

Quo Vadis Complexity Science?

Una visión de la complejidad a partir del enfoque sistémico

JOSÉ RODOLFO HERNÁNDEZ-CARRIÓN

Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Valencia (España)

Abstract: The twentieth-century science has verified that systems cannot be understood by analysis. We can understand the properties of the parts only within the context of the large whole. Systems thinking is 'contextual', and evolutionary thinking required a new science of complexity where systemic concepts and principles can be applied in many different fields of study. At the beginning of the new millennium, our survival and competitiveness will depend on our ability to understand this 'general science of wholeness' or 'Complexity Science'. For this reason we need to create new scientific centers for learning and discussing the characteristics of systems thinking and for being able to solve the new problems coming up from an increasing complexity and globalization context.

Keywords: Complexity, systems science, complex dynamics, interdisciplinary, scientific policy.

Resumen: La ciencia del siglo XX ha constatado que los sistemas no pueden ser comprendidos por medio del simple análisis. Las propiedades de las partes sólo pueden ser explicadas en el contexto de un conjunto mayor. El pensamiento sistémico es "contextual", y el pensamiento evolucionista requiere una nueva ciencia de la complejidad en la cual los conceptos y principios sistémicos puedan ser aplicados en distintos campos de estudio. En el comienzo del nuevo milenio, nuestra supervivencia y competitividad va a depender de nuestra capacidad de comprender y aprehender esta "ciencia de la totalidad" o "Ciencia de la Complejidad". Para esto, necesitamos crear nuevos centros e institutos científicos que nos permitan entender y debatir los presupuestos sistémicos así como resolver los nuevos acuciantes problemas que se nos plantean en un contexto de creciente complejidad y globalización.

Palabras clave: Complejidad, ciencia de sistemas, dinámicas complejas, interdisciplinario, política científica.

1. INTRODUCCIÓN.

Estamos siendo testigos del cumplimiento del proyecto iniciado en los siglos XVI y XVII con la emergencia de la Ciencia moderna; ahora ya sabemos que el futuro es construcción y que, como señala el Premio Nobel de Química Ilya PRIGOGINE (1983: 288-289), no hay "fin" para la historia, así, cuando unas tendencias acaban, empiezan otras. Ya desde tiempos muy remotos se han continuamente buscado respuestas adecuadas a partir del supuesto *juego limpio de la Naturaleza*. Los filósofos han pretendido establecer un saber crítico y racional acerca del Universo. El hombre necesitaba un sistema ordenado para poder determinar, a partir de los datos observados, las leyes subyacentes. Progresar de uno a otro punto estableciendo líneas de argumentación planteaba la necesidad de usar la "razón" durante ese proceso. La "intuición" podía servir como guía dentro de esa búsqueda de

respuestas; mas para poder apoyar la teoría deberá confiarse al final en una lógica estricta.

Aristóteles fue el primero en establecer los fundamentos de la lógica sistemática, resumiendo las reglas de un razonamiento riguroso que permitiera descubrir los errores o falacias del razonamiento. No obstante, el culto griego a la deducción basada en una serie de axiomas o verdades obvias y aceptables para todos de innecesaria demostración, tiene el potencial peligro de conducirnos hacia un callejón sin salida. Podría, de hecho, plantearse una situación tal que la verdad acabara siendo asumida en función de *quién* sea aquel que la afirme o defienda. En todo caso, la deducción como único medio respetable de alcanzar el conocimiento, pudo tener su fundamento en aquella época, en gran parte, por la dificultad de demostrar una teoría perfecta mediante instrumentos demasiado imperfectos.

Cambiar axiomas no se puede considerar como algo sin importancia. El sistema copernicano asumió ese reto y, además, representó adicionalmente un enfoque totalmente nuevo de la Naturaleza. La experimentación comenzó a hacerse filosóficamente respetable a partir de las aportaciones de Roger Bacon, Tomás de Aquino y Galileo Galilei; éste último, además de paladín de la revolución, fue el primero en utilizar la medición de una forma sistemática. La revolución consistía principalmente en situar a la inducción por encima de la deducción como el método lógico de la Ciencia; a partir de las observaciones se podrían derivar generalizaciones.

Isaac Newton completaría —en ese mismo siglo XVII— la revolución iniciada por Galileo, reconstruyendo las leyes universales en base a unas pocas y simples presunciones. La física newtoniana había terminado con la "autoridad de Aristóteles" y parecía haberse descubierto la clave matemática del Universo. La Ciencia inductiva representaba una labor inmensa; la complejidad de la Ciencia se incrementó a partir de ahí. Con cada generación de científicos la especialización fue creciendo e intensificándose progresivamente; de manera que el científico tendió a limitarse cada vez más a una parte del saber, para profundizar más intensamente en esa parcela específica. Se impuso así la especialización en la Ciencia —debido a su propio e inexorable crecimiento— y esa es la herencia con la que nos encontramos franqueando las puertas del siglo XXI.

La comunicación entre los científicos disciplinarios individuales es, hoy en día, sin duda copiosa. Los científicos han establecido un léxico de entendimiento válido sólo para los especialistas de su propia disciplina, a modo de "Reinos de Taifas". Por otra parte, los científicos se han convertido en unos cuantos elegidos cuyas publicaciones y logros son incomprensibles para el profano. Todo este conjunto ha supuesto un grave obstáculo para la propia Ciencia en muchos sentidos. Se trata de algo que afecta, en general, especialmente a los científicos encuadrados dentro de las distintas disciplinas, dentro de la concepción de la ciencia moderna. Sin embargo, para apreciar satisfactoriamente los logros de un determinado campo científico, no debería ser preciso un total conocimiento del mismo. Nos enfrentamos a una falta de voluntad de comunicación, además de a problemas adicionales en términos de terminología y vocabulario. Todo esto es consecuencia, en parte, de la inexistencia de un cuerpo central científico que reduzca los problemas de multiplicidad de vocablos para idénticas o similares referencias.

A diferencia de lo que ocurre en cualquier especialidad científica, la filosofía no posee un

conjunto (casi) universalmente admitido de verdades o resultados. La filosofía es una actividad permanente de análisis conceptual y de argumentación crítica, aplicable a cualquier cosa. Con frecuencia se dice que un científico está filosofando o haciendo filosofía cuando traspasa los supuestos —de acuerdo a algunas concepciones— "límites" de su propia especialidad, y hace consideraciones más generales que las permitidas en el marco metodológico de la misma. También cuando trata de analizar con más calma y exactitud de la ordinaria los conceptos o nociones que utiliza; o cuando explicita o cuestiona críticamente los cánones metodológicos de base de ésta.

La ciencia, y el llamado *problema de la demarcación* —la búsqueda de un criterio que nos permita distinguir la ciencia de lo que no lo es—, siguen constituyendo el foco de atención de los filósofos. En todo caso, la palabra *Ciencia* denotaría un saber de tipo colectivo, producido y transmitido por especialistas, expresado en un lenguaje preciso, susceptible de ser utilizado para la explicación de los hechos pasados y la predicción de los futuros. Si bien la ciencia es un arte de manipulación de la naturaleza, también es un esfuerzo por comprenderla que nos permita respondernos a algunas cuestiones básicas. Algunos ya se han llegado a plantear la posible no necesidad de una axiomática, puesto que lo importante serían las relaciones y no habrían unas cosas que se debieran considerar más importantes que otras. Sería el equivalente a una estructura en forma de red, con cierta uniformidad y homogeneidad en sus conexiones sin diferenciación de importancia.

Desde esta última perspectiva, no existencias, se percibe la realidad como una red de relaciones, nuestras descripciones forman parte de una red interconectada de conceptos y modelos. En palabras de uno de nuestros maestros: "La noción de conocimiento científico como red de conceptos y modelos en la que no hay partes más fundamentales que otras fue formalizada en física por Geoffrey Chew en su *filosofía bootstrap* en los años setenta. [...] Ninguna de las propiedades de ninguna parte de la red es fundamental; todas se derivan de las propiedades de las demás partes y la consistencia total de sus interrelaciones determina la estructura de toda la red" (CAPRA, 1998: 59). Esta concepción nos permitirá situarnos en una posición de vanguardia de la filosofía de la ciencia; en la nueva corriente inmersa en este proceso de "metamorfosis de la ciencia" del que somos testigos.

2. LA TEORÍA DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS.

La Teoría General de Sistemas está llamada —según sus promotores— a convertirse en el nuevo paradigma de la ciencia en su totalidad. El fundador y promotor de la Teoría General de los Sistemas fue el biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy, quien elaboraría el principal concepto clave de la disciplina hacia 1940. Se trataría del concepto de “*sistema abierto*”, que parecía integrarse bastante bien dentro de los desarrollos paralelos que tenían la cibernética y otras disciplinas afines. Algo que luego se revelaría como un elemento clave diferenciador de aquellas, a la vez que impulsor de los nuevos planteamientos que tendrían lugar. El concepto de *sistema abierto* tenía como características más sobresalientes la "uniformidad" y la "irreversibilidad".

La Teoría General de Sistemas sería capaz de integrar los modelos y generalizaciones abstractas que han desarrollado la cibernética y las otras disciplinas afines, y representaría realmente una alternativa racional y totalizadora que superaría las actuales insuficiencias del “mecanicismo”. El nuevo paradigma “organicista” u “organísmico” plantearía la visión del mundo como una gran organización. Retomaría las originales ideas aristotélicas al considerar toda entidad como un sistema, es decir, como universos o conjuntos de elementos (la materia) provistos de estructura (la forma); y, evidentemente, los elementos del universo de un sistema pueden ser a su vez sistemas (conjuntos estructurados). Nos encontramos así con un marco conceptual idóneo para la unificación de las diversas disciplinas que se habían quedado aisladas y fragmentadas.

Sin entrar a discutir o defender en qué medida puede ser considerada como un adecuado paradigma científico alternativo y si la doctrina de *principios* puede realmente ser aplicable a todos los sistemas; sí nos parece realmente interesante mantenerla como referencia en la medida en que constituye una auténtica *metodología interdisciplinar* que nos puede facilitar el abordaje de ciertos argumentos de carácter global sin romper necesariamente con los esquemas anteriores. Nos permitiría trabajar con diferentes aspectos que se hallan contenidos en distintas disciplinas científicas tradicionales; por tanto cabe hablar de “interdisciplinariedad”, en la medida que estudiamos áreas de conocimiento que se encuentran en una posición privilegiada de “encrucijada”.

Sería precisamente, ese carácter interdisciplinar que le es característico, lo que nos permitiría conectar los elementos más interesantes que nos sirvieran para comprender los procesos de cambio y selección que nos interesan dentro de un marco de globalidad. Aún aceptando la existencia de una cierta confusión en relación a muchos de los

conceptos que pueden resultar relevantes para la Teoría de Sistemas, no cabe omitir las notables aportaciones que esta nueva cosmovisión es capaz de introducir. En particular, el concepto de “*sistema*” se convierte en punto de referencia fundamental a la hora de comenzar a abordar el estudio de la realidad desde la metodología sistémica.

Partiendo de la concepción del mismo BERTALANFFY (1976), quien nos procuró una definición muy operativa y genérica de *sistema*, estos vendrían a ser complejos de elementos en continua interacción. Con esto se diferenció al sistema de su entorno, dándole una entidad propia e independiente; algo que permitiría concebir el sistema como un todo o unidad, a la vez que éste se encontraba inmerso en un cuadro más completo. El sistema podía ser definido como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí y con el medio circundante.

Sobre las propiedades de los sistemas en general, una consideración fundamental de la teoría de sistemas es la existencia de lo que ha venido a llamarse *propiedades emergentes o sistémicas*. Esta idea es fundamental para comprender que, los entes pueden reunir una serie de propiedades que no tienen por qué coincidir con las del subsistema al que pertenecen, ni tampoco con las del sistema global considerado donde se integran finalmente. Paralelamente, las propiedades de los subsistemas tampoco tienen por qué coincidir con las de los subsistemas mayores donde se encuentren integrados. Otra idea interesante es la de que los subsistemas reconocen al sistema en el que se integran como suprasistema; el entorno aparece así como una idea fundamental y determinante del desarrollo de cada sistema.

El paradigma ortodoxo, basado en el análisis y la simplificación, resulta pernicioso. En realidad, los hechos son fenómenos complejos, no pueden explicarse mínima o totalmente en función de ideas simples, y cada vez se hacen más imprescindibles los saberes transdisciplinarios y la integradora Ciencia de la Complejidad. Esta última abarca a su predecesora y la enriquece progresivamente. El camino seguido es aquel de ir aglutinando a las distintas parcelas del saber, poniendo puentes entre las viejas disciplinas. La Ciencia de la Complejidad se revela como mucho más adecuada en el trabajo de alcanzar una mejor interpretación del mundo que nos rodea. Dentro de estos nuevos planteamientos, podemos citar la siguiente definición de Sergio VILAR (1997: 18) para aprehender la idea de complejidad: “un fenómeno complejo es el compuesto por una gran variedad de elementos que mantienen entre sí una gran variedad de relaciones, con interacciones lineales y no-lineales, sincrónicas y diacrónicas, la evolución de

cuyo conjunto es imprevisible, incluso cuando su auto-organización se orienta por acciones teleológicas, finalitarias”.

La *complejidad*, con conceptos adyacentes como "desorden organizador", "autoorganización" o "caos", entre otros, constituye un término que expresa un nuevo instrumento conceptual de gran relevancia dentro de la conmoción epistemológica que se está produciendo en estos tiempos, y es vital para el desarrollo de teorías científicas que se afanan en encontrar un mayor grado de inteligibilidad del universo. Un "sistema complejo" sería un sistema aparentemente desordenado, tras el que se supone existe un orden encubierto, cuyo código se desconoce (FERNÁNDEZ, 1994: 101-102). La complejidad aparece cuando hay a la vez dificultades empíricas y dificultades lógicas; se puede decir que hay complejidad dondequiera que se produzca un enmarañamiento de acciones, de interacciones, de retroacciones (MORIN, 1994).

Como recalca en su enriquecedor libro el profesor Lorenzo FERRER (1997: 343), el especialista, en general, se encuentra indefenso ante la complejidad. El científico está, a menudo, anclado en el pensamiento lineal y reduccionista que ha dominado la ciencia durante tanto tiempo. Los problemas son globales por definición y se derivan de la existencia de interrelaciones que afectan a la totalidad (complejidad, emergencia, finalidad, comunicación, control, etc.). Los ordenadores y los métodos transdisciplinarios son constitutivos de la *nueva racionalidad*, que contiene y comporta nuevas proposiciones antropológicas y filosóficas (VILAR, 1997). Los sistemas evolucionan a través de bifurcaciones que implican intensos cambios y conflictos, de modo que ciertas estructuras sociales se disipan y aparecen otras nuevas. Los cambios estructurales, el desorden, la inestabilidad y el no-equilibrio, terminan produciendo orden y creación de otras estructuras diferentes.

Los sistemas evolucionan, y el tiempo tiene un papel constructivo, pero la evolución no se plantea siguiendo una trayectoria lineal, sino un conjunto de bifurcaciones y probabilidades en donde coexisten simultáneamente sistemas de equilibrio y de no-equilibrio. En un mundo en evolución, los sistemas son sensibles a los pequeños ruidos. Para Prigogine, el secreto de la creatividad de la naturaleza reside en las leyes de la imprevisibilidad, el caos y el tiempo. Al enfatizar el papel del azar y el caos en la creación de la estructura, Prigogine evoca un universo donde el futuro no puede estar determinado, precisamente por estar sometido al azar, la amplificación y la fluctuación. Este nuevo "principio de incertidumbre" dice que más allá de un cierto umbral de complejidad los sistemas

siguen rumbos imprevisibles, pierden la dependencia de sus condiciones iniciales que no pueden invertir ni recobrar.

En realidad, los puntos de bifurcación son los hitos de la evolución del sistema: cristalizan la historia del sistema; por ejemplo, un documento de nuestras bifurcaciones pasadas aparece en nuestros embriones, cuando atravesamos etapas en que parecemos peces, luego anfibios, luego reptiles. Nuestros puntos de bifurcación constituyen un mapa de irreversibilidad del tiempo. Cada decisión tomada en un punto de ramificación implica la amplificación de algo pequeño; aunque la causalidad opera en cada instante, las ramificaciones acontecen imprevisiblemente (BRIGGS Y PEAT, 1990: 144-145). Las estructuras disipativas conservan el recuerdo de las fluctuaciones que las originan (PRIGOGINE, 1983: 331-332).

En los sistemas abiertos, donde constantemente se dan intercambios de materia y energía con el medio (ambiente) el equilibrio no es posible, por darse "*procesos disipativos*" que continuamente exportan entropía (PRIGOGINE, 1983: 87). A partir de una cierta distancia crítica respecto al equilibrio, al alcanzar el "umbral", el sistema se hace inestable y una fluctuación puede no remitir, sino aumentar. Se puede producir entonces un proceso de auto-organización ("*estructura disipativa*" prigoginiana), consecuencia de la amplificación de alguna fluctuación; es el "*orden por fluctuaciones*", un orden generado en un estado de no equilibrio.

El vocablo "caos" que originalmente denotaba la completa falta de forma u organización sistemática, ahora presenta diversos significados. El término ha sido usado para designar "aleatoriedad", del tipo que fuere; por ejemplo Prigogine y Stengers estudian la manera en que muchos sistemas desorganizados pueden organizarse espontáneamente. Uno de sus significados más recientes sería el estudio de procesos cuyas variaciones parecen aleatorias pero no lo son; procesos que parecen desarrollarse de acuerdo con el azar pero cuyo desarrollo está determinado por leyes bien precisas (LORENZ, 1995). En todo caso se trata de campos novedosos ciertamente conectados, aunque no idénticos, que podrían fundirse en un futuro aunque ahora se presten a confundirse¹. Dado

¹ Se ha llegado a hablar, incluso, de *Ciencia del Caos*, así por ejemplo, el pionero libro de James GLEICK (1987): *Chaos: Making a New Science*, Viking Penguin, New York; o en el de John HOLTE (ed.) (1993): *Chaos: The New Science*, Gustavus Adolphus College, Lanham. Nosotros no entraremos en ese tipo de cuestiones ciertamente prematuras.

que la complejidad y la no linealidad pueden ser encontradas por doquier, podemos entender que todo ello cabría en el paraguas de una nueva perspectiva integradora que algunos autores² han denominado *paradigma sistémico*, como alternativa al reduccionismo.

El pensamiento sistémico es contextual, el paradigma sistémico trataría esencialmente de globalidades y de sus propiedades. La atención se focaliza alternativamente a distintos niveles sistémicos a los cuales corresponden diferentes niveles de complejidad. Las propiedades de las partes no son propiedades intrínsecas, sino que son propiedades “emergentes” (“sistémicas”), que sólo pueden entenderse desde el contexto de un todo mayor. El desconocimiento de lo anterior explicaría el hecho de que la mayor parte de la élite académica tenga una percepción limitada de la realidad que, desafortunadamente, resulta totalmente inadecuada para entender los principales problemas de nuestro tiempo (CAPRA, 1985; FERRER, 1997).

3. CREATIVIDAD, INNOVACIÓN Y CIENCIA DE LA COMPLEJIDAD.

Ernesto Screpanti señalaba recientemente en la presentación del libro recientemente editado por E. BENEDETTI, M. MISTRI Y S. SOLARI (publicado en 1997 en el idioma italiano con un título como: "Teorías evolutivas y transformaciones económicas"), que recurrir a la Teoría de los Sistemas Complejos impacta, ciertamente, por la radicalidad de la *Revolución Científica* que preconiza, más que por los resultados conseguidos hasta la fecha, y por la ambiciosa apuesta que propone frente a la teoría dominante. La idea de que la evolución implique cambio sistémico nos conduce hacia la perspectiva macroscópica; la autoorganización nos lleva a estudiar los macrofundamentos de los microcomportamientos, y no al revés.

Todavía podríamos ser más ambiciosos, en la línea del científico de sistemas Erich Jantsch, quien proponía una evolución abarcadora de las escalas “micro” y “macro”, ambas llegarían a evolucionar juntas. La atmósfera evoluciona mediante las bacterias, las bacterias evolucionan

mediante la atmósfera (JANTSCH, 1980). Esta idea ha sido poco habitual, se opone a la vieja creencia científica de que la naturaleza evoluciona de lo pequeño a lo grande, de lo simple a lo complejo. La idea de la coevolución de las escalas micro y macro es una idea “fractal”, donde tanto las escalas grandes como las pequeñas surgen como aspectos de un sistema totalmente interconectado³. El nuevo concepto de “coevolución” pone el énfasis en la autoorganización y la evolución mediante la dependencia mutua, en la línea de Lynn Margulis, que nos ha descubierto que evolucionamos como microbios cooperativos.

Con distinta perspectiva, el Premio Nobel de Economía Herbert Simon ha puesto de manifiesto que en los sistemas de gran dimensión existen grupos de elementos tales que las interacciones entre los elementos de un mismo grupo son mucho más intensas que entre elementos de distintos grupos (ARACIL, 1986). Para estudios a corto plazo, el estudio del comportamiento de los sistemas puede hacerse considerando lo que sucede en el interior de los grupos aislados; sin embargo, las débiles interacciones entre grupos podrían hacerse significativas para períodos de tiempo largos; con lo que se establece una conexión profunda entre escalas de tiempo y estructura de conexiones en el estudio de un sistema de gran dimensión.

La consideración del segundo principio de la termodinámica nos lleva a la irreversibilidad de los procesos, lo que se ha llamado la “flecha del tiempo”; a la inclusión de feed-back positivos, que nos conducen a dinámicas de tipo acumulativo inestables intrínsecamente; a continuas interacciones entre sistema y medio, son procesos de desarrollo basados en el cambio estructural, endógeno y discontinuo. Esos continuos intercambios de energía permiten la supervivencia del sistema y sus subsistemas correspondientes; el sistema como un todo se va a apoyar en la innovación, en la invención, en la creación de mundos nuevos, en el cambio en definitiva para poder garantizar el mantenimiento de su estructura, readaptada cada vez al nuevo contexto, evolucionada. En realidad, lo que marca la transición entre la “vieja” y la “nueva” ciencia es el agregado del elemento temporal (HAWKING, 1993).

En el *nuevo marco de la Complejidad*, cabe destacar la caracterización en función de las tres *I* que podemos deducir a partir de los escritos

² Por ejemplo el profesor Van Gigch, del que puede consultarse: VAN GIGCH, S.P. (1993): “Paradigms”, en RODRÍGUEZ DELGADO, R. Y B. BANATHY (1993): *International System Science Handbook*, Systems Publications, Madrid. También VAN GIGCH, S.P. (1993): “La Teoría de Sistemas para la Modelización y Metamodelización de Sistemas del Siglo XXI”, *Revista Internacional de Sistemas*, Vol. 5, Nº 1-3, pp. 61-96. También el ya citado texto del profesor Ferrer Figueras (FERRER, 1997).

³ Benoit Mandelbrot concibió el fractal como la “autosimilitud” para las distintas escalas posibles de observación. El reto que planteaba era calcular ¿qué longitud tiene la línea costera de Gran Bretaña? Cuantos más detalles incluimos más larga se vuelve ésta; la verdadera línea costera de cualquier isla debe, por tanto, ser infinita (MANDELBROT, 1997).

prigonianos referentes al cuestionamiento de las tradicionales relaciones deterministas de causa-efecto que se suelen plantear en los modelos "clásicos". Según PRIGOGINE (1983), es más útil y realista afirmar que el efecto de una causa es *inevitable, invariable e imprevisible*. La iniciativa que adopta cualquiera de las partes vivas en un encuentro, no es una causa, *es un reto; su consecuencia* no es un efecto, *es una respuesta*. Reto y respuesta parecen causa y efecto, pero sólo en tanto que representan una secuencia de acontecimientos. A diferencia del efecto de una causa, la respuesta a un reto no está predeterminada, no es necesariamente uniforme en todos los casos y, por lo tanto, es intrínsecamente imprevisible.

En los sistemas abiertos, donde constantemente se dan intercambios de materia y energía con el medio (ambiente), el equilibrio no es posible, al darse "*procesos disipativos*" que continuamente exportan entropía (PRIGOGINE, 1983: 87). La entropía es en realidad, una medida del desorden (o grado de desorden) molecular, y, de acuerdo a la segunda ley, en términos globales, sólo puede producirse un *aumento en el grado de desorganización o desorden total*. A partir de una cierta distancia crítica respecto al equilibrio, o "umbral", el sistema se hace inestable y una fluctuación puede no remitir, sino aumentar. Se puede producir entonces un proceso de auto-organización ("estructura disipativa" prigoginiana), consecuencia de la amplificación de alguna fluctuación.

Tratamos de analizar sistemas que se estructuran de forma espontánea o autoorganizada en el espacio y el tiempo, algo que nos permite hablar con propiedad de "*dinámicas complejas*". El hecho de que un sistema esté sometido a perturbaciones o fluctuaciones y tenga una dinámica propia, puede dar lugar a una reorganización de éste en el sentido de adquirir un nivel más elevado de complejidad. Prigogine bautizó como *orden mediante fluctuaciones* a la reestructuración u ordenamiento que tiene lugar debido a la inestabilidad que puede tener un sistema inicialmente homogéneo. Algunas fluctuaciones pueden amplificarse, y otras, quizá, atenuarse, haciendo evolucionar al sistema hacia un nuevo estado de equilibrio que comporte una cierta forma de ordenación espacial (PRIGOGINE, 1983; ARACIL, 1986).

Igual que ocurre en el mundo biológico, el mundo social se caracteriza por una infinita diversidad de formas. Los procesos mediante los cuales se generan estas diferentes formas y pautas de comportamiento reciben el nombre de "morfogénesis". Los procesos morfogenéticos son

característicos de sistemas que manifiestan notables formas de complejidad en su estructura. Turing se planteó, en la última etapa de su vida, qué "mecanismo" podía generar diversidad a partir de una situación inicialmente homogénea⁴. Publicó hacia 1952⁵ su modelo matemático que daba cuenta de ello. El problema de toda morfogénesis es establecer cómo es posible que un conglomerado de células inicialmente homogéneo adquiera características diferenciadas (ARACIL, 1986: 166).

Como señalábamos con anterioridad, esta amplificación de algunas fluctuaciones está asociada a los bucles de retroalimentación positiva, igual que ocurría con la morfogénesis estudiada por Turing. Para Prigogine, el sistema, una vez roto el equilibrio, por una fluctuación que provoca un proceso de naturaleza esencialmente estocástica, puede evolucionar, en base a otro proceso, esta vez de naturaleza esencialmente determinista, que lo lleva hacia un determinado estado final. El segundo proceso siempre dependerá del sentido inicial de la fluctuación, haciendo que la evolución del sistema se polarice en ese sentido. En el orden mediante fluctuaciones de Prigogine se puede ver un mecanismo sintético en el que actúan, de forma alternativa, el *azar y la necesidad*, como apuntaba el también Premio Nobel Jaques Monod (ARACIL, 1986).

El orden por fluctuación lleva al estudio del juego entre azar y necesidad, entre innovación provocadora y respuesta del sistema; nos lleva a distinguir entre los estados del sistema, donde toda iniciativa individual está condenada a la insignificancia, y las zonas de bifurcación en las que un individuo, una idea o un comportamiento nuevo pueden trastornar el estado medio. Lo que en un momento dado es una desviación insignificante con respecto a un comportamiento normal, puede, en otras circunstancias ser fuente de crisis y renovación (PRIGOGINE Y STENGERS, 1990).

En este contexto ya podemos encontrarnos con ciertas tensiones que van surgiendo y, en esa mayor inestabilidad, y como consecuencia de las relaciones de no linealidad, se generan fluctuaciones (que pueden ser procedentes del mismo interior del sistema o internas, o provenir del entorno o ambiente, perturbaciones externas). La amplificación de ciertas fluctuaciones que se autoconsolidan por alea o azar, dan lugar a

⁴ La autoorganización está ampliamente extendida en biología, y algunos ejemplos de la misma pueden entenderse sobre la base de la reacción de Turing: la teoría de la difusión (COVENEY Y HIGHFIELD, 1993: 16), que no vamos a abordar aquí.

⁵ A.M. TURING (1952): "The chemical basis of morphogenesis", *Phil. Trans. R. Soc. B* 237, pp. 37-72; citado por ARACIL (1986: 170).

bifurcaciones, lo que supone un reto al que el sistema debe dar una respuesta.

El sistema puede verse destruido en su forma actual, puede pasar a una espira de nivel inferior; o bien responder como viene haciéndolo y consigue mantenerse en el nivel de complejidad en el que se encontraba. Una tercera posibilidad sería que el sistema evolucionase y se acoplara estructuralmente, que aumentara su autonomía alcanzando niveles superiores de autoorganización; es el proceso de *metamorfosis* ya comentado antes que se traduce en creación de organización y que le sitúa en una espira de orden superior. Hay una parte importante de azar y otra de voluntad del sistema de alcanzar un nivel de mayor complejidad generándose autoorganización.

El científico suizo Eric SCHWARZ (1995) utiliza, para explicar su metamodelo en el marco de una nueva epistemología, tres planos o categorías. El primero, es el plano de lo objetual (de lo material-energético, *plano físico*); luego tenemos por encima de éste un segundo plano de las relaciones (de la información, *plano lógico o mental*). Estos dos planos se influyen entre sí (mediante un bucle de retroalimentación o *feedback*) y generan un tercer plano que representa la totalidad o la realidad (*plano existencial* o del ser).

La metamorfosis se concretaría en un proceso de *morfogénesis* o creación de espacio y tiempo, por medio de integración y diferenciación; en el plano físico. En un proceso de *autopoiesis* en el plano lógico o mental, con creación de organización autoprodutiva y emergencia de autoreferencia y diálogo (autoconocimiento). Finalmente estaría el plano existencial donde se da un proceso de *autogénesis*, o sea, de creación de identidad que produce sus propias reglas de producción con incremento de la autonomía. Este es el superbucle donde reside la creación, la invención, la regeneración del ser en el plano existencial u holístico); son los tres bucles de cambio que conducen a una mayor autoorganización.

La complejidad es un concepto "duro", así lo vio Pantín cuando distinguió entre Ciencias restringidas y no restringidas; éstas últimas, que incluirían entre otras las Ciencias Sociales, estudiarían fenómenos tan complejos que, en general, no cabría ni siquiera diseñar experiencias bajo control; además, el número de variables que poseen es tan elevado que sus hipótesis requieren una revisión continuada (FERRER, 1997: 120). A medida que crece la complejidad, tiende a disminuir la eficacia del método científico. En las Ciencias Sociales, el método científico es cuestionado por la

complejidad; el científico social queda reducido a estudiar más que la realidad social, la lógica de las situaciones.

Si tratáramos de sintetizar las posibles diferencias entre las Ciencias Naturales y las Ciencias Sociales, para éstas últimas encontraríamos las siguientes características definitorias (FERRER, 1997: 122-125):

Las generalizaciones tienden a ser más imprecisas y se da una mayor variedad de posibles puntos de vista.

Las observaciones que se hagan, deben necesariamente estar acompañadas por las interpretaciones que acerca de aquéllas y para descifrar su significado, realicen los propios actores sociales. En los Sistemas estudiados por los científicos sociales, los componentes son los seres humanos, que participan activamente en el fenómeno investigado, y contribuyen a la atribución de significado a los resultados.

Es muy difícil hacer predicciones; además, los sistemas sociales pueden reaccionar frente a éstas y con ello hacerlas falsas.

Concluyendo el epígrafe, podemos decir que el futuro de los sistemas sociales no puede predecirse acuradamente. Por ejemplo, un mismo partido de fútbol jugado por los mismos actores (equipos y jugadores), con las mismas reglas y jueces o árbitros, en el mismo emplazamiento o campo, con el mismo público, pero en momentos distintos del tiempo; no se puede interpretar como un experimento o hecho repetible. Peor aún si cambiamos el campo de juego, el espacio de referencia. Las ciencias disciplinarias sociales (no restringidas), no pueden adaptarse al método científico de las tres *R* (Reductibilidad, Repetitividad, Refutabilidad)⁶ por dos razones principalmente, que son: primero, la complejidad inherente a los sistemas sociales, y segundo, la propia naturaleza de los fenómenos que se pretenden analizar.

4. INTERDISCIPLINARIEDAD Y POLÍTICA CIENTÍFICA: CENTROS CIENTÍFICOS SISTÉMICOS PARA LA INVESTIGACIÓN DEL SIGLO XXI.

Recapitulando, los sistemas abiertos, decíamos, se caracterizan por estar continuamente procesando materia, energía e información del exterior, de modo que esa inyección puede separar al sistema de las condiciones de "equilibrio

⁶ Véase FERRER (1997).

termodinámico", creando otras en las que emerge una estructura disipativa, gracias a la cual se incrementa, de forma espontánea, la diversidad y especialización en el seno del sistema. Solamente en sistemas abiertos pueden darse fenómenos de autoorganización. La termodinámica de los procesos irreversibles está en el núcleo de la teoría de la autoorganización (ARACIL, 1986). La autoorganización y las estructuras disipativas son conceptos provenientes de la física de los procesos de no-equilibrio, desarrollada durante el siglo XX a partir de las aportaciones de Ludwig Boltzmann⁷ que apuntaba, ya en el siglo XIX, la posibilidad de una descripción evolucionista de los fenómenos físicos (PRIGOGINE Y STENGERS, 1990; PRIGOGINE, 1997).

Un caso paradigmático de este tipo de estructuras o sistemas susceptibles de autoorganización son los sistemas vivientes. Cualquier organismo viviente está constituido por una apabullante cantidad de rizos de retroalimentación. Los rizos de retroalimentación negativa regulan; los de retroalimentación positivos amplifican. Las entidades vivas pueden compensar carencias funcionales a través de ese último mecanismo, convirtiendo el combustible que toma del exterior, autoasimilándolo para crecer o modificarse. La autorrenovación constante que se da en los sistemas vivientes a través de la retroalimentación e interacción constante con el medio permite la consideración del concepto de "autopoiesis", acuñado por los biólogos chilenos Maturana y Varela en 1973. Todo ser vivo consiste en una red de procesos de producción de tal modo que toda la red se "hace a sí misma" continuamente. Los seres vivos se caracterizan porque, literalmente, se producen continuamente a sí mismos; esa organización que los define formada por componentes dinámicamente relacionados en una continua red de interacciones es la *organización autopoietica* (MATURANA Y VARELA, 1990: 36-37).

Para los investigadores John BRIGGS y David PEAT (1990) las estructuras autopoieticas se encuentran en un complejísimo extremo del espectro natural de los llamados "sistemas abiertos". El espectro incluye desde los sistemas autoorganizativos más simples, hasta las estructuras disipativas más complicadas; también abarcaría, finalmente, a los sistemas autopoieticos de elevada complejidad, como

⁷ Boltzmann fue una víctima de una "guerra de los treinta años" intelectual, contra aquellos que no aceptaban la teoría del atomismo, y se vio empujado al aislamiento intelectual. Finalmente sus creencias acerca de los átomos y las moléculas se impusieron. Sin embargo, él había esperado ir incluso más allá y usarlas para explicar la dirección del tiempo, aspecto de la naturaleza en el que pensaba continuamente; pero a su muerte, derrotado por la depresión maniaca en 1906, su gran sueño todavía quedaba sin cumplir (COVENEY Y HIGHFIELD, 1993: 24).

somos nosotros mismos. Por tanto, podemos decir que las estructuras autopoieticas son sistemas autoorganizados muy especiales que gozan de gran autonomía, y ello por su capacidad de autorrenovación. Fritjof CAPRA (1998: 117) nos recuerda que, para entender las propiedades de los sistemas y de sus interacciones físicas, "la descripción abstracta de su *organización* debe ser completada con una descripción de la *estructura* del sistema en lenguaje físico y químico", porque "esta distinción hace posible la integración de modelos de autoorganización orientados a la estructura (como los utilizados por Prigogine y Haken) y de modelos orientados a la organización (como los empleados por Eigen, Maturana y Varela) en una teoría coherente de los sistemas vivos".

Es destacable igualmente la revolucionaria teoría de la evolución por retroalimentación propuesta por la microbióloga norteamericana Lynn Margulis, que plantea que las plantas y animales multicelulares que existen hoy no son el resultado de mutaciones genéticas, ni producto de una brutal competencia por la supervivencia; fueron el resultado de una cooperación simbiótica. La cooperación es un potente mecanismo para el cambio evolutivo; se traduce, por ejemplo, en un modo no competitivo de evitar un conflicto donde el individuo más fuerte triunfaría de todos modos sobre el más débil, con daños probables para ambos; se traduce, por ejemplo, en que dos especies acaben por interactuar entre sí y con el medio para crear nichos diferentes. La teoría Gaia, fruto inicial de la intuición iluminadora de James Lovelock, contemplaría la vida de un modo sistémico, uniendo geología, microbiología, química atmosférica y otras disciplinas cuyos investigadores no están acostumbrados a comunicarse entre sí (CAPRA, 1998: 123).

La aptitud de un sistema para amplificar un cambio pequeño es una palanca creativa, según el esquema conceptual de Prigogine. La mezcla de necesidad y azar constituyen la historia y la creatividad del sistema. Generalmente, los sistemas biológicos permanecen estables porque frustran la mayoría de los efectos pequeños, excepto en aquellas zonas de conducta donde se requiere un alto grado de flexibilidad y creatividad; aquí, el sistema permanece muy sensible al flujo que recibe. Además, los sistemas también son muy sensibles cerca de esos lugares que constituyen la "memoria" cristalizada de bifurcaciones pasadas (las naciones evolucionan a través de bifurcaciones que implican intensos conflictos y, consecuencia de ello, son muy sensibles a ciertas clases de bifurcación).

Aristóteles ya señalaba que "un conjunto era más que la suma de las partes". Philip Anderson, el

Premio Nobel de Física, señalaba que *la complejidad* es la ciencia de lo "emergente". Para BRIGGS Y PEAT (1990: 14-15) las ciencias del caos y el cambio están forjando una revolución en nuestra perspectiva dando sustancia al término "*totalidad*"; cada vez más resulta fútil estudiar partes sin relación con el todo, y parece que el "caos" está marcando el final del programa reduccionista de las ciencias. Esta nueva raza de científicos está cruzando las fronteras de las disciplinas científicas, y la herramienta común de todos ellos es el ordenador. Las extrañas leyes del caos explican muchas de las cosas que consideramos notables en nuestro mundo: las palpitations del corazón y los pensamientos humanos, las nubes, las tormentas, la estructura de las galaxias, la creación de un poema, el incremento y la reducción de la población de orugas, la propagación de un incendio forestal, las sinuosidades de la línea costera, y tantas otras que continúan acumulándose en esta importante construcción colectiva.

Cada vez más, los países donde la investigación es considerada como algo prioritario, apuestan por abrir el sistema universitario a los nuevos retos. Continuamente surgen nuevos campos multi e interdisciplinarios y progresivamente se crean infraestructuras científicas básicas para facilitar la investigación y su desarrollo. Las universidades abren sus puertas a la creación de Institutos Universitarios de Ciencia de Sistemas y de Ciencia de la Complejidad. Allí es donde se abren más fácilmente nuevos caminos y se tienden puentes entre las actuales islas disciplinarias que se han ido asentando durante el transcurso del siglo XX. Ante la incapacidad de la ciencia "clásica" para cubrir ese vacío generado al no tener en cuenta *la totalidad* (las interrelaciones existentes entre las disciplinas, sus áreas fronterizas, las propiedades de los sistemas considerados como conjuntos, etc.) se hace necesaria una visión más amplia, sistémica o global, que nos facilite una perspectiva novedosa de cara a obtener respuestas más adecuadas que permitan resolver los distintos problemas que se nos plantean todos los días en una realidad crecientemente compleja y globalizada.

La metamorfosis de las ciencias no es una ruptura; ha llegado el momento de nuevas alianzas, debemos aprender a entrecruzar las resultantes — conocimientos, prácticas, culturas— producidas por las sociedades humanas, a establecer comunicaciones inéditas que nos pongan en condiciones de hacer frente a las exigencias sin precedentes de nuestra época (PRIGOGINE Y STENGERS, 1990: 322-325). Las nuevas formas de pensamiento son aún embrionarias como indicaba el otrora Presidente de *Association pour la Pensée Complexe* de París Edgard Morin.

MORIN (1994) recalca que nos hallamos en un período inicial en el que hay que repensar las perspectivas de un conocimiento y una política dignos de la humanidad en la era planetaria, para que la humanidad pueda nacer como tal. El pensamiento complejo sabe que es siempre local, ubicado en el tiempo y en un momento, que sabe de antemano que siempre hay azar e incertidumbre.

Los científicos ya han comenzado a trazar paralelismos entre la autoorganización y el caos, que pueden verse, por ejemplo, en las reacciones químicas y en los fenómenos que se desarrollan en las sociedades humanas y animales. Es imposible predecir a dónde puede llevar este planteamiento novel, pero es probable que esta fertilización cruzada interdisciplinaria entre los físicos y los científicos sociales beneficie a todas las partes del intercambio. De hecho, el recientemente creado *Santa Fe Institute*, en Nuevo México, está precisamente reuniendo a físicos, economistas, biólogos y cultivadores de las ciencias sociales para "investigar nuevas formas de formular viejos problemas" (COVENEY Y HIGHFIELD, 1993: vol. II, 159-160 y 207). Creemos que existe un gran futuro siguiendo la modelización para los sistemas autoorganizados, unas líneas de investigación que están cobrando una importancia creciente. Mediante modelos construidos a partir de la dinámica de sistemas, con el concurso de expertos de muy variada procedencia e integrando sus opiniones en un modelo unitario, tenemos unas herramientas imprescindibles a las que no debemos renunciar.

Se trata de recuperar ese ideal multidisciplinar del Renacimiento, tanto en los aspectos científico (la búsqueda de una nueva interpretación de los fenómenos naturales) como filosófico (una explicación realista y humana de los problemas morales, y una nueva visión del lugar que el hombre ocupa en el Universo). Nos encontramos ante una invitación a pensar *de un modo nuevo* en la línea que apunta el jurista y sociólogo alemán Niklas LUHMANN (1997), de establecer "una ilustración de la Ilustración". Queda pendiente también profundizar en la distinción conceptual por el observada entre "sistema" y "complejidad", una distinción crucial de carácter sistémico que nos abre la puerta a la importante y vital problemática ecológica. Este debe ser, sin duda, el objetivo que debemos marcarnos a corto y medio plazo de cara a mejorar substancialmente nuestra comprensión e interpretación del mundo. El planteamiento en la línea ya comentada del Instituto de Santa Fe, parece ser la clave para replantear el papel del "ser humano" en el nuevo contexto del siglo XXI.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ARACIL, J. (1986): *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*, Tecnos, Madrid.
- BENEDETTI, E.; M. MISTRI Y S. SOLARI (eds) (1997): *Teorie evolutive e trasformazioni economiche*, CEDAM, Padova.
- BERTALANFFY, L. VON (1976): *Teoría general de los sistemas*, Buenos Aires, F.C.E..
- BERTALANFFY, L. VON (1992): *Perspectivas en la teoría general de los sistemas*, Madrid, Alianza Universidad.
- BRIGGS, J. Y F.D. PEAT (1990): *Espejo y reflejo: Del Caos al Orden*, Gedisa, Barcelona.
- CAPRA, F. (1985): *El Punto Crucial*, Barcelona, Integral.
- CAPRA, F. (1998): *La trama de la vida*, Anagrama, Barcelona.
- CASELLES MONCHO, A. (1994): "Modelización de ecosistemas", en FERRER FIGUERAS, L.; A. CASELLES MONCHO Y R. BENEYTO TORRES (eds) (1994): *Tercera Escuela Europea de Sistemas*, Ayuntamiento de Valencia, Valencia, pp. 87-95.
- COVENEY, P. Y R. HIGHFIELD (1993): *La flecha del tiempo*, RBA Editores, Barcelona.
- FERNÁNDEZ DÍAZ, A. (1994): *La economía de la complejidad*, Mc. Graw-Hill, Madrid.
- FERRER FIGUERAS, L. (1972): *La Teoría de Sistemas, instrumento básico en la evolución adaptativa de Ciencia, Estado y Sociedad, en el marco del Eco-sistema*, Universitat de València, Valencia.
- FERRER FIGUERAS, L. (1997): *Del paradigma mecanicista de la Ciencia al paradigma sistémico*, Universitat de València, Valencia.
- HAKEN, H. (1994): "Synergetics as a strategy to cope with complex systems", en FERRER FIGUERAS, L.; A. CASELLES MONCHO Y R. BENEYTO TORRES (eds) (1994): *Tercera Escuela Europea de Sistemas*, Ayuntamiento de Valencia, Valencia, pp. 61-68.
- HAWKING, S. (1993): *Historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros*, RBA Editores, Barcelona.
- HERNÁNDEZ-CARRIÓN, J.R. (1997): "Los distritos industriales desde la perspectiva sistémica: Una aproximación explicativa", *Actas XXIII Reunión de Estudios Regionales*, 18-21 Noviembre 1997, AECCR-UPV-GV, Valencia, Vol. II, pp. 431-435.
- HERNÁNDEZ-CARRIÓN, J.R. E I. MARTÍNEZ DE LEJARZA (1999): "Claves explicativas de los procesos de autoorganización en los sistemas sociales", *Revista Iberoamericana de Autogestión y Acción Comunal*, n. 34, pp. 87-98.
- JANTSCH, E. (1980): *The Self-Organizing Universe*, Pergamon, Oxford.
- LILJENFELD, R. (1984): *Teoría de Sistemas. Orígenes y aplicaciones en ciencias sociales*, México, Trillas.
- LORENZ, E.N. (1995): *La esencia del caos*, Debate, Madrid.
- LUHMANN, N. (1997): *Sociedad y sistema: La ambición de la teoría*, Paidós / ICE-UAB, Barcelona.
- MANDELBROT, B. (1997): *Los objetos fractales. Forma, azar y dimensión*, Círculo de Lectores, Barcelona.
- MATURANA, H. Y F. VARELA (1990): *El árbol del conocimiento*, Debate, Madrid.
- MORIN, E. (1994): "Epistemología de la complejidad", en SCHNITMAN, D.F. (ed.) (1994): *Nuevos Paradigmas, Cultura y Subjetividad*, Paidós, Buenos Aires, pp. 421-442.
- NICOLIS, G. E I. PRIGOGINE (1977): *Self Organization in Non-Equilibrium Systems*, J. Wiley, New York.
- NICOLIS, G. E I. PRIGOGINE (1989): *Exploring Complexity*, W.H. Freeman, New York.
- PRIGOGINE, I. (1983): *¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, Tusquets, Barcelona.
- PRIGOGINE, I. (1997): *El fin de las certidumbres*, Taurus, Madrid.
- PRIGOGINE, I. E I. STENGERS (1990): *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Alianza Editorial, Madrid.
- RODRÍGUEZ DELGADO, R. (1994): "Systems Theory. Foundations", en FERRER FIGUERAS, L.; A. CASELLES MONCHO Y R. BENEYTO TORRES (1994): *Tercera Escuela Europea de Sistemas*, Valencia, Ayuntamiento de Valencia, pp. 69-86.
- RODRÍGUEZ DELGADO, R. (1997): *Del Universo al ser humano*, McGraw-Hill, Madrid.
- SCHWARZ, E. (1995): "Where is the Paradigm? In the people's Mind or in the Social System?", *Revista Internacional de Sistemas*, Vol. 7, nº 1-3, pp. 5-54.
- VILAR, S. (1997): *La nueva racionalidad*, Kairós, Barcelona.