



La complejidad es un problema, no una cosmovisión.

ARTÍCULO DE REVISIÓN DE TEMA

Mgr. Carlos Eduardo Maldonado

Filósofo de la Universidad Nacional de Colombia; Doctor en Filosofía de la Katholieke Universiteit Leuven, Lovaina, Bélgica; Postdoctorado en Filosofía de la University of Pittsburgh, Estados Unidos; Docente Titular de la Universidad del Rosario; Docente Catedrático Invitado de la Maestría en Educación de la Universidad Católica de Manizales.

carlos.maldonado@urosario.edu.co

Resumen

Las ciencias de la complejidad no son un método ni una cosmovisión. Esta comprensión ampliamente común se debe a la tendencia natural mediante la cual el conocimiento es socializado. Luego de presentar qué son las ciencias de la complejidad, sostengo que no son ciencia de control, y enfatizo que son ciencias basadas en problemas, a saber: en problemas de frontera. Finalmente, sitúo a las ciencias de la complejidad como ciencia de punta.

Palabras clave: no linealidad, ciencia de frontera, revolución científica, investigación.

Complexity is a problem, not a worldview

Abstract

The complexity sciences are neither a method nor a worldview. This understanding, broadly common, is due to natural tendency by which knowledge is socialized. After presenting what the complexity sciences are, I state they are not control sciences, and I emphasize they are problem-based sciences, such as border problems. Finally, I place the complexity sciences as cutting-edge sciences.

Key words: Nonlinearity, border science, scientific revolution, research.

1. Introducción

A medida que las teorías, los modelos y las ciencias se socializan lo cual es fundamental en la dinámica misma del conocimiento, se van produciendo generalizaciones, cruces y desplazamientos inevitables, que en ocasiones erosionan el rigor de los temas tratados. Estos procesos forman parte de las dinámicas de normalización del conocimiento. Desde luego, que es absolutamente necesario que la base de la sociedad por así decirlo acceda a los nuevos conocimientos. Al fin y al cabo recientemente, no de otra cosa, se trata con los enfoques CTS: ciencia, tecnología y sociedad. Pero existe siempre el peligro de simplificación, instrumentalización y generalización en la medida y en el proceso mismo de socialización. Esto obedece a aquella ley psicológica de acuerdo con la cual, a medida que aumenta el auditorio disminuyen los niveles de comprensión. Pues bien, en el caso de las ciencias de la complejidad o dicho en términos más genéricos: en el caso de la complejidad nada distinto ocurre.

Es cierto que existe un interés creciente y una profusión de textos y eventos académicos alrededor de la complejidad, el caos, la no-linealidad. Pero precisamente por ese interés socialmente cada vez más amplio, observamos los fenómenos mencionados. Con este texto me propongo formular una tesis: la complejidad es un problema y no una cosmovisión. En realidad el carácter de esta tesis no tiene dificultad en el medio de quienes trabajan seriamente y a profundidad en los temas de las ciencias de la complejidad. Sin embargo, el tema no es evidente de parte de tres grupos distintos, a saber: la de quienes trabajan pensamiento complejo y no precisamente ciencias de la complejidad, la de la comunidad de sistémicos, y finalmente, la de quienes no conocen a profundidad de qué se trata cuando se habla de ciencias de la complejidad y sólo tienen una noción externa o general del tema. Este texto está orientado a superar los retos y dificultades de estos tres grupos de lejos mayoritarios y ampliamente influyentes en la escena académica, científica, filosófica y cultural.

A fin de elucidar la tesis formulada, es necesario elaborar antes una breve presentación sobre lo que

son las ciencias de la complejidad a fin de aclarar, precisamente qué se entiende por complejidad y cómo y por qué razón el estudio de los fenómenos y sistemas caracterizados por complejidad es un problema, y qué se sigue de ello. Finalmente, se precisa que las ciencias de la complejidad no son ciencia de control y se hace explícito qué se entiende por ello.

2. Las ciencias de la complejidad

Existen básicamente tres grandes comprensiones acerca de la complejidad del mundo y de la naturaleza. Entre estas tres comprensiones existen varios vasos comunicantes de diverso orden y rango. Estas son:¹

LA COMPLEJIDAD COMO MÉTODO

La expresión hace referencia notablemente de la obra de Edgar Morin y de sus discípulos y seguidores. La manera más amplia como es conocida, es en términos del *pensamiento complejo*. De acuerdo con esta interpretación, la complejidad consiste en un método de aproximación al mundo, a los fenómenos y al ser humano. Como tal, se sitúa en la misma línea de la tradicional *“filosofía del sujeto”* francesa. Esta comprensión de complejidad es, con seguridad, la versión más popular y extendida entre el gran público en el sentido más amplio de la palabra en el mundo hispanohablante. Existen numerosos vínculos entre el *pensamiento complejo* y otros campos histórica y conceptualmente afines, tales como la cibernética de primer y de segundo orden, la teoría de la sinergia, desarrollada por Haken, y el pensamiento sistémico. Para esta primera línea de interpretación, *“complejo”* se asimila como un rasgo positivo o favorable de los fenómenos, frente a lo cual conceptos como *“simple”*, *“reduccionista”*, *“determinista”* o *“lineal”* adquieren una significación negativa, peyorativa o criticable.

¹Para lo que sigue, cfr. Maldonado, C. E. (Ed.). (2001). *Visiones sobre la complejidad*. Bogotá: Universidad El Bosque. Maldonado, C. E. (2005). *Termodinámica y complejidad. Una introducción para las ciencias sociales y humanas*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Maldonado, C. E., (Comp.) (2005). *Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Maldonado, C. E. (Ed.) (2007). *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

LA COMPLEJIDAD COMO COSMOVISIÓN

Aquí se reúnen varios autores provenientes —todos— del enfoque sistémico. Incluye nombres como F. Capra, von Bertalanffy, von Foester, H. Maturana, G. Bateson y, en general, toda la escuela de Palo Alto, en California. Hay que decir que la mayoría de los textos recientes en el mundo sobre “*complejidad*” combinan numerosos elementos sistémicos y se inscriben en realidad dentro de este modo de comprensión. Propiamente hablando, aquello que caracteriza al pensamiento sistémico en general es que si bien ve relaciones, dinámicas, sinergia, finalmente busca por así decirlo que todas las piezas del rompecabezas cuadren perfectamente en un todo coherente. Desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, es adecuado comprender al pensamiento sistémico y, en general, a la complejidad como cosmovisión, como un pensamiento o lógica coherentista, exactamente en la línea defendida por Ramsey o N. Rescher. De acuerdo con la comprensión amplia divulgada desde este punto de vista, la complejidad es una cosmovisión que le adscribe un papel determinante al sujeto, denominado genéricamente como “*observador*”. De acuerdo con esta línea de interpretación, la complejidad del mundo es relativa al punto de vista del observador.

LA COMPLEJIDAD COMO CIENCIA.

Incluye los trabajos de los teóricos e investigadores del Instituto Santa Fe, en Nuevo México E.E.U.U. , los trabajos de I. Prigogine y, en general, de la Universidad Libre de Bruselas U.L.B. , en Bélgica, y de varios otros centros e institutos de investigación en el mundo, así como la obra más reciente de I. Wallerstein. Habitualmente se ha entendido a esta comprensión como un énfasis fuertemente “*cientifista*”, a partir de sus orígenes; en efecto, las ciencias de la complejidad nacen originariamente de campos como las matemáticas, la física, la biología y los sistemas computacionales, y de las colaboraciones entre ellas. Este texto se inscribe en esta tercera comprensión. No obstante, es preciso señalar que este modo de comprensión y explicación de la complejidad es igualmente el que ha realizado las mayores contribuciones en dominios interdisciplinarios. Recientemente, la complejidad

como ciencia se ha abierto al estudio de los fenómenos y sistemas sociales humanos, como los más complejos que existen en la naturaleza.

El tema de base constitutivo de las ciencias de la complejidad es el de establecer por qué razón (o razones) un fenómeno, sistema o comportamiento *se hace* o se vuelve complejo. Por “*complejidad*” hay que entender, por tanto, inmediatamente, “*impredecible*” e “*incontrolable*”. Desde luego, que esto no implica en absoluto que haya que controlar los fenómenos, sistemas o comportamientos. Es justamente todo lo contrario, algo que tendré la ocasión de precisar oportunamente más adelante.

De esta suerte, los fenómenos, sistemas y comportamientos estudiados en el marco de las ciencias de la complejidad se caracterizan por rasgos tales como ausencia de centralidad, autoorganización, emergencias, no-linealidad, complejidad creciente, sorpresas y adaptación. Estas son algunas de las propiedades más importantes del tipo de fenómenos que interesan a las ciencias de la complejidad.

Pues bien, históricamente hablando, las ciencias de la complejidad son hasta la fecha , seis. Antes de mencionarlas y caracterizarlas, es preciso advertir el primer rasgo de contraste entre las ciencias de la complejidad y la ciencia clásica, proveniente de la modernidad, una vez que la humanidad salió de la Edad Media y atravesó por el Renacimiento.

La ciencia clásica es, por definición singular. Esto significa que desde sus propios orígenes, se caracteriza por un modo exclusivo o predominante a expensas de otro(s), basado fundamentalmente en una filosofía: el reduccionismo, cuya contraparte es el determinismo. Esta misma dúplice idea puede mostrarse de otra manera, así: de acuerdo con G. Bateson, toda la ciencia clásica, desde Bacon, Locke y Newton se define por el hecho de que se refiere a todos los problemas en términos eminentemente cuantitativos, despreciando o subvalorando temas de alta significación como el tiempo, la calidad, la forma y la estética. En una palabra, toda la ciencia moderna es eminentemente antiestética, justamente por cuantitativa; en esto consiste su espíritu reduccionista, a saber: en que no se refiere a los fenómenos sino en tanto que son susceptibles de

ser mensurados y tasados, y aquello que no lo pueda ser, es relegado a lugares secundarios.²

La lógica en la que se funda la ciencia clásica es única, a saber: la lógica formal clásica, lo cual se traduce como el reconocimiento de que tanto existe una única forma de racionalidad e inteligencia, tanto como que las cosas o los fenómenos sólo pueden ser comprendidos y explicados de una sola manera, y ambas remiten a la prevalencia de la lógica formal clásica, el modelo deductivo o hipotético-deductivo, en fin, al modo científico de la racionalidad. Todo aquello que no se ajuste a ese modelo queda proscrito de la esfera científica y entra en otros dominios. La forma fundamental como en filosofía de la ciencia se conoce a este modelo, es como ciencia clásica, ciencia moderna, y más exactamente, positivismo, neo-positivismo, empirismo lógico. Es exactamente este modelo el que tiene en mente T. Kuhn cuando habla de “*ciencia normal*” contraponiéndolo a “*revolución científica*”, “*ciencia revolucionaria*” o “*nuevo(s) paradigma(s)*” tres maneras distintas de designar un mismo polo de ciencia, lógica y racionalidad.

En marcado contraste con el modo clásico de comprender a la ciencia moderna, las ciencias de la complejidad implican de entrada pluralidad³. De manera puntual, a la pregunta formulada: “¿por qué las cosas, en general, son complejas o se vuelven complejas?”, no existe una única solución. Sin embargo, la existencia de más de una solución posible no debe ser identificada en absoluto con alguna especie de relativismo o de eclecticismo. Las respuestas que aportan las ciencias de la complejidad a la pregunta anterior son variadas y en múltiples ocasiones existen varios nexos fuertes entre las diferentes respuestas aportadas.

Históricamente, la primera de las ciencias de la complejidad fue la termodinámica del no equilibrio, desarrollada por I. Prigogine (1977a, 1977b, 1984, 1987, 1962a, 1962b, 1980, 1990, 1993a, 1993b, 1996a, 1996b, 1999) quien obtuvo, justamente por los desarrollos de la termodinámica de los procesos alejados del equilibrio, el Premio Nobel de Química en 1977. La termodinámica del no-equilibrio sostiene que la complejidad de los comportamientos o sistemas es el resultado de que

éstos se encuentren en el filo del caos, o bien, de modo equivalente, lejos del equilibrio, gracias a lo cual emerge la complejidad en el mundo y la naturaleza.

En estrecha relación con la anterior, la segunda de las ciencias de la complejidad fue la teoría primero y, posteriormente, la ciencia del caos, desarrollada originariamente por E. Lorenz (2000), aun cuando más adelante se incluya también el nombre de D. Ruelle (1995). El caos es una ciencia determinista que opera sobre la base de tres atractores fijos, periódicos y extraños, en los que los más importantes son los últimos. De esta suerte, la complejidad se asimila al comportamiento caótico, es decir, aperiódico de un fenómeno determinado.

La tercera de las ciencias fue la teoría de las catástrofes de R. Thom, quien recibe en 1977 la Medalla Fields que es el equivalente del Premio Nobel en matemáticas, por sus estudios sobre el cobordismo. Es cierto que la teoría de las catástrofes fue posteriormente criticada y desechada por parte de la comunidad de matemáticos, pero lo que cabe resaltar, es que a la luz de Thom, se trata en realidad, antes que de una teoría matemática, de un *lenguaje*, mediante el cual se estudian los cambios súbitos e irreversibles, que se denominan justamente como “*catástrofes*” (Thom, 1990, 1993, 1997; Zeeman, 1977). “*Catástrofe*” es el término técnico que designa cambios súbitos e irreversibles, y no debe ser entendido, en modo alguno, con un sentido negativo o peyorativo. Así, la teoría de las catástrofes estudia los cambios imprevistos, de gran escala y con amplias repercusiones que pueden tener lugar en la sociedad, la naturaleza o el universo en general.

En 1977 se publicó el libro fundamental de B. Mandelbrot, *Geometría fractal de la naturaleza*, que constituye a la cuarta de las ciencias de la complejidad, a saber: la geometría de fractales. Como es suficientemente sabido, todo atractor extraño posee una estructura o dimensión fractal (Mandelbrot, 1996, 1997). La geometría de fractales pone de manifiesto que la regla en la naturaleza no son los sólidos perfectos una idea de origen

²Para una ilustración y desarrollo de esta idea, véase E. Tiezzi. (2006). *La belleza y la ciencia. Hacia una visión integradora de la naturaleza*. Barcelona: Icaria.

³Lo que sigue se encuentra ampliado en: Maldonado, C. E. (2006). *Ciencias de la complejidad ciencias de cambios súbitos*. Bogotá: Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas Odeón, Universidad Externado de Colombia.

pitagórico, platónico y euclidiano, sino, por el contrario, los sólidos irregulares. La naturaleza produce y opera sobre formas imperfectas o irregulares “*fractales*”, cuyo rasgo distintivo es la autosimilitud, gracias a lo cual opera sobre criterios matemática y físicamente económicos.

La quinta de las ciencias de la complejidad sugiero es el conjunto de las lógicas no-clásicas, igualmente conocidas como lógicas filosóficas.⁴ Me refiero, notablemente, a las lógicas paraconsistentes la lógica del tiempo, la lógica de la relevancia, las lógicas polivalentes y, en particular, la lógica difusa y la lógica cuántica (Beal & Restall, 2006; Garson, 2006; Goble, 2005; Grayling, 1997; Palau, 2002; Peña, 1993; Prior, 2003). Las lógicas no-clásicas no solamente implican de entrada la idea de un pluralismo lógico y por consiguiente semántico y racional, sino, además y fundamentalmente, ponen de manifiesto que vivimos y podemos vivir en diversos mundos, lógicamente hablando. La historia del desarrollo de las lógicas no-clásicas es verdaderamente apasionante, y se trata con toda seguridad del escenario de mayor riqueza, productividad y vitalidad de la investigación de punta actual. Estas lógicas son conocidas igualmente como lógicas filosóficas en cuanto que ulteriormente el conjunto de temas de que se ocupan son eminentemente filosóficos, en el sentido al mismo tiempo más amplio y generoso, y no técnico o profesional, de la palabra.

Finalmente, las ciencias de la complejidad se componen de la ciencia de redes *science of connections*, en contraste con la teoría de redes *theory of networks*, desarrollada originariamente a partir del 2001, gracias a los trabajos de D. Watts, Barabasi y Strogatz (Barabasi, 2003; Strogatz, 2003; Watts, 2002; Solé, 2009; Barrat *et al.*, 2008). De acuerdo con el estudio de las redes complejas, la complejidad se explica gracias a la existencia de factores tales como leyes de potencia que logran poner de manifiesto que el comportamiento robusto de un sistema se funda en la flexibilidad de las relaciones entre los elementos o los términos del sistema considerado. Vivimos ulteriormente en un mundo pequeño como resultado de los pocos grados de conexión entre diversos sistemas, nodos y fenómenos. La ciencia de

redes complejas ha arrojado luces nuevas y sorprendentes acerca de la arquitectura de la complejidad.

Como se observa fácilmente, a la pregunta: ¿qué hace que los fenómenos sean o se vuelvan complejos? Las ciencias de la complejidad no aportan una única respuesta. Lo cual desde luego no implica, en manera alguna, que cualquier respuesta sea de lo mismo, o sea indiferente. Por el contrario, existe una diversidad de respuestas, más o menos en la siguiente dirección: la complejidad es el resultado de la ruptura de simetrías, la existencia de un atractor extraño, un fenómeno de autosimilitud, debido a una catástrofe determinada umbilical, mariposa u otra por sinergias y relaciones, por la sensibilidad a las condiciones iniciales, por la existencia de redes booleanas, por factores probabilísticos o estocásticos, porque el fenómeno es abierto y se encuentra en un entorno variable, gracias a una ley de potencia que hace que se convierta o se comporte como un sistema de criticalidad autoorganizada, en fin, la complejidad es una expresión de la interacción entre los componentes de un sistema que ponen de manifiesto que dicho sistema se encontraba en el filo del caos, o lejos del equilibrio, por ejemplo.

Es posible compilar esta y otra variedad de respuestas afirmando que las ciencias de la complejidad estudian las *transiciones orden/desorden*. En otras palabras, se trata de estudiar y explicar de qué manera el orden se rompe, por así decirlo, y emerge el caos, o también y en términos mucho más precisos cómo es posible que a partir del desorden surja orden. De esta suerte, la complejidad de un sistema es directamente proporcional a y se corresponde con los *grados de libertad* del sistema, en el sentido preciso que la expresión tiene en física o en matemáticas. En cualquier caso, es fundamental atender al hecho de que las ciencias de la complejidad atienden a los sistemas, fenómenos y comportamientos que tienen una complejidad *creciente*. Existen en la naturaleza y la sociedad, por ejemplo, numerosos fenómenos que se caracterizan por una complejidad *decreciente*. No son esta clase de fenómenos los que interesan a los teóricos e investigadores de la complejidad en el sentido mencionado.

⁴He trabajado en esta dirección en varios artículos de divulgación: Maldonado, C. E. (2007). Comprensión positiva de las lógicas no-clásicas (4). En: *Zero. Dieciocho, Bogotá, primer semestre*, 160-163. Maldonado, C. E. (2006). Lógicas no clásicas (3): lógicas paraconsistentes. En: *Zero. Diecisiete, Segundo semestre*, 148-152. Maldonado, C. E. (2006). Lógicas no clásicas (2): la lógica del tiempo. En: *Zero. Dieciséis, primer semestre*, 124-128. Maldonado, C. E. (2005). ¿Por qué hay múltiples lógicas? En: *Zero. Quince, segundo semestre*, 112-117. Actualmente me encuentro trabajando en un artículo de investigación desarrollando o demostrando la idea de que las lógicas no-clásicas pueden y deben ser consideradas como un componente de las ciencias de la complejidad.

3. La complejidad es un problema

La literatura sobre complejidad es creciente en el mundo. Son cada vez más numerosos los eventos académicos de todo tipo dedicados al estudio de la complejidad, y las revistas y series editoriales dedicadas al tema son cada nuevo ejemplar más robustas. Este crecimiento se evidencia particularmente en el campo de las ciencias sociales y humanas, tomadas en el sentido más amplio y generoso del término y que incluye, por tanto, también, a las ciencias de la organización y la administración, a la ciencia política, la economía, la sociología y la antropología, la arqueología y la historia; en fin, incluso la filosofía y la psicología, por ejemplo. Con relación a las (mal) llamadas ciencias duras, tales como: las matemáticas, la computación, la biología, la química y la física; es verdaderamente impresionante observar cómo se ha venido inventando una matemática y una lógica alta y crecientemente complicada y técnica, gracias a los desarrollos de la investigación en estos campos. Pero este es un tema que debe quedar aquí de lado. En cualquier caso, lo determinante es el hecho de que existe una sólida y creciente tendencia de unificación de ciencias y disciplinas que tradicionalmente estaban separadas o aisladas, con la justificación de tipo platónico-aristotélica de acuerdo con la cual existían ciencias, saberes, disciplinas y prácticas mejores que otras, con mayor rigor y dignidad. Esta creencia ya es insostenible en el mundo contemporáneo y las ciencias de la complejidad representan con seguridad la mejor ilustración de la importancia y la necesidad del diálogo y cruce entre tradiciones científicas aisladas o separadas, todo lo cual da lugar a la emergencia de una nueva forma de racionalidad en la historia de la humanidad.

En este mismo sentido, es posible señalar que la tendencia fuerte a hablar de un tema o fenómeno determinado “bajo la perspectiva compleja o de la complejidad”, se revela como igualmente injustificada y superficial. De acuerdo con esta tendencia, se trata de incorporar al lenguaje herramientas, por ejemplo, analíticas, matemáticas, lógicas y computacionales principalmente y enfoques de complejidad a campos pre-existentes, tradicionales en cierto modo, en fin, buscando acciones, lecturas o interpretaciones que quieren ser novedosas.

En contraste con esta tendencia, la investigación de punta en el mundo tiene lugar, literalmente, gracias

al hecho de que unas disciplinas o ciencias les prestan herramientas y conceptos a otras, que hay incorporación de lenguajes y de métodos, en dominios cruzados, todo lo cual se traduce en un hecho absolutamente novedoso, a saber: asistimos a la emergencia de problemas de frontera que dan lugar a ciencias de frontera. Un problema de frontera es aquel que ya no puede ser identificado y mucho menos resuelto con la tradición y las herramientas técnicas y conceptuales de una sola ciencia y disciplina, sino que convoca o en el que coinciden líneas de investigación diversas y plurales. Un problema se dice que es de frontera cuando una única tradición disciplinar se revela como insuficiente para la comprensión, la formulación y la resolución de un problema determinado.

La tendencia a hablar de los fenómenos, sistemas y comportamientos como si sencillamente se tratara de verlos de manera compleja no solamente desvirtúa de qué se trata, verdaderamente a propósito de la complejidad, sino que, adicionalmente, le hace un flaco favor a los campos tradicionales, por así decirlo a los que se aplica la complejidad. A fin de explicarme, quisiera adoptar aquí dos vías distintas.

En primer lugar, es importante atender a un problema determinante en el campo de la sociología de la historia, la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia. Me refiero al problema del progreso del conocimiento, un tema que irrumpe con fuerza a partir de autores como Bachelard, Canguilhem, Kuhn, Kitchner.

Es efectivamente posible hablar de progreso en el conocimiento y concomitantemente también de progreso moral de la humanidad cuando se toma como base el progreso o desarrollo de la investigación, desde dos puntos de vista: primero, y como la visión más tradicional y predominante, incluso hoy en día, cuando se habla de un cierto encadenamiento del conocimiento en un sentido acumulativo y, por tanto, progresivo. Toda la estructura normal de la ciencia se funda sobre este postulado, desde la Academia y el Liceo pasando por la Stoa hasta la Universitas. De acuerdo con esta primera postura, siempre se sabe más y mejor que antes, y sobre el supuesto de la historia, se asiste a procesos graduales de mejoramiento,

perfeccionamiento, acabamiento. Esta historia se ilustra perfectamente en el primer libro de cada obra de Aristóteles, dedicado siempre a una elaboración del estado del arte *state of the art* a partir del cual y sin el cual no tiene sentido el estudio, la formación o la investigación subsiguientes. Hay que decir que detrás o implícitamente, en la base de esta primera interpretación existe un espíritu religioso si no teológico, según el cual las instituciones, la investigación y el conocimiento no se pueden modificar si el propio conocimiento no lo permite. El derecho es perfectamente ilustrativo al respecto: la ley no se puede modificar si la ley misma no lo permite.

De otra parte, en segundo término, se puede y se debe hablar igualmente de progreso en el conocimiento ya no por vía acumulativa, sino a través de quiebres, rupturas, discontinuidades. El concepto acuñado por Kuhn para referirse a este otro modo es el de *revolución*, revolución científica, revolución en el conocimiento, un concepto que ha cobrado ya vida propia incluso al margen o más allá del trabajo pionero de Kuhn. El tema que irrumpe inmediatamente no es ya el de mejoramiento y perfeccionamiento del conocimiento, sino, por el contrario, el de innovación y creatividad. Desde este punto de vista, el progreso en el conocimiento consiste en la incorporación o producción de auténticos paradigmas, por definición nuevos.

Ahora bien, un nuevo paradigma no emerge por voluntad de los académicos, teóricos o investigadores de un dominio determinado. Por el contrario, emerge ante la imposibilidad o la incapacidad del conocimiento habido y existente por abordar y resolver los problemas antiguos o actuales existentes. Sencillamente, los nuevos paradigmas no emergen tanto por inteligencia de la comunidad académica y científica cuanto que por la insuficiencia, incapacidad o limitaciones de los paradigmas vigentes o tradicionales. Emergen, entonces, nuevos lenguajes, nuevas técnicas, nuevos conceptos. En últimas, justamente, nuevas teorías, en el sentido al mismo tiempo más prestante y fuerte de la palabra. Sólo que este proceso sucede al igual que con procesos sociales, de organización, la creación y el fortalecimiento de grupos de interés y de presión, creación o ampliación de espacios

sociales y demás. Como lo advirtiera hace ya tiempo Kuhn, toda revolución científica se corresponde exactamente con una revolución política y social. De allí que no sea fácil ni expedito el surgimiento de nuevas formas de pensar, nuevos lenguajes, en fin, en últimas, de nuevas ciencias, líneas y programas de investigación.

Pues bien, quiero sostener que las ciencias de la complejidad constituyen una auténtica revolución científica, en el segundo sentido que he mencionado⁵. Pero si ello es así, entonces el problema del sentido mismo de lo que sea complejo y de la complejidad salta inmediatamente a la mirada. Exactamente en este sentido, la complejidad es un problema, no una cosmovisión.

Cuando se tiene ante la vista ciencia nueva y radical revolucionaria, justamente no tiene sentido y, más exactamente, no se puede hablar de aplicación de esta ciencia a un terreno o caso determinado. Ahora, desde luego que generalmente la sociedad o la humanidad específicamente a través de las comunidades académica y científica, en primer lugar, no siempre sabe inmediatamente que se encuentra ante una revolución científica. La historia y la sociología de la ciencia aportan numerosos ejemplos al respecto. Lo verdaderamente significativo consiste en el reconocimiento de que un nuevo paradigma es, por definición, reactivo a cualquier esfuerzo de instrumentalización y reducción. Es por este camino que se termina cayendo, a pesar de sí mismo, en la pendiente que conduce hacia la pseudo-ciencia, sin duda alguna, el principal y más grande riesgo y peligro para el desarrollo del conocimiento y de la investigación y, por consiguiente, de la humanidad. En lenguaje clásico de la filosofía de la ciencia, este tema da lugar justamente al problema del criterio de demarcación, entre la ciencia y la pseudo-ciencia, o también, y en términos al mismo tiempo más finos y sutiles, la demarcación entre una teoría científica y una *buena* teoría científica. Hasta la fecha este problema permanece abierto, aún.

Las ciencias de la complejidad, notablemente a partir de las contribuciones singulares de Prigogine, Kauffman, Holland, Gell-Mann, Chaitin, Mandelbrot, Bak, Solé, Goodwin, Gould incluso, y tantos otros, han transformado, además de campos y fenómenos

⁵Existen, desde luego, opiniones contrarias a este punto de vista. Una reciente y sólida posición contraria a la que yo defiendo puede encontrarse en J. Echeverría, *La revolución tecnocientífica*, Madrid, F.C.E., 2003.

determinados del conocimiento, también la visión integral sobre lo que es real, sobre el universo y el planeta en fin sobre nuestro propio lugar en la economía del universo y las relaciones entre las unidades bióticas y abióticas. Son numerosos los autores que hablan de la necesidad de desarrollar, por ejemplo, una física evolutiva, o una bioeconomía, una política en el sentido de la complejidad que se denomina biopolítica, y son numerosas y apasionantes las disciplinas y ciencias tanto como los modelos y conceptos recientes que se vienen desarrollando. La historia más reciente de la ciencia y la investigación de punta es generosa en los ejemplos e ilustraciones al respecto.

En términos genéricos, lo más determinante consiste en el hecho de que las dos unidades básicas de la realidad, el universo microscópico y el macroscópico han llegado a relacionarse e implicarse de maneras como nunca lo fueron anteriormente en la historia de la humanidad, a la vez que cada uno de ellos ha conocido subdivisiones, por así decirlo, que han ampliado de manera significativa sus propias dimensiones.

Sobre la base de lo que precede, una segunda vía de gran ayuda para acusar la tendencia a referirse a la complejidad con fines instrumentales cuando no incluso cosmovisivos, consiste en reconocer explícita y abiertamente en qué consiste la lógica de la investigación en complejidad.

No todos los fenómenos, sistemas y comportamientos en el mundo y la naturaleza son complejos. Más exactamente, “*complejidad*” debe ser desprovisto de cualquier carga psicológica, emocional, estética o lingüística. Dicho de manera puntual: no es bueno ni deseable que los fenómenos sean complejos he aquí un rasgo claro de diferencia con las lecturas de Morin y sus seguidores. Pero cuando se hacen complejos o se comportan en términos de complejidad, por ejemplo, con propiedades de emergencia, autoorganización, no-linealidad, sinergia y otros, entonces existe un conjunto de ciencias las ciencias de la complejidad, justamente, que contribuyen a explicar y comprender exactamente de qué se trata.

Exactamente en este sentido, la complejidad es ciencia que apela a la heurística y las metaheurísticas, con el desarrollo de nuevos métodos de investigación como son, notablemente,

el modelamiento y la simulación. En sentido amplio, puede decirse que las ciencias de la complejidad serían un conjunto de metaheurísticas, que se definen a partir de problemas de frontera.

En el lenguaje técnico de los complejólogos es habitual encontrar la expresión de acuerdo con la cual la complejidad es un *desafío*. Es decir, no existe un único algoritmo que sea suficiente para definir y agotar lo que sea la complejidad. En este sentido, se habla del aprovechamiento de la complejidad *harnessing complexity* (Axelrod & Cohen), cuando no, también, del reconocimiento de que la complejidad del mundo y la naturaleza es el resultado de las interacciones entre estabilidad y probabilismo, entre simetría y caos, en fin, entre azar y necesidad como es el caso en la obra de Prigogine.

La complejidad es consiguientemente un problema en el sentido preciso de que se encuentra en la interfase entre la mirada del observador y el comportamiento mismo de los fenómenos. En otras palabras, desde este punto de vista, no es cierto que la complejidad dependa de los ojos y la posición del observador, como que tampoco la realidad sea un enigma acaso insondable y sorpresivo que escape sin más de la investigación, las teorías y la experimentación. La complejidad es, así, el propio proceso evolutivo de determinados fenómenos y sistemas que se ven conducidos a límites conocidos como “*filo del caos*”, “*punto(s) crítico(s)*” y “*estado(s) crítico(s)*”.

Análogamente a como en el estudio del caos el reto fundamental consiste en identificar atractores extraños pues es muy fácil hablar de ellos, pero extremadamente difícil identificarlos y explicarlos, así mismo, en el caso de la complejidad el reto grande consiste en explicar qué hace que un sistema se comporte complejamente y *qué se sigue de ello*.

Existe una forma clara para precisar lo anterior. Las ciencias de la complejidad no trabajan con el espacio real, digamos con el espacio euclidiano con el que tratan la inmensa mayoría de ciencias, explicaciones y disciplinas. Más exactamente, las ciencias de la complejidad trabajan con espacios imaginarios, designados técnicamente como espacios posibles,

uno de cuyos análogos son los espacios de Hilbert, en matemáticas, al interior de los cuales sí existen, pero tan sólo como un caso particular, espacios euclidianos. Dicho de manera puntual: se trata del trabajo con espacios de soluciones, que pueden ser vistos o representados mediante el recurso al modelamiento y la simulación.

En este sentido, las ciencias de la complejidad son altamente contraintuitivas en clara correspondencia con la ciencia contemporánea, en general, y no basan ya, en contraste con la historia principal de toda la humanidad occidental, sus explicaciones sobre el primado de la percepción natural. Es más, la percepción natural se revela como altamente insuficiente para entender, explicar y trabajar con los fenómenos, sistemas y comportamientos: a) que son complejos, o bien b) que se cree que exhiben complejidad. Justamente frente a esta circunstancia, el papel de la computación en general, y del modelamiento y la simulación en particular, es un hecho reconocido ampliamente en la comunidad de teóricos, académicos e investigadores en el estudio de los sistemas complejos no-lineales.

En otras palabras, la complejidad así las cosas no es, en absoluto, un punto de partida en el sentido preciso de “ver a X en perspectiva compleja”, sino, más adecuadamente, un lugar intermedio en cuyo extremo opuesto se abren numerosos otros riesgos, posibilidades, preguntas, desafíos y horizontes. Qué se sigue de este horizonte de preguntas y posibilidades, lo que se encuentra en dicho horizonte es el resultado mismo de la investigación; y más exactamente, es el resultado de la investigación *básica*.

4. Las ciencias de la complejidad no son ciencia de control

El rasgo más importante de la ciencia clásica el cual tuvo estupendos resultados que condujeron, ulteriormente, a la revolución industrial, la revolución postindustrial y, en general, a aquella forma de organización y práctica que son las tecnociencias, consiste en la creencia según la cual el objeto primero de la investigación científica era el de elaborar predicciones, para las cuales las discusiones y procedimientos metodológicos observación, experimentación, inducción y demás eran en realidad sucedáneos. Precisamente

por esta razón, la filosofía fundamental de la ciencia clásica fue el objetivismo y su filosofía o creencia principal: la objetividad, es decir, la creencia de que la realidad es objetiva, independiente del sujeto, frente a lo cual lo mejor que puede hacer el sujeto cognoscente es el de elaborar diferentes estrategias de acercamiento y desciframiento de la objetividad. Gracias a la introducción de la creencia en la objetividad, la ciencia clásica introdujo el criterio de acuerdo con el cual todo experimento debe ser reproducible para poder ser aceptado universalmente; y en otro plano distinto, pero paralelo, toda teoría debe poder contrastarse empíricamente a fin de comprobar su validez.

Entre las herramientas desarrolladas por la ciencia clásica cabe destacar la incorporación de distintas metáforas, el acuñamiento de diversos conceptos y categorías, el recurso a neologismos, el desarrollo gradual de un cuerpo instrumental y técnico, el apoyo eventual de otras disciplinas y ciencias, en fin, la elaboración de modelos explicativos que se vayan acercando cada vez más y mejor a la realidad objetiva.

En términos generales, este es el estado y espíritu de aquella clase de ciencia que designa a la modernidad así como a la ciencia normal hasta nuestros días. Pues bien, precisamente en razón a esta creencia en la objetividad, toda la ciencia clásica se desarrolló de una dúplice manera: como ciencia de control y a partir de las ciencias experimentales en estrecha asociación con las llamadas ciencias naturales.

En efecto, el modelo predominante como nace la ciencia en la modernidad y que marcará a toda la ciencia incluso hasta bien entrado el siglo XX es el de que los fenómenos, sistemas y comportamientos en la naturaleza, y por extensión también en la sociedad, pueden y deben controlarse. El control se establece mediante la adecuación de los fenómenos a los modelos teóricos. De esta suerte, la ciencia clásica desarrolla un doble tipo de control: de un lado, el control de los experimentos y al mismo tiempo, de otra parte, el control que la teoría o el modelo adoptado impone sobre la experimentación. Y en muchas ocasiones en ciencia tanto como en filosofía, si la realidad no se ajustaba a los modelos, tanto peor para ella. Con seguridad, los ejemplos más conspicuos al respecto son la filosofía de Hegel y la economía clásica y neo-clásica. Pero pueden mencionarse numerosos otros ejemplos.



La punta de lanza de la ciencia moderna fue y ha sido la ciencia experimental. De hecho, una teoría, un experimento o un modelo son válidos y racionales si puede(n) ser reproducidos. La reproducibilidad del experimento notablemente al mismo tiempo que garantiza la verdad de la explicación afirma la objetividad de la naturaleza o del fenómeno estudiado. En términos de la filosofía de la ciencia, las discusiones acerca de la validación, la verificación, la confirmación o la falsación de las teorías y las explicaciones no han significado otra cosa que la ratificación del espíritu de control teórico, por decir lo menos, de la fe en la objetividad.⁶

Ahora bien, en contraste con toda la ciencia moderna y parcialmente con la filosofía de la modernidad, la investigación contemporánea ha hecho el descubrimiento de que existen una serie de fenómenos, sistemas y comportamientos que no pueden controlarse en manera alguna y, paradójica pero significativamente, precisamente por ello se revelan como aquella clase de fenómenos verdaderamente significativos desde un múltiple punto de vista: así, por ejemplo, para la vida de la humanidad y del planeta, para el conocimiento. Las ciencias de la complejidad forman parte de ese grupo reciente de investigaciones que han puesto de manifiesto que hay una clase de sistemas que no se pueden controlar, bajo el riesgo de que si se las controla, sencillamente se las elimina físicamente.

La filosofía del control en la filosofía y la ciencia modernas tiene varias fuentes: desde la teoría de los ídolos de Bacon, hasta las *Reglas para la dirección del espíritu* de Descartes, incluyendo la teoría de las cualidades primarias y secundarias de Locke en su *tratado sobre el entendimiento humano*. Sobre estas fuentes, la corriente principal de la ciencia y la filosofía se desarrollan en conformidad. Aquella filosofía del control toma como base la idea de que los fenómenos deben ser divididos para poder ser estudiados, y el análisis se entiende teórica, metodológica y prácticamente como la fragmentación del objeto de que se trata.

Sin embargo, hay un rasgo que quisiera resaltar claramente. Toda la racionalidad moderna, en

confluencia con lo anterior, se caracteriza por el hecho de que aborda, siempre, primero, los problemas fáciles y posterga y desplaza a lugares secundarios los problemas difíciles. En otras palabras, los problemas formulados y, eventualmente resueltos por parte de la investigación científica y filosófica no necesariamente son los más relevantes, importantes, fundamentales o necesarios, sino, tan sólo, aquellos que pudieron ser abordados y solucionados con base, justamente, en la filosofía del control, la predicción y el análisis fragmentación.

Creo, con todo, que las razones por las que la ciencia y la filosofía procedieron de esta manera obraban de buena fe, y no fueron el resultado de limitaciones supinas o de caprichos teóricos o prácticos de cualquier tipo. En verdad, la historia de la ciencia y en general de las teorías, las técnicas y las tecnologías humanas son el resultado de un proceso selectivo, análogamente a como acontece con la teoría de la evolución en su campo inmediato de trabajo durante mucho tiempo, a saber: las especies naturales y biológicas. Existen también procesos selectivos en las teorías, las prácticas y técnicas, y lo que en un plano corresponde con adaptación *fitness*, en otro contexto se corresponde con la idoneidad teórica y práctica para abordar primero los problemas más fáciles y relegar, desplazar o incluso subvalorar los más difíciles. Así, la adaptación es una cara de la moneda que puede ser vista como la contraparte de la dificultad.

A partir de lo anterior, es necesario tener en cuenta que el concepto técnico de complejidad no debe ser asimilado, en absoluto, al de dificultad o complicación. En este sentido, una creo afortunada comprensión de la complejidad y/o de las ciencias de la complejidad es aquella que sostiene que las ciencias de la complejidad consisten en el abordaje estudio, trabajo, investigación, de los problemas filosóficos que plantea la ciencia de punta contemporánea. No es enteramente claro que la mayoría de los investigadores empíricos en complejidad estén de acuerdo con esta

⁶Con acierto, I. Prigogine & I. Stengers han demostrado que la creencia en la objetividad por parte de la ciencia moderna es uno de los rasgos que subraya el espíritu medieval de la modernidad: cfr. I. Prigogine & I. Stengers. (1991). *La nueva alianza. La metamorfosis de la ciencia*. Madrid: Alianza. De otra parte, véase igualmente Maldonado, C. E. (2005). *Termodinámica y complejidad. Una introducción para las ciencias sociales*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

consideración. Aun así, desde el punto de vista teórico estoy convencido que ese es el tema de fondo en el estudio de la complejidad. Y si es así, entonces, desde luego, el tema del control queda claramente desplazado, fuera de foco.

No es suficiente con afirmar que las ciencias de la complejidad no buscan predecir los fenómenos caracterizados por no-linealidad, emergencias, autoorganización, dado el hecho de que la predicción no es el objetivo primero de la investigación, sino, a lo sumo, un valor agregado. De una manera más radical, el objetivo principal de las ciencias de la complejidad aunque soy honesto en que no estoy convencido que sea únicamente prerrogativa de este grupo de ciencias y varias otras (siempre, sin embargo, una minoría) comparten esta situación consiste en vivir en armonía con el mundo y la naturaleza. Por derivación y aunque suene fácil, el objetivo es, *por consiguiente*, en que vivamos también en armonía con nosotros mismos.

En efecto, en marcado contraste prácticamente con toda la historia de la humanidad occidental a partir de la cosmovisión judeo-cristiana, el objetivo del conocimiento específicamente de la investigación científica, tecnológica y filosófica no consiste ya en el dominio y la apropiación de la naturaleza, en el aprovechamiento de la misma para nuestro beneficio y en la explotación de los recursos naturales con la justificación de satisfacer nuestras necesidades y lujos. Por el contrario, la finalidad del conocimiento estriba en restaurar o construir según el caso relaciones de armonía con el medioambiente, espacial y temporalmente. En este sentido, hemos aprendido hace poco, a propósito de la idea de sostenibilidad, que poseemos una responsabilidad no solamente ante nuestros antepasados y contemporáneos, sino incluso ante nuestros descendientes, a corto, mediano y largo plazo. Debemos poder legar al futuro el mundo y la naturaleza al menos en condiciones tan buenas como lo recibimos, aunque en realidad en términos mejores a los que nos fueron legados. En este sentido, el concepto determinante del progreso en el conocimiento descansa en el concepto de calidad: calidad de vida, calidad del conocimiento, en fin, calidad del medioambiente. Y los temas y contenidos propios de la calidad no son susceptibles de reducirse a una cuantificación y, por derivación, a un control estadístico, financiero, contable, matricial u otro semejante .

Desde el punto de vista histórico, las grandes culturas y civilizaciones de la humanidad, por ejemplo, Babilonia, Egipto, China y los Mayas, compartieron a pesar de la distancia las diferencias y el tiempo, un rasgo en común desde el punto de vista del conocimiento, a saber: buscaron y desarrollaron al mismo tiempo una ciencia que estuviera en armonía con la naturaleza y una ciencia que no hallaba contraposición con la naturaleza planteándose, consiguientemente, proyectos y planes a escalas temporales magníficas; en muchas ocasiones incluso de alcance planetario, solar o galáctico si no cósmico . La ciencia moderna, a pesar de todas sus grandezas experimentales e incluso teóricas no puede, en manera alguna, situarse en parangón con la ciencia antigua en ninguno de estos dos planos. La ciencia moderna es ciencia de temporalidad humana limitada y estrecha por consiguiente , y de estatus distinto superior, para ser precisos a la naturaleza.

Ahora bien, desde luego que no se trata aquí de adoptar posturas nostálgicas de cualquier tipo. Antes bien, se trata de observar, mediante un razonamiento por analogía la clase de ciencia que crea una sociedad y al mismo tiempo la clase de sociedad que se plasma en una práctica y comprensión acerca de lo que es la ciencia y el conocimiento en general. Pues bien, cabe señalar que las ciencias de la complejidad se sitúan por así decirlo en una afortunada longitud de onda que caracteriza a la investigación de punta contemporánea y que se caracteriza por el hecho de que se está proponiendo, por primera vez en toda la historia de la humanidad Occidental, tiempos, planes y tareas de envergadura ya no solamente inter y transpersonal, sino, mejor aún, inter y transgeneracional. La investigación de punta en el mundo se lleva a cabo a través de la articulación de programas de investigación que se proponen metas en muchos casos superiores a 60, 80, 120 años. Se trata, notablemente, de programas tales como la conquista del espacio extraterrestre, la exploración del fondo submarino, la búsqueda de energías alternativas, la exobiología y la terraformación, en fin, igualmente, la inteligencia artificial y la vida artificial, por ejemplo. Como se aprecia, se trata de programas de una magnífica complejidad, en toda la extensión de la palabra.



Bibliografía

Fuentes primarias

- Barabasi, A. L. (2003). *Linked. How everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life*. New York: A Plume Book.
- Barrat, A.; Barthélemy, M. & Vespignani, A. (2008). *Dynamical processes on complex networks*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Beal, J. C. & Restall, G. (2006). *Logical pluralism*. Oxford: Oxford University Press.
- Garson, J. W. (2006). *Modal logic for philosophers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Goble, L. (Ed.). (2005). *The blackwell guide to philosophical logic*. Blackwell.
- Grayling, A. C., (1997). *An introduction to philosophical logic*. Blackwell.
- Lorenz, E. N. (2000). *La esencia del caos. Un campo de conocimiento que se ha convertido en parte importante del mundo que nos rodea*. Madrid: Debate.
- Mandelbrot, B. (1996). *Los objetos fractales. Forma, azar y dimensión*. Barcelona: Tusquets.
- Mandelbrot, B. (1997). *La geometría fractal de la naturaleza*. Barcelona: Tusquets.
- Mares, E. D. (2007). *Relevant logic. A philosophical interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: a guided tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Nicholis, G. & Prigogine, I. (1977). *Self-organization in nonequilibrium systems*. New York: Wiley-Intersciences.
- Nicholis, G. & Prigogine, I. (1987). *La estructura de lo complejo. En el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias*. Madrid: Alianza.
- Palau, G. (2002). *Introducción filosófica a las lógicas no clásicas*. Barcelona: Universidad de Buenos Aires-Gedisa.
- Peña, L. (1993). *Introducción a las lógicas no clásicas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Prigogine, I. (1962a). *Introduction to nonequilibrium thermodynamics*. New York: Wiley-Interscience.
- _____. (1962b). *Nonequilibrium statistical mechanics*. New York: Wiley.
- _____. (1977). *Nobel lecture in chemistry. Time, structure and fluctuations*. S.d.
- _____. (1980). *From being to becoming. Time and complexity in the physical sciences*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- _____. (1993a). *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Barcelona: Tusquets.
- _____. (1993b). *El nacimiento del tiempo*. Barcelona: Tusquets.
- _____. (1996a). *El fin de las certidumbres*. Santiago de Chile: Andrés Bello.
- _____. (1996b). *El tiempo y el devenir. Coloquio de Cerisy*. Barcelona: Gedisa.
- _____. (1999). *Las leyes del caos*. Barcelona: Crítica.
- _____. (2003). *Is future given?* World Scientific.
- _____. & Stengers, I. (1984). *Order out of chaos. Man's dialogue with nature*. New York: Bantam Books.
- _____. & Stengers, I. (1990). *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*. 2 ed. Madrid: Alianza.
- Prior, A. N. (2003). *Papers on time and tense*. New Edition. Oxford: Oxford University Press.

Ruelle, D., (1995). *Azarycaos*. Madrid: Alianza

Strogatz, S. (2003). *Sync. How order emerges from chaos in the universe, nature, and daily life*. New York: Hyperion.

Thom, R. (1990). *Esbozo de una semiología. Física aristotélica y teoría de las catástrofes*. Barcelona: Gedisa.

_____. (1993). *Parábolas y catástrofes. Entrevista sobre matemáticas, ciencia y filosofía*. Barcelona: Tusquets.

_____. (1997). *Estabilidad estructural y morfogénesis. Ensayo de una teoría general de los modelos*. Barcelona: Gedisa.

Watts, D. (2002). *Six degrees. The science of a connected age*. New York/London: W. W. Norton & Co.

Zeeman, E. C. (1977). *Catastrophe theory. Selected papers 1972-1977*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co.

Fuentes secundarias

Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: F.C.E.

Gembillo, G. (2008). *Le polilogiche della complessità. Metamorfosi della ragione da Aristote a Morin*. Firenze: Le Lettere.

Gleick, J. (1988). *Caos. La creación de una ciencia*. Barcelona: Seix Barral.

Lederman, L. M. & Hill, C. T. (2006). *La simetría y la belleza del universo*. Barcelona: Tusquets.

Maldonado, C. E. (2005). *Termodinámica y complejidad. Una introducción para las ciencias sociales y humanas*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Reynoso, C. (2006). *Complejidad y caos. Una exploración antropológica*. Buenos Aires: SB, Colección Complejidad Humana.

Scott, R. (2007). *Non-linear science*. Springer Verlag.

Solé, R. (2009). *Redes complejas. Del genoma a internet*. Barcelona: Tusquets.

Woodcock, A. & Avis, M. (1994). *Teoría de las catástrofes*. Madrid: Cátedra.

Fecha de Entrega: 18 de febrero de 2009

Fecha de Aprobación: 5 de mayo de 2009