuronales, con las que los defensores del modelo coleccionista del cerebro pretendían obtener un análogo de este órgano, fueron impulsadas por los trabajos de Warren macCulloch y Walter Pitts (1943). En 1951 Marvin Minsky construyó la primera red neuronal. Posteriormente, a finales de la década de 1950, Frank Rosenblatt construiría su Perceptron (dispositivo con conexiones tipo

neuronal capaz de percibir, reconocer e identificar elementos de su entorno).

La cibernética (del griego *XuBepvntns*, que significa Timonel) tiene su génesis en los trabajos y estudios conjuntos que realizaron Wiener, Rosenblueth y Bigelow a mediados de la década 1940. Definida por Wiener (1948: 35) como la teoría del control y la comunicación en máquinas y animales, designan a partir de la década de 1950 un vasto campo de investigación centrado en el estudio de circuitos o mecanismos de control de distinto tipo, fundamentalmente mecánicos y biológicos, pero también psicológicos y sociales.

Los grupos de análisis operacional (*operations analysis groups*), equipos pluridisciplinarios (*mixed teams approaches*) compuestos por profesionales provenientes de distintos campos científicos (matemáticos, psicólogos, biólogos, sociólogos), fueron constituidos por las fuerzas armadas británicas y estadounidenses durante la segunda Guerra mundial para la resolución de determinados problemas tácticos y estratégicos. Tras la finalización del conflicto Bélico, los grupos de análisis operacionales se institucionalizaron bajo la denominación de investigación operacional (*Operational Research*), campo del estudio centrado en el desarrollo de algoritmo que permitan enfrentar los procesos de decisión multidimensionales que conllevan incertidumbre (Churchman, Ackoff y Arnoff 1957; Beer 1959).

1.1.4 Segunda generación de teorías de la complejidad

Por lo que a la segunda generación de teorías de la complejidad compete, de esta formarían parte, entre otras, las siguientes ciencias y teorías: ciencias de la computación, ciencias de la gestión e inteligencia artificial, teorías de los sistemas, teorías de la auto organización (*self – organization*), cibernética de segundo orden (*cybernetics of cybernetics*) de Heinz Von Foerster (1974), estudio de las dinámicas no lineales (estructuras disipativas, catástrofes, caos y fractales).

En el seno de las ciencias de computación se gestaron las nociones de complejidad computacional y complejidad algorítmica (*algorithmic complexity*).

Las ciencias de la gestión y de la inteligencia artificial –campos en el que las ciencias de la computación confluyente con las ciencias económicas, la Psicología y la Lógica– se desarrolla de manera paralela a la institucionalización de la investigación operacional y las aplicaciones de la cibernética en el campo de la gestión. Para su desarrollo fueron fundamentales los trabajos de Simón (1947) sobre los procesos de toma de decisión (*decision –making processes*) en el seno de organizaciones administrativas y sobre la resolución de problemas heurísticos (*heuristic problem solving*) (Simón y Newell 1958).

La *General System Theory* (teoría general de los sistemas) fue propuesta como proyecto de trabajo por el biólogo Ludwig von Bertalanffy (1968), quien llevo a cabo sus primeros avances; posteriormente fue impulsada y desarrollada por otros sistemas, como George Klir, Kenneth Boulding, Anatol Rapoport, Russell Ackoff y Ervin Laszlo. Los trabajos de Forrester (1961) sobre la dinámica de los sistemas y

la teoría de los autómatas (el cibernético W. Ross Ashby ya que se había ocupado de la cuestión de la auto-organización a finales de la década anterior). A comienzos de la década de 1960 la problemática de la auto-organización viviente emergió como problema clave en 3 influyentes simposios sobre Self-Organizing systems (Yovits y Cameron, ed. 1960; Yovits, Jacobi y Goldstein, ed. 1962; Von Foerster y Zopf ed. 1962). Los trabajos sobre la auto-organización viviente fueron constituidas durante los años setenta del siglo xx por varios autores, con Henri Atlan (1970 y 1972). También durante esos años, Francisco Maturana y Humberto Varela (1972) lanzaron su propuesta de la auto-poiesis (producción por parte del sistema de las componentes que lo constituyen) como propiedad definitoria de los sistemas vivientes.

Junto a esas corrientes ligadas a la cibernética y a los estudios de la auto-organización viviente, se desarrolló también otra corriente relacionada con la auto-organización, está ligada a la escuela de Bruselas capitaneada por el premio Nobel de Química Ilya Prigogine (1947 y 1971). En este caso, la auto-organización se desarrolla en el ámbito de la termodinámica de los procesos irreversibles y de la configuración de esas estructuras es descrito y explicado como un proceso de auto-organización.

La dinámica no lineal experimento un importante impulso durante la década de los setenta, propiciando en buena medida por el desarrollo de la informática y, con ello, del incremento de las posibilidades técnicas de estudiar sistemas no lineales mediante simulaciones informáticas.

La conocida como teoría de las catástrofes fue elaborada por el matemático René Thom (1975). Con el término catástrofe Thom se refiere a las discontinuidades (transición discontinua, salto de un estado a otro, rupturas de equilibrio) que se pueden presentar en la evolución de un sistema.

La teoría del caos surgió a finales de la década de 1970 y se estableció como tal durante la segunda mitad de la década siguiente. Aunque el nacimiento o interés actual por lo que terminaría denominándose como «caos determinista» tuvo su origen el paper del meteorólogo Edward Lorenz, por entonces investigador en el MIT, titulado «Deterministic Nonperiodic Flow» (1963), no obstante, no fue hasta mediados de la década de 1970, tras los trabajos de David Ruelle y Floris Takens (1971), cuando el caos comenzó a cobrar relevancia en la comunidad científica. El término caos fue introducido por Tien-Yien Li y James A. Yorke en un artículo que publicaron en 1975.

La teoría de los fractales fue presentada por Benoit Mandelbrot (1975/1984:171) los objetos fractales, que solían considerarse como «patología matemática», han

de ser considerados como «la expresión de la robusta complejidad de la realidad». El hecho de que haya sistemas caóticos con atractores extraños y de que estos tengan una estructura fractal conecta la teoría del caos con la geometría de los fractales.

1.1.5 Tercera generación de teorías de la complejidad

La tercera generación de teorías sobre la complejidad que Alhadeff-Jones establece estaría constituida por dos líneas. Por un lado, están las investigaciones que se realizan en el marco de lo que se ha dado en llamar y se conoce como ciencias de la complejidad (Sciences of Complexity)⁴. Entre esas investigaciones destacan los

⁴Esta expresión se acuña a raíz de la creación en 1984 del Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity (Nuevo México, Estados Unidos), a la que contribuyeron varios premios Nobel de distintas disciplinas (los físicos Murray Gell-Mann, principal impulsor del instituto, y Philip Anderson; los economistas Kenneth Arrow y Brian Arthur), así como varios investigadores (entre otros: George Cowan, experto en química de elementos radiactivos).

estudios sobre sistemas complejos adaptativos (Complex Adaptive Systems), los planteamientos de Chris Langton (1997) sobre la Vida Artificial (Artificial Life o Alife), las tesis de Per Bak (1991 y 1996) sobre criticalidad auto organizada (self-organized criticality), y los trabajos de John H. Holland (1995) con algoritmos genéticos (genetic algorithm), de Stuart Kauffman (1993, 1995 y 2000) con redes booleanas (boolean networks) y de Stephen Wolfram (2001) con autómatas celulares.

El algoritmo genético, originariamente denominado -plan adaptativo-, fue desarrollado en la década de 1960 por Holland y sus colegas de la universidad de Michigan. Las redes booleanas aleatorias, prefiguradas por Alan Turing en una serie de escritos de finales de la década de 1930 que permanecieron inéditos hasta 1968, fueron propuestas inicialmente por Kauffman, en 1969, como modelo para comprender una serie de fenómenos genéticos (Kauffman desconocía los textos de Turing).

En las ciencias de la complejidad el ordenador (entendido no solo como hardware, sino sobre todo como software: programas y algoritmos informáticos) constituye la herramienta de investigación clave y fundamental, tanto por la capacidad de los ordenadores para manejar grandes cantidades de datos como, en especial, por las potencialidades que ofrecen para simular o modelar sistemas o fenómenos complejos cuyo estudio experimental resulta imposible o harto difícil.

La otra línea de la tercera generación de teorías sobre la complejidad la trazan el pensamiento complejo de Edgar Morin (con su obra magna *El método*, publicada en seis volúmenes, 1977-2001) y, en estrecho vínculo con este, la propuesta sistémica o sistemista de Jean-Louis Le Moigne (1979/1984 y 1990) de modelización de la complejidad (Programme Européen MCX –Modélisation de la complexité-).

El biólogo Stuart Kauffman; Christopher Langton, experto en sistemas de computación y el matemático John Conway). El Santa Fe Institute está dedicado a la búsqueda de los principios universales, de las reglas o pautas fundamentales, comunes a sistemas complejos adaptativos (un embrión, una sociedad, un ecosistema...) de muy distinta naturaleza (Lewin 1992: 23 y 36).

Como hemos visto, las reflexiones y teorías sobre la complejidad han surgido originalmente en el ámbito de las ciencias matemático, físicas, biológicas e informáticas. Solo posteriormente han ido pasando, por distintas vías, a las Ciencias Sociales y las Humanidades. En ese paso, la obra de Edgar Morin ha desempeñado un papel fundamental. También los planteamientos sistemistas de Niklas Luhmann (1968, 1974 y 1996) han contribuido a la introducción y difusión de la noción de complejidad en las ciencias sociales y de manera particular, en los estudios jurídicos y la ciencia de la administración, ámbitos donde el pensamiento complejo de Morin ha tenido una mejor repercusión.

1.2. La complejidad y los conceptos asociados a esta en las dos primeras generaciones de teorías sobre la complejidad.

Más allá de los autores y las corrientes teóricas que he referido en los puntos anteriores, los analistas que has estudiado la génesis y el desarrollo de las teorías de la complejidad coinciden en designar al texto «*Science and Complexity*» de Warren Weaver, publicado en 1948 en la *American Scientist*, como el texto que introduce en el ámbito de las ciencias naturales el abordaje de determinadas cuestiones en términos de complejidad⁵. Resulta adecuado, pues, que comencemos nuestras indagaciones históricas sobre la noción de complejidad ocupándonos de dicho texto.

1.2.1. Simplicidad, complejidad desorganizada y complejidad organizada

En su texto fundacional Weaver plantea en términos de «simplicidad», «complejidad», «desorganización» y «organización» determinados problemas científicos.

Según el, antes del siglo XX la física se había ocupado sobre todo de «problemas de la simplicidad» (problems of simplicity),

⁵ La propuesta de una epistemología no cartesiana de las ciencias formulada por Gaston Bachelard (1934) ha sido considerada también por varios autores como precedente de las reflexiones sobre complejidad. Bachelard discutió y negó la existencia de fenómenos o realidades simples, entendiendo por «simple» lo no relacionado. Todo fenómeno es «un tejido de relaciones», un compuesto, un todo compuesto de relaciones entre componentes.

del estudio de la correlación entre dos variables. A partir del siglo XX, un poco antes si se tienen en cuenta las aportaciones de J. W. Gibbs, las ciencias físico-matemáticas comenzaron a abordar problemas o situaciones de complejidad desorganizada, esto es, problemas o situaciones en los que el número de variables es muy grande (no estaban solamente implicadas dos, tres o cuatro variables, si no varios miles o incluso millones de ellas) y en los que cada una de las variables tiene comportamiento irregular (erratic) o totalmente desconocido.

Para abordar estos problemas de complejidad desorganizada los científicos desarrollaron técnicas y teorías basadas en la teoría de la probabilidad y en métodos estadísticos (como la mecánica estadística), que permiten obtener promedios, frecuencias medias.

En los problemas o las situaciones de complejidad desorganizada, a pesar del comportamiento errático de cada variable individual o del desconocimiento de su comportamiento, el sistema como un todo posee un determinado orden de propiedades medias analizables.

Entre los problemas de la simplicidad y los de la complejidad desorganizada queda una región de problemas, situaciones y fenómenos que presentan aspectos diferenciales importantes⁶.

El primer lugar, se trata de problemas que tienen que ver con el manejo de un número considerable de variables, en comparación con el número de variables involucradas en los problemas de la simplicidad, pero pequeño en comparación con las elevadas o incluso astronómicas cantidades de variables implicadas en las situaciones de complejidad desorganizada.

Pero no es ese su aspecto más importante. La relevancia de los problemas metodológicos que existen en esa región intermedia no reside principalmente en el hecho de que impliquen un número moderado de variables. Lo relevante es que dichos problemas o situaciones muestran

Weaver no plantea el asunto de la simplicidad y la complejidad en términos de «modelos», como erróneamente cree Carlos Reynoso (2006: 30): «El creador de la distinción entre modelos mecánicos, estadísticos y sistémicos (o complejos) fue sin duda Warren Weaver (1948)». Plantea dicho asunto fundamentalmente en términos de «problemas» (a veces también de «situaciones»); no habla de tres «modelos», sino de tres «problemas»: Problems of Simplicity, Problems of Disorganized Complexity y Problems of (Organized Complexity)⁷.

la organización como característica esencial, es decir, los factores que involucran están interrelacionados, estrechamente ligados, en un todo orgánico (organic

whole). Se trata, por ello, de problemas de complejidad organiza (organized complexity).

Los problemas de complejidad organizada son, por tanto, problemas que implican tratar simultáneamente con un importante número de factores que están interrelacionados en todo orgánico.

Una amplia gama de problemas biólogos, médicos, psicológicos, económicos y políticos son problemas de complejidad organizada, presentan esa característica de la complejidad organizada. En las ciencias de la vida, por ejemplo, los problemas importantes casi nunca presentan un carácter de simplicidad. Los fenómenos biólogos importantes pocas veces pueden explicarse y comprenderse aislando algunas variables y estudiando su correlación mientras se mantiene constante el resto de posibles variables implicadas. Ello se debe a que esos fenómenos biólogos suelen estar formados por un número elevado de factores sutilmente interconectados, de manera que constituyen conjuntos complejos organizados (complexly organized whole). Debido a esto, las variaciones que se producen en alguno de esos factores generan simultáneamente cambios en otros y la medición cuantitativa de sus valores resulta difícil o imposible.

A juicio de Weaver, los problemas de complejidad organizada no son abordables con los métodos científico-matemáticos utilizados para resolver los problemas de la simplicidad ni con las técnicas estadísticas adecuadas para los casos de complejidad desorganizada. Si durante el siglo XIX la ciencia conquisto los problemas de la simplicidad y en el siglo XX los de la complejidad desorganizada, deberá ahora afrontar el reto de realizar un tercer avance que le permita abordar adecuadamente los problemas de complejidad organizada⁸.

⁷ Según Alhadeff-Jones (2008), Weaver «identifica la emergencia sucesiva de tres formas de concebir la complejidad de los problemas abordados en el campo científico». No es así. Lo que Weaver identifica son tres modalidades de problemas, de los cuales dos tienen que ver con dos formas de complejidad (desorganizada y organizada) y el otro con simplicidad.

⁸ La posibilidad de extender el tratamiento y el conocimiento científico al ámbito de los problemas y las situaciones de complejidad organizada no significa para Weaver que de ese modo la ciencia pueda ampliar sus dominios a la totalidad de las realidades (físicas, biológicas y humanas) y convertirse en la única herramienta para resolver todos los problemas. Para Weaver, la ciencia es un modo para resolver problemas. La ciencia es, ciertamente, una herramienta de conocimiento poderosa con un historial de éxitos impresionante, pero no puede conocer todas las realidades. Los problemas que la ciencia puede abarcar son aquellos en los que predominan factores que están sujetos a las leyes básicas de la lógica y que son mensurables en alto grado, pero hay partes esenciales de la vida humana que son «alógicas» y que tienen un carácter no cuantitativo. La ciencia se ocupa de problemas cuantitativos que tienen un carácter puramente lógico («science deals with quantitative problems of a purely logical character»).

Weaver señala dos nuevos avances, originados en parte por intereses bélicos, que pueden contribuir al desarrollo de nuevos métodos de análisis aplicables al estudio de los problemas de complejidad organizada y a la resolución de los

mismos: los dispositivos informáticos y la constitución de equipos de análisis y operaciones compuestos por especialistas procedentes de distintas disciplinas (matemáticos, físicos, ingenieros, pero también biólogos, psicólogos y sociólogos).