

EL PROBLEMA DE UNA TEORÍA GENERAL DE LA COMPLEJIDAD

Carlos Eduardo Maldonado
Profesor-Investigador CIPE
Universidad Externado de Colombia
E-mail: carlos.maldonado@uexternado.edu.co

Introducción

El estudio de los fenómenos no lineales de complejidad creciente se ha basado fundamentalmente en el trabajo de simulación con ayuda del computador. Sin embargo, ha habido una larga discusión acerca de la carencia de una teoría general de los sistemas complejos. Este artículo traza el problema y los retos referentes a una teoría de la complejidad a través de tres momentos: determinación de la clase de ciencias que son las ciencias de la complejidad, identificación y caracterización del problema mismo de una teoría de la complejidad y el planteamiento, en esbozo, de cuál podría ser dicha teoría.

El grueso del trabajo en el estudio de los sistemas complejos ha estado dedicado a la simulación de fenómenos, procesos, comportamientos y dinámicas caracterizados como complejos. Ya el trabajo pionero de H. Pagels anticipaba suficientemente las razones para este desarrollo de la complejidad. La importancia de los programadores, expertos en sistemas computacionales y, en general, el trabajo de simulación es cada vez más destacado. En otro lugar me he ocupado del estudio y justificación de esta circunstancia. Sin lugar a dudas, en el futuro este trabajo seguirá siendo fructífero y sugerente.

Quiero sostener que, sin embargo, los dos problemas fundamentales en el estudio de la complejidad son: a) el problema de la medición de la complejidad, y b) la elaboración de una teoría general de la complejidad.

El problema de la medición de la complejidad tiene tres aspectos, así:

- i) Debe ser posible medir la complejidad de cada sistema complejo. Pero esta opción tiene un problema filosófico grueso en su base, a saber: cómo comparar, dimensionar, etc., sistemas de diversa complejidad entre sí. Cada sistema complejo posee su propia complejidad, pero debería ser posible hacer conmensurables o congruentes, matemáticamente hablando, mediciones diversas y, *a fortiori*, diferentes sistemas complejos.
- ii) Debe ser posible medir diversos sistemas complejos; por ejemplo, la complejidad del cerebro, relativamente a la complejidad de los mercados financieros, o incluso la complejidad de un nicho ecológico, por ejemplo. Al fin y al cabo, tal es exactamente el espíritu de la ciencia en general. La filosofía de la ciencia tiene en este aspecto bastante qué decir.
- iii) En teoría, cabría admitir la plausibilidad de ambas opciones. Es decir, que tanto sea factible medir la complejidad de cada sistema complejo, como establecer una medida común para diferentes sistemas complejos.

Las principales mediciones de complejidad son:

- a) Medición de la entropía de un sistema, que es, fundamentalmente, la contribución de Zurek y de Shannon;
- b) Medición fractal de un sistema, gracias, esencialmente, al trabajo pionero de Mandelbrot;
- c) Medición de la termodinámica del no equilibrio, que es la contribución primera de Prigogine,
- d) Medición algorítmica de un sistema, gracias Chaitin y Kolmogorov.

De estas mediciones se siguen al mismo tiempo cuatro comprensiones de complejidad y cuatro ámbitos de trabajo bien establecidos. No es mi interés aquí, inmediatamente, entrar en ellos.

Por el contrario, quisiera dirigir la mirada en otra dirección; quizás más arriesgada y ciertamente más difícil. Me refiero a las posibilidades de formulación y elaboración de una teoría general de la complejidad. En otros lugares he sostenido que el problema de la medición de la complejidad puede que no se encuentre separado del de una teoría

general de la complejidad. Por esta razón debo también abstenerme aquí de entrar en esta conexión.

En la historia y la filosofía de la ciencia cabe distinguir entre el origen teórico de una ciencia y el origen institucional de la misma, o también, en términos de I. Lakatos (1983), entre el origen de la historia intrínseca y el de la historia extrínseca de la ciencia. No siempre coinciden ambos orígenes. El siguiente cuadro permite distinguir los principales autores y fuentes de trabajo en cuanto al origen, las lógicas y los clásicos de la complejidad:

<p>Origen de la complejidad:</p>	<p>H. Poincaré (análisis combinatorio), K. Gödel (incompletud), A. Turing (indecibilidad), S. Smale (topología), E. Lorenz y D. Ruelle (caos), I. Prigogine (termodinámica del no equilibrio), B. Mandelbrot (fractales), R. Thom (catástrofes), Shannon (teoría de la información), Zurek (termodinámica y teoría de la información), G. Chaitin (matemáticas)</p>
<p>Lógicas no clásicas:</p>	<p>N. Da Costa, N. Belnap y Pinter (lógica paraconsistente), Ackermann, Anderson y Belnap (lógica de la relevancia), Prior (lógica temporal), Lukasiewics, Post, Kleene y Bochvar (lógicas polivalentes), Rescher y Zadeh (lógica difusa), Goldblatt (lógica cuántica)</p>
<p>Clásicos de la complejidad:</p>	<p>H. Pagels (física), K. Arrow (economía), D. Pines (física), S. Kauffman (biología), J. Holland (algoritmos genéticos), M. Gell-Mann (física), Y. Bar-Yam (física), P. Anderson (economía), Ch. Langton (sistemas computacionales), R. Solé</p>

	(biología), B. Goodwin (biología), H. Maturana y F. Varela (biología: recursividad y autopoiesis)
--	---

Por su parte, el origen institucional de la complejidad ha sido acordado con la creación del Instituto Santa Fe (ISF) en Nuevo México (E.U.) –originalmente llamado Instituto Río Grande-, gracias, inicialmente, a la ayuda de Los Álamos National Bank en el año 1984 y posteriormente, y de manera definitiva, gracias a los aportes económicos del Citicorp en 1987. El objeto de trabajo del Instituto sería conocido como los sistemas complejos adaptativos (*complex adaptive systems*, CAS, en inglés). Son cada vez más numerosos los autores, los institutos de investigación, las universidades y las colecciones de importantes editoriales dedicados a la investigación y la promoción del estudio de los fenómenos complejos no-lineales.

Quizás los dos problemas fundamentales en el estudio de los fenómenos, sistemas y comportamientos caracterizados por una complejidad creciente son los de la determinación de una medida de la complejidad, y la formulación de una teoría general de la complejidad. Con respecto al primero, no existe una única medición de complejidad ni una única definición de complejidad (Horgan, 1995). Por el contrario, son varias las propuestas, siendo quizás las más relevantes la termodinámica del no-equilibrio (Prigogine), la teoría de la información (Zurek, Bennett), la medición de la complejidad algorítmica (Kolmogorov-Chaitin). Con relación al segundo problema, no existe, hasta la fecha, una teoría general de los sistemas complejos. Cabe conjeturar que la formulación de una teoría general de la complejidad no es indiferente al de la determinación de una medición de la complejidad. Sin embargo, este texto se propone dejar de lado el problema de la medición de la complejidad, para concentrarse en el de una teoría general de la complejidad. La tesis propuesta es la de que es posible alcanzar una teoría general de la complejidad, cuyos rasgos distintivos no encuentran parangón en las teorías científicas conocidas; en este sentido, una teoría general de los sistemas complejos no-lineales habrá de ser una teoría subdeterminada. La formulación de una teoría de la complejidad encuentra, sin embargo, varias y serias dificultades. La primera consiste en establecer qué clase de ciencias son las ciencias de la complejidad: éste es el primer momento de este texto. La segunda es la de precisar, de manera puntual, en qué

consiste el problema de una teoría de la complejidad, para lo cual es de gran ayuda la identificación de los principales hitos históricos en esta dirección: éste es el segundo componente de este texto. Sobre esta base, al final, se señalan algunas pistas que puede contener dicha teoría, o por lo menos allanar el camino hacia la misma. Estos son los momentos o argumentos de la tesis de este texto. La identificación de, y el trabajo con, el problema de una teoría general de los sistemas complejos tiene aquí al mismo tiempo un carácter histórico, filosófico y heurístico.

¿Qué clase de ciencias son las ciencias de la complejidad?

Las ciencias de la complejidad constituyen una nueva revolución científica, en el sentido dado a este término por Th. Kuhn. Ellas plantean, por tanto, la exigencia de redefinir qué es ciencia, dado que lo característico de la complejidad consiste en quebrar las comprensiones disciplinares y monolíticas del conocimiento, para proponer y abarcar enfoque transversales e interdisciplinarios.

Definir qué son las ciencias de la complejidad es una tarea difícil por cuanto el referente usual, que es la ciencia clásica, no sirve enteramente. Para decirlo de manera puntual: las ciencias de la complejidad se ocupan, como caso general y no específico, de los fenómenos, sistemas y comportamientos no-lineales, y esta clase de fenómenos o bien no fueron considerados por parte de la ciencia clásica, o si fueron vistos entonces fueron obliterados, principalmente debido al escaso desarrollo de las matemáticas que no permitían tratarlos, y por consiguiente, explicarlos, como era, por ejemplo, el caso de las ciencias sociales. Pues bien, justamente, la razón constitutiva de las ciencias de la complejidad consiste en establecer en qué consiste, y cómo surge, la no-linealidad de un fenómeno. Por esta razón, el lenguaje de la complejidad hace referencia, de manera directa y necesaria, a fluctuaciones, turbulencias, inestabilidades, ruptura de simetrías, grados de libertad, disipación, desequilibrios o equilibrios dinámicos, en fin, irreversibilidad. En este sentido, el tema de base de la complejidad es el estudio de las transiciones orden/desorden. Son diversas las disciplinas, los modelos, los lenguajes y las herramientas que ayudan a determinar estas transiciones. Se trata, justamente, de la termodinámica del no-equilibrio, del caos, las catástrofes, y otras semejantes. Precisamente por ello, son diversas las teorías que contribuyen a describir y a explicar los sistemas caracterizados por complejidad creciente, tales como la teoría (o ciencia)

del caos, la teoría de las turbulencias, la teoría de la información, la teoría de los sistemas dinámicos, la teoría ergódica, la teoría de la evolución, la teoría de las redes neuronales, la teoría de la comunicación, la teoría de juegos (en especial la teoría de los juegos evolutivos), por ejemplo. Excepto por esta última, cuyo origen sin embargo es matemático pero que se emplea ampliamente en economía, en política y en teoría de las organizaciones, las demás provienen de las ciencias llamadas “duras”, como las matemáticas, la biología, la computación o la física¹.

Dada la dificultad para definir la complejidad en general, la mejor manera como usualmente se caracteriza a las ciencias de la complejidad es por vía descriptiva; específicamente, haciendo referencia a las *características* o *propiedades* de un sistema, fenómeno o comportamiento complejo. No existe entre la comunidad de complejólogos (“*complexologists*”) unanimidad al respecto, pero sí puede decirse, sin dificultad alguna, que existe un consenso acerca de las propiedades de un sistema o fenómeno complejo. En términos generales, las propiedades más distintivas son: no-linealidad, autoorganización, emergencia, caos, aleatoriedad, adaptación, evolución, flexibilidad/robustez, aunque la lista puede variar, como es efectivamente el caso, de un autor a otro.

El estudio de los fenómenos de complejidad creciente marca un contraste grande con la ciencia clásica a partir de seis motivos precisos con los que, de manera habitual, se trabaja de manera integrada y complementaria en complejidad:

- Trabajo con no linealidad
- Incorporación del principio de incertidumbre
- Identificación de los puntos críticos o los estados críticos de un sistema y el estudio de las transiciones de fase y el trabajo con espacios de fase
- Reconocimiento de la aleatoriedad
- Bucles positivos y negativos de retroalimentación

¹ De cara a las ciencias sociales y humanas, y en general de cara al diálogo entre estas ciencias y las ciencias exactas, físicas y naturales, existe una dificultad que salta inmediatamente a la vista. Se trata, en algunos casos dentro de las ciencias sociales y humanas, del escaso número de teorías, o incluso, en otros casos, de la total inexistencia de teorías, por lo menos en el sentido de teorías sólidas y satisfactorias *análogamente* a como sucede, por ejemplo, en física. Esta dificultad ha sido el objeto de trabajo, principalmente, de la filosofía de la ciencia. Un panorama de este estado de cosas puede apreciarse en el que es quizá el mejor libro al respecto: Stegmüller (1983). Para una visión alternativa a este estado de cosas, véase Maldonado (2005).

- Importancia del tiempo y de la flecha del tiempo

Existen tres grandes líneas de trabajo acerca de los sistemas complejos adaptativos. Una primera, y con seguridad la más antigua y extendida, consiste en la explicación de fenómenos complejos y dinámicos no lineales gracias a la ayuda de experimentos adelantados con el computador (simulación). En este sentido, un requisito importante en el trabajo en complejidad ha sido la capacidad de simulación de los grupos que tienen los investigadores en complejidad. Una segunda línea de trabajo se dedica a la medición de tipos de complejidad. Este frente de trabajo supone una sólida formación en matemáticas, notablemente de las matemáticas cualitativas (del caos, de las catástrofes, y otras). Esta línea de trabajo es particularmente clara en los académicos y científicos provenientes de la física, la química, las matemáticas y la biología. Finalmente, la tercera línea de trabajo se dedica al estudio del significado de la complejidad. Sin que sea prioridad de filósofos, es notablemente el caso de científicos con formación o con preocupaciones sociales tales como de Rosnay (2000), Pagels (1991) y otros.

En este último sentido, adoptando una postura más pragmática, relativamente al problema de la medición de los sistemas complejos, P. Anderson (1999) sostiene que lo importante no es tanto medir la complejidad como hacer algo con respecto a ella. En esta línea de trabajo, Axelrod y Cohen (1999) han desarrollado trabajos tendientes a aprovechar o hacer (buen) uso de la complejidad de un fenómeno o de una circunstancia.

En cualquier caso, el rasgo distintivo del trabajo en ciencias de la complejidad ha consistido en el papel del computador (Pagels, 1991). Puede decirse que las ciencias de la complejidad al mismo tiempo que han sido posibles gracias al desarrollo de los sistemas informacionales y computacionales, han contribuido a un impulso mayor de la computación. Notablemente, se trata del recurso a las matemáticas aplicadas y a los lenguajes de simulación, trabajando simulación de objetos y de lógicas, tales como series de tiempo, redes, látices, algoritmos genéticos, Lisp, autómatas celulares, y otros métodos analíticos².

² Una sólida visión del trabajo analítico sobre los sistemas dinámicos es Campos, Isaza (2002).

El más difícil y discutido de los problemas en complejidad consiste, justamente, en identificar qué hace a un fenómeno o sistema complejo y ello depende, justamente, de la definición que se adopte de “complejidad”. No existe una única respuesta. La complejidad es el resultado de dinámicas adaptativas (Holland), de aleatoriedad (Kolmogorov-Chaitin), de autoorganización (Kauffman), de criticalidad autoorganizada (Bak), o también es el resultado de atractores, rupturas de simetría o desequilibrios (Prigogine). De cara a este problema, existen, a su vez, claramente dos líneas de trabajo por parte de la comunidad científica, una dedicada a la búsqueda de leyes simples que se encuentran o se encontrarían en la base de la complejidad, y otra interesada particularmente en la identificación y búsqueda de patrones comunes, “aires de familia”, por así decirlo, entre los diferentes fenómenos y escalas de complejidad. En el primer caso, la búsqueda de las leyes de la complejidad ha sido una tarea que ha caracterizado a todos los autores e investigadores que pivotan en torno al ISF. En el segundo caso, se trata de posturas alternativas y que entienden que no es necesario descubrir o formular leyes para hacer buena ciencia. El mejor ejemplo aquí es Prigogine. Hay que decir abiertamente que en el futuro inmediato no parece haber una conciliación o una postura intermedia entre ambas tesis. Desde el punto de vista filosófico, el debate consiste entre la *búsqueda de leyes* –simples, por definición- subyacentes a la complejidad, y la importancia y el significado de la *fenomenología* como metodología y heurística científicas.

Mientras que la ciencia clásica es ciencia de control, las ciencias de la complejidad se caracterizan porque no pretenden controlar los fenómenos o sistemas que estudian, puesto que el control termina por eliminar la dinámica misma generadora de complejidad, o que es la complejidad. Exactamente en este sentido el recurso a experimentos por vía de simulación resulta importante y sensible, aunque siempre subsiste el problema acerca de la correspondencia o adecuación o no entre el experimento simulado y el mundo real (Winsberg, 2001).

Ahora bien, es preciso advertir que no es bueno ni deseable que las cosas se hagan complejas. Pero cuando las cosas se complejizan, hay una serie de herramientas útiles que se dan a la tarea de explicar por qué razón lo simple se ha vuelto diverso, lo lineal no-lineal, en fin, el equilibrio se ha roto y se han producido bifurcaciones. Se trata, dicho genéricamente, de las ciencias de la complejidad. En dos palabras: las ciencias de

la complejidad no se ocupan en general del mundo, no pretenden explicar todos los fenómenos, y ni siquiera las dimensiones mismo de la realidad. Por el contrario, estas ciencias se ocupan tan sólo de aquellos fenómenos, comportamientos y sistemas, en fin de aquellos casos en los que la predictibilidad (particularmente a largo plazo) no es posible en absoluto, en las que las interacciones son mucho más significativas que los elementos que entran o que están en juego, en los que el tiempo y la flecha del tiempo son irreversibles, en fin, en los que tienen lugar cambios súbitos que dan lugar a complejidad *creciente*³.

El problema de una teoría de la complejidad

Son varios los ejemplos de autores, líneas de trabajo y modelos explicativos que se pueden mencionar que hacen un llamado a crear o desarrollar, en el futuro, una teoría de los sistemas complejos adaptativos. Aquí mencionaré tan sólo tres que son los más destacados. El primero hace referencia al trabajo con complejidad partiendo desde las matemáticas, el segundo desde la biología y el tercero desde la física.

J. Holland (1995), el padre de los algoritmos genéticos, es particularmente crítico con respecto a la identificación o la reducción del trabajo en complejidad a los experimentos con computador y a la simple simulación. Por el contrario, quizás el mejor camino provenga de las matemáticas. “La matemáticas tienen un papel crítico debido a que ellas solas nos permiten formular generalizaciones *rigurosas*, o principios. Ni los experimentos físicos ni los experimentos basados en computadoras pueden, por sí mismos, suministrarnos tales generalizaciones. Los experimentos físicos están por lo general limitados a aportar el input y las restricciones para los modelos rigurosos, debido a que los experimentos mismos raramente son descritos en un lenguaje que permita una exploración deductiva. Los experimentos basados en computadores poseen descripciones rigurosas, pero tratan tan sólo con casos específicos”⁴. Este autor afirma

³ Para un panorama global de qué cuáles son las ciencias de la complejidad, cfr. C. E. Maldonado, “Ciencias de la complejidad: ciencias de los cambios súbitos” en: *Odeón. Observatorio De Economía y Operaciones Numéricas*, 2005, Universidad Externado de Colombia, págs. 85-125.

⁴ “Mathematics has a critical role because it alone enables us to formulate *rigorous* generalizations, or principles. Neither physical experiments nor computer-based experiments, on their own, can provide such generalizations. Physical experiments usually are limited to supplying input and constraints for rigorous models, because the experiments themselves are rarely described in a language that permits deductive

que los requisitos para lograr alcanzar una teoría de la complejidad comprenden cuatro aspectos: interdisciplinariedad, experimentos mentales basados en computadores, principio de correspondencia de Bohr, y una matemática de procesos competitivos basados en recombinación (1995: 163-165).

Trabajando en un plano paralelo, desde la biología, S. Kauffman (2000) señala el hecho de que no existe una teoría general de los sistemas vivos, y después de haber trabajado en la forma como la teoría de la evolución puede ser complementada con la autoorganización, adelanta algunas investigaciones tendientes a formular algunos pasos hacia una teoría general de la vida. Que no es sino una manera para afirmar una teoría general de los sistemas complejos, dado que para Kauffman los sistemas vivos constituyen el paradigma de los sistemas complejos. La biología debe poder alcanzar el estatuto de una teoría general sobre los sistemas vivos si es que quiere romper el dualismo que tradicionalmente ha tenido con la física. Una teoría semejante le daría una luz nueva e insospechada no solamente a la propia biología y a las ciencias y disciplinas que se relacionan con ella, sino, además, a la propia física. Para Kauffman se trataría de una “semiología de la física” una expresión que no se encuentra lejos de los trabajos de R. Thom⁵.

Un tercer ejemplo, particularmente conspicuo, es el que presenta Anderson (1999). Este autor abre el seminario que en 1994 se lleva a cabo en el ISF dedicado a evaluar los logros, los retos y las dificultades del trabajo sobre complejidad adelantado en la primera década de creación del Instituto. (Hay que decir que el libro resultante de este seminario se reedita en 1999 sin ninguna modificación seria con respecto a las conclusiones alcanzadas un lustro antes). Pues bien, el texto de Anderson contiene lo que él denomina el óctuple camino hacia la teoría de la complejidad. Este óctuple camino son, en realidad, ocho intentos en los que pueden identificarse fuentes para diversas teorías de la complejidad. Estas fuentes son:

exploration. Computer-based experiments have rigorous descriptions, but they deal only in specifics” (Holland, 1995: 161-162) (traducción, C.E.M.).

⁵ Entre nosotros, una perspectiva congruente con esta tesis de Kauffman puede encontrarse en los trabajos de E. Andrade, por ejemplo, *Los demonios de Darwin. Semiótica y codificación biológicas*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2001 (2ª edición).

- La moderna teoría matemática de la complejidad que se remonta a Turing, atraviesa por von Neumann y que consiste, esencialmente en la idea de la incomputabilidad de cualquier problema digno de estudio (“*any problem worth studying*”).
- La teoría de la información, notablemente, los trabajo de Bennett. La idea central aquí es la de que quizás no es tan importante estudiar la complejidad, como saber qué hacer con ella.
- La teoría ergódica, los mapas dinámicos, el caos, los atractores, los fractales, todos los cuales se enraizan en la teoría ergódica y en el estudio de las trayectorias conservativas de Kolmogorov y Arnold. Este camino se ha bifurcado en dos: el caos, y la distinción entre variables relevantes e irrelevantes, la flecha del tiempo y el problema de la entropía.
- Las multiplicidades aleatorias, la ergodicidad rota, las redes neuronales, etc. En otras palabras, se trata del trabajo con sistemas físicos naturales simples y aleatorios, y sistemas que poseen sistemas complejos de atractores.
- La criticalidad autoorganizada que se origina a partir de los trabajos de P. Bak. Los fenómenos de turbulencia entran aquí, y puede decirse que los fractales quedan incluidos aquí como posibles atractores de sistemas dinámicos complejos.
- La inteligencia artificial (IA). Este camino tiene dos finales: uno muerto, que es el programa que pretende imitar a la vida, y que es la inteligencia artificial propiamente dicha. Y el otro, un final muy vivo, que consiste en el desarrollo de algoritmos genéticos y que llega a cruzarse con la vida artificial; por ejemplo con los trabajos de Ch. Langton.
- El camino que Anderson denomina como “programa húmedo” (“*wetware*”) que busca comprender cómo trabaja el cerebro, humano o animal, sin tratar de suministrar conjuntos particulares de principios subyacentes. Nuevamente J. Holland entra aquí, así como trabajos de M. Gell-Mann y J. Cowan.

Ahora bien, las tres indicaciones mencionadas, la de Holland, la de Kauffman y la de Anderson tienen claras diferencias. La primera apunta a la constitución de una teoría general de la complejidad en dirección a las matemáticas. Puede decirse que esta visión de complejidad general es disciplinar, algo que si bien se comprende a la luz de los trabajos usuales sobre complejidad, y además, a la luz de la tradición científica desde la

modernidad, no deja de ser sorprendente desde el punto de vista de la complejidad. Mucho más sugestivas son las indicaciones según las cuales la interdisciplinariedad, los experimentos mentales basados en computadores, el principio de correspondencia de Bohr, y una matemática de procesos competitivos basados en recombinación son o deben ser constitutivos de una teoría general de la complejidad. Puede decirse que los cuatro componentes de una teoría general de la complejidad que propone Holland tienen un interés sintético. En efecto, mientras que las matemáticas de procesos de recombinación suministra las bases para elaborar generalizaciones, el principio de correspondencia de Bohr permite una unificación entre los comportamientos de gran escala y aquellos de los sistemas microscópicos; la interdisciplinariedad suministra un criterio metodológico y, por su parte, los experimentos mentales basados en computador cumplen sencillamente la función de elaborar modelos y experimentos acordes con los desarrollos tecnológicos contemporáneos. Aunque no es inmediatamente claro cómo la preferencia por las matemáticas empatan con el espíritu de interdisciplinariedad.

Por su parte, la reflexión de Kauffman puede decirse que obedece a un motivo serio de reflexión proveniente de la biología teórica, de la biología evolutiva o también de la filosofía de la biología. Este autor considera que avanzar en el camino hacia una teoría general de los sistemas vivos es un modo efectivo de allanar el camino hacia una teoría general de la complejidad. En este sentido, el trabajo de Kauffman consiste en la búsqueda de una cuarta ley de la termodinámica y que, desde otra perspectiva, McKelvey identifica como el camino hacia una ley cero de la termodinámica. Sin embargo, presentar en detalle en qué consiste esta cuarta (o cero) ley es un tema que desborda con mucho el espacio de este trabajo⁶.

Mucho más amplia es la consideración de Anderson acerca de los caminos que pueden conducir hacia una teoría general de los sistemas complejos. Sin dificultad, esta consideración puede decirse que incluye la de Holland y es próxima a la Kauffman. El óctuple camino tiene al mismo tiempo un carácter *disciplinar –interdisciplinar*, en rigor- y *metodológico*.

⁶ Actualmente me encuentro trabajando en un texto sobre las relaciones entre el trabajo de S. Kauffman, la teoría de la evolución y las ciencias de la complejidad y el problema sobre si cabe establecer a esta cuarta ley de la termodinámica como ley cero o como ley cuarta, complementaria de las tres leyes de la termodinámica clásica.

Existe, sin embargo, una dificultad mayor. Se trata de la asimetría o el isomorfismo entre los distintos caminos. Notablemente, existe una inclinación mayor de la balanza a favor de las ciencias exactas, físicas, naturales y computacionales en desmedro de las ciencias sociales y humanas, con lo cual el carácter de interdisciplinariedad o el llamado a la misma se quebranta. En efecto, de manera natural, los científicos sociales, incluidos los filósofos, difícilmente acceden, en su formación universitaria, a conceptos, temas, problemas y campos tales como: teoría matemática de la complejidad, teoría de la información, teoría ergódica, criticalidad autoorganizada y demás. Por decir lo menos:

- i) En las propuestas acerca de una teoría general de la complejidad hay un fuerte acento de la física, las matemáticas, la biología incluso y de las ciencias computacionales. Y en correspondencia,
- ii) No existe o no se ha tenido en cuenta ninguna contribución proveniente de las ciencias sociales y humanas.

Cabe sostener que, dado el espíritu transversal e integrado de los fenómenos y sistemas complejos, una teoría general de la complejidad debe poder ser una teoría que atraviese o en la que converjan las anteriormente llamadas ciencias exactas y naturales, y las sociales y humanas. En efecto, los fenómenos y comportamientos no-lineales, las bifurcaciones, las emergencias, sinergias, inestabilidades, al igual que los equilibrios dinámicos y la importancia del tiempo y la irreversibilidad, tanto como la existencia de atractores, autosimilitud y no respeto al principio de identidad, por ejemplo, tanto suceden en la naturaleza física, como en la animal o en la social, en el cerebro como en los mercados financieros, por ejemplo. Este es un reconocimiento ya suficientemente establecido en la comunidad de quienes trabajan complejidad, evolución, adaptación y caos.

Pues bien, con respecto a la primera consideración antes mencionada, los adjetivos empleados hacen referencia al riesgo de un cierto *reduccionismo* del lado de la física, las matemáticas o la biología, por ejemplo. Pero, al mismo tiempo, con respecto a la segunda consideración, es ya un lugar relativamente amplio y establecido el reconocimiento de que las ciencias sociales y humanas poseen una complejidad mayor que las ciencias exactas, físicas y naturales puesto que intervienen muchas más variables, y que los sistemas sociales humanos son tanto adaptativos como exaptativos,

por ejemplo⁷. En ciencia, sin embargo, este reconocimiento requiere aún de una demostración más amplia, pues no es suficiente con el enunciado o con la advertencia. Este es, con todo, un tema que permanece abierto todavía y que deberá ser abordado en un futuro próximo.

Como lo sostiene H. Pagels:

“Parte de la razón del gran triunfo de las ciencias naturales en el curso de los últimos siglos reside en que circunscriben su atención a sistemas naturales simples, con sólo unos pocos componentes conceptuales que pueden ser recordados y manejados mentalmente. En vista de la complejidad del mundo que nos rodea, es muy notable que el universo natural admita una simple descripción en función de simples leyes físicas” (1991: 42).

Otros autores coinciden en este punto aunque nunca existe un desarrollo sistemático o exhaustivo en cuanto a la mayor complejidad de las ciencias sociales y humanas relativamente a las ciencias naturales. Como tal, asistimos, máximo, a la manifestación de una intuición (Rescher, 1998; Kauffman, 1995; Barrow, 1998)⁸.

Ahora bien, existe una dificultad aún mayor, de orden estrictamente filosófico. Esta tiene que ver con las difíciles y muy discutidas relaciones entre teoría y práctica, investigación aplicada y problemas de interpretación, en fin, con las relaciones entre ciencia y filosofía. Es suficientemente sabido que en la ciencia normal los investigadores usualmente dudan mucho, relegan a lugares secundarios o prefieren guardar un silencio prudente con respecto a los temas y problemas relativos a las interpretaciones de las investigaciones; esto es, por ejemplo, a los significados de la investigación y de los productos de la investigación, en fin, a las interpretaciones –por definición teóricas, y en sentido amplio, filosóficas-, de los modelos, de las

⁷ Siempre cabe advertir acerca del peligro o el riesgo contrario, a saber, la tentación de caer en reduccionismos del lado de las ciencias sociales tales como el culturalismo, el historicismo, el sociologismo, el economicismo, o el psicologismo, para mencionar tan sólo los más comunes y conocidos.

⁸ De otra parte, cfr. Maldonado, C. E., “Complejidad y ciencias sociales. El problema de la medición de los sistemas sociales humanos”, en: *Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad*, Bogotá, Universidad Externado de Colombia, 2005, págs. 19-66.

demostraciones, de las pruebas, en fin, de las mediciones, que es lo que usualmente hace la ciencia. Los riesgos, se dice en ciencia, son los de la especulación y la “filosofía”. Desde la física y la mecánica cuántica hasta el estudio de la espectroscopia y la fotomicrografía, por ejemplo, los casos abundan, particularmente en la ciencia del siglo XX y hasta hoy. Para decirlo de manera puntual, el problema consiste entre las relaciones entre *demostración e interpretación* como una tensión esencial⁹.

Cabe sostener aquí la tesis de acuerdo con la cual, desde el punto de vista filosófico, el sentido en general de las ciencias de la complejidad, y en particular de una teoría general de los sistemas complejos adaptativos consiste en superar el dualismo; por ejemplo, el dualismo entre *descripción y significación*, o entre *demostración e interpretación*, en fin, entre ciencias naturales, exactas y físicas y ciencias sociales y humanas.

Esbozos para una teoría general de la complejidad

El problema básico de la complejidad consiste en saber por qué razón en el mundo las cosas se hacen más complicadas, por qué todo tiende (o parece tender) a complicarse (Cowan et al., 1999, p. 137). Todo parece ser conducido al filo del caos. La evolución parece conducir a los sistemas allí, o también parecen ser las dinámicas adaptativas, o incluso, además, la presencia de determinados atractores, que es preciso determinar de manera precisa. Se ha mencionado recurrentemente, incluso la presencia de leyes de potencia como razones explicativas por las cuales acontece la complejidad (Bak). El *modus* mismo de la complejidad es el estudio de fenómenos de complejidad *creciente*. Una manera acaso menos crítica de expresar lo mismo, consiste en señalar cómo y por qué razón (razones) las cosas se hacen cada vez más diversas y cuál es, en consecuencia, la fuente (o fuentes) de la diversidad. Las historias acerca del origen del

⁹ El concepto de “tensión esencial” tiene un trasfondo kuhniano. Como es sabido, T. Kuhn acuña el concepto para mostrar la tensión entre lo que él denomina ciencia (o pensamiento) divergente y ciencia (o pensamiento) convergente. Así, la tensión entre ambos tipos de ciencia apunta al problema, harto difícil, de establecer cómo progresa la ciencia y en qué consiste, exactamente, el progreso en el conocimiento. La tensión entre ambos tipos de ciencia (o de pensamiento) es, en una palabra, la tensión entre ciencia e investigación normal e investigación revolucionaria. El núcleo de todo el problema es el de la *innovación*, un tema en el que se cruza la historia y la filosofía de la ciencia, y la historia y la historia de la ciencia. Cfr. T. Kuhn, *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, México, F.C.E., 1996.

caos, de la termodinámica del no-equilibrio y en general de la complejidad son claras al respecto¹⁰.

La lógica que se aboca a esta clase de fenómenos y problemas no es ya, exclusivamente, de tipo deductivo, razón por la cual se recurre a sistemas alternativos de notación. Un buen argumento acerca de esta dirección se encuentra en N. da Costa (2000) y el trabajo acerca de lógicas multideductivas y paraconsistentes. La razón básica consiste en el hecho de que hay fenómenos y sistemas que no cabe describir, explicar o entender atendiendo exclusivamente a los principios tradicionales como el de identidad y el de no-contradicción. El ejemplo más conspicuo de esta clase de fenómenos son justamente aquellos caracterizados por no-linealidad y emergencia. Esta es la razón precisa por la cual las lógicas no-clásicas constituyen uno de los terrenos por los cuales es preciso atravesar en el estudio y explicación de los sistemas caracterizados por una complejidad creciente. De manera puntual, en efecto, los sistemas complejos adaptativos *no* cumplen el principio de identidad, o también, este principio *no* se verifica en los fenómenos caracterizados por no-linealidad, equilibrio(s) dinámico(s), fluctuaciones, inestabilidades, ruptura de simetrías, en fin, por la presencia de varios (o amplios) grados de libertad. Con el no cumplimiento del principio de identidad, en rigor, en múltiples ocasiones y escalas, tampoco se cumple, en verdad, el principio de (no) contradicción. Estos temas constituyen, como es sabido, el motivo propio de trabajo de lógicas como las lógicas paraconsistentes o la lógica del tiempo, para mencionar tan sólo dos.

El problema de una teoría general de la complejidad puede decirse que tiene dos facetas. De un lado, se posee una teoría semejante –lo cual no es aquí el caso-, y se introducen en ella cosas, datos, medidas, proceso y fenómenos (*stuff*, en general), según sea necesario. O bien, de otra parte, se seleccionan determinados fenómenos, acontecimientos, procesos y dinámicas para intentar componer con ellos la teoría que aún no se dispone. El primer caso es eminentemente deductivo, y el segundo ha sido el

¹⁰ Por ejemplo, cfr. Kellert (1993), J. Gleick (1988), con respecto al caos, cuyos orígenes y desarrollos han sido, con seguridad, los más estudiados. Al respecto, dice Kellert: “There is no simple, powerful, and comprehensive theory of all chaotic phenomena, but rather a cluster of theoretical models, mathematical tools, and experimental techniques” (1993: x). Y más adelante: “I suggest the following definition: chaos theory is *the qualitative study of unstable aperiodic behavior in deterministic nonlinear dynamical systems*” (*ibid.*: 2).

objeto de análisis de Popper, en particular en *Conjeturas y Refutaciones*. En cualquier caso, el reto más serio es el de las restricciones específicas (*constraints*) para el aumento de la complejidad. Es exactamente en este punto en donde se implican los temas y problemas relativos a la medición de la complejidad y los de la posibilidad de una teoría general de la complejidad. Siempre hay un costo de/para la complejidad.

La ciencia puede operar a partir de problemas resolubles o que se piensa que son resolubles. La ciencia puede incluso formular descripciones, desarrollar modelos explicativos y apelar a diversas herramientas, tales como la simulación, por ejemplo, para dar cuenta de determinados fenómenos y dinámicas. Ciencia semejante es, en sentido estricto, ciencia normal, en el sentido dado a esta expresión por T. Kuhn. Es ciencia que funciona, que se enseña y que resuelve problemas o aporta claridad sobre aspectos del mundo. Puede incluso haber ciencia que no disponga de un aparato teórico sólido. En una palabra, puede haber ciencia sin teoría formalizada. La biología es, quizás, el mejor ejemplo¹¹, aunque podrían mencionarse otros ejemplos, siendo, con seguridad, los más profusos, casos provenientes de las ciencias sociales y humanas (la psicología, la política, la economía, las relaciones internacionales, por ejemplo).

El problema de qué es una teoría científica, y cuál es una *buena* teoría científica, relativamente a otra(s) que no lo es(son), es más que un problema propio de los científicos, en sentido estricto, un tema específico de la historia y la filosofía de la ciencia. En este sentido, por ejemplo, se discute en filosofía de la ciencia cuestiones tales como el carácter universal o no de una teoría, la necesidad de la existencia y formulación de leyes para que una ciencia sea aceptada o no, el tema de si hay progreso en el conocimiento como progreso entre las teorías, la discusión sobre si una

¹¹ La mejor teoría de que dispone la biología es la teoría de la evolución. Sin embargo, ya el propio Darwin ha advertido que se trata de una teoría incompleta, y que la contribución que él hace, a saber: el mecanismo de la selección natural, no es la única explicación de *cómo* procede la evolución. Trabajando exactamente en la dirección prevista ya por el propio Darwin, S. Kauffman se propone desarrollar un mecanismo complementario de la selección: la autoorganización. De esta suerte, de acuerdo con este autor, la unión (*marriage*) entre selección y autoorganización permite explicar de manera satisfactoria cómo es que los sistemas vivos son sistemas de complejidad creciente y de qué manera tiene lugar la evolución de sistemas complejos. Como quiera que sea: la teoría de la evolución es una teoría incompleta que puede y debe ser complementada. Las contribuciones de Kauffman suceden en el orden teórico y apuntan a una cuarta ley de la termodinámica. Pero estas contribuciones aún se encuentran muy lejos de ser reconocidas y aceptadas por la corriente principal (*mainstream*) de la biología. Cabe, de otra parte, como una voz que corresponde a esa corriente principal, recordar que para Popper la teoría de la evolución no es, ni mucho menos, una teoría científica *puesto que no es falseable*.

concepción enunciativa (*statement view*) de las teorías es suficiente o no, la concepción de teoría como estructura matemática, como proposición y como enunciado empírico, el problema de la conmensurabilidad o no entre teorías y entre tradiciones científicas, la suplantación de teorías en las revoluciones científicas, la subdeterminación (*underdetermination*) de las teorías, la inmunidad de las teorías frente a posibles falsaciones, en fin, incluso la falibilidad o infalibilidad de la lógica misma, e incluso el paso de una preteoría a una teoría. En la filosofía de la ciencia contemporánea, tales son los motivos de discusión entre autores como Ramsey, Kuhn, Popper, Lakatos, Feyerabend, Laudan y Kitcher¹². No existe ningún problema de mayor dignidad en filosofía de la ciencia que este conjunto de problemas y, dicho de una manera general, el problema de establecer qué es ciencia y qué no lo es (= criterio de demarcación) y qué constituye una *buena* teoría científica es el más determinante para las relaciones entre ciencia y reflexión. Sin espíritu reduccionista, puede decirse que cualquier otro tema o problema en filosofía de la ciencia queda supeditado o es atravesado y constituido por éstos.

Un problema propio de la filosofía de la ciencia consiste en establecer qué es una buena teoría y por qué razón lo es (relativamente a otras). Pues bien, quiero sugerir que las ciencias de la complejidad plantean un nuevo reto para la filosofía de la ciencia, a saber: explicar cómo puede ser posible hacer ciencia –esto es, explicar y resolver problemas–, sin que haya una teoría general. ¿Es inevitable que haya ciencia sin teoría? ¿Los modelos y las explicaciones pueden ser anticipaciones de una teoría? Más aún, ¿cabe pensar que de diversas explicaciones, modelos y teorías en sentido laxo, puede y debe hacerse el tránsito hacia una teoría general? O bien, inversamente, ¿no es necesaria una teoría general para la existencia de buena ciencia? Estos interrogantes valen, sencillamente, como indicadores de lo que podría denominarse, tentativamente por lo pronto, como una filosofía de las ciencias de la complejidad¹³.

¹² En torno a estos problemas existe una discusión profunda entre dos bandos: la de quienes defienden una postura realista, y la del escepticismo. Este debate puede ser precisado y superado gracias a una revaloración de la subdeterminación de las teorías. Al respecto, véase P. K. Stanford “Refusing the Devil’s Bargain. What Kind of Underdetermination Should We Take Seriously?”, en: *Philosophy of Science*, Volume 68, Number 3, págs. S1-S12. La idea básica de este autor es aquí la de que “the underdetermined theories are empirically inequivalent and could therefore be differentially confirmed by the accumulation of further evidence” (*ibidem*, S7).

¹³ Una anticipación de esta idea se encuentra, elaborada, en: C. E. Maldonado, “Esbozo de una filosofía de la lógica de la complejidad”, en: J. F. Patiño (compilador), *Información, educación y salud en la*

A partir de lo que precede, para terminar, quisiera precisar, de manera negativa (*pars destruens*) en qué *no* consiste o *no puede* consistir una teoría general de la complejidad. Seguramente sobre esta base podrá ser posible avanzar afirmativa o positivamente, en los rasgos característicos de lo que es –o puede ser- una teoría general de la complejidad, un tema que desborda ampliamente los marcos de este texto. Una teoría general de la complejidad:

- i) *No* es a la manera de una *teoría unificada* o una gran teoría unificada (GUT) de la física o que busca la física;
- ii) En las ciencias sociales y humanas, se habla de “teoría general”. Tal es el caso, notablemente, del derecho. Pues bien, una teoría general de la complejidad *tampoco* es a la manera de una *teoría general* del derecho (como, por ejemplo, la de N. Bobbio (2005) o la de G. Peces-Barba (1995).

Con respecto al primer referente, es claro que una teoría general de la complejidad no puede ni debe ser entendida en el sentido de la GTU de la física por cuanto su pretensión no es la unificación de lo diverso, sino, la generalización de lo particular mismo sin subsumir lo particular en reglas generales abstractas. Winsberg (2001) suministra algunos argumentos en este sentido. Sin embargo, el texto de Winsberg destaca mucho más el tema de los modelos, las representaciones y la simulación en el trabajo con sistemas no-lineales. Este autor alcanza a ver, en verdad, el tema de una teoría de los sistemas complejos, pero lo que dice es insuficiente y tímido. Sus limitaciones son quizás el resultado de una dificultad –que es la que define, exactamente, a este texto- que no puede siquiera formular¹⁴.

sociedad del conocimiento, Bogotá, Colciencias/Fepafem/Academia Nacional de Medicina, pp. 37-53, 2001. De otra parte, pero en esta misma dirección, cfr. Kellert (2001) y Winsberg (2001).

¹⁴ En efecto, al final de su artículo afirma Winsberg: “Perhaps most importantly, we need to understand how theory can play a pivotal role in the construction and sanctioning of models without succumbing to a view in which models are merely subordinate to theory”. A continuación el autor hace referencia, en una cita al debate entre M. Stöckler y N. Cartwright al carácter fundamentalista o no de las leyes de la naturaleza y, en una referencia que tiene todo el aire de un desplazamiento, o cuando menos, de una aplazamiento del problema, concluye: “Whatever metaphysical position we hold in the debate, there are important and challenging epistemological and methodological issues in scientific theorizing that will be overlooked by a philosophy of science that sees theories as fully articulated structures and treats calculational problems as *merely* the result of practical limitations” (2001: S453).

Por su parte, tampoco puede ni debe ser entendida una teoría general de la complejidad en el sentido del derecho, algo que resulta claro a la luz de la extrapolación que elabora Kellert (2001) entre caos y teoría del derecho (“*legal theory*”). La razón básica es que una teoría general del derecho quiere ser una teoría de todos los casos posibles, o una clasificación y tipificación de las normas jurídicas, algo que no tiene, en manera alguna, interés en el contexto de la complejidad, puesto que el interés no es meramente taxonómico, descriptivo o normativo, sino, más radicalmente, el de elaborar una teoría de sistemas esencialmente inacabados, abiertos, evolutivos, incomputables y marcados por la incertidumbre (principio de incertidumbre).

En fin, la GTU y la teoría general del derecho son teorías cargadas (*theory ladenness*) y, en ese sentido, teorías cerradas, concluyentes¹⁵, ¹⁶ en cuanto que sus conceptos, y las definiciones y descripciones obedecen de hecho a una teoría que no se ha formulado experimentalmente y cuyas bases empíricas no son suficientes (o enteramente satisfactorias).

Muchos fenómenos complejos en el mundo físico están gobernados por leyes; en fin, por leyes físicas o matemáticas. Esta clase de fenómenos comienzan a ser bien estudiados y comprendidos, gracias, por ejemplo, al papel destacado de la simulación. El problema no radica aquí. Por el contrario, el problema verdaderamente mayúsculo y apasionante consiste en la determinación de las *implicaciones* de estas leyes. Por ejemplo, si son leyes comunes a todos los sistemas, fenómenos y comportamientos complejos, o tan sólo para una parte de ellos, y que para otra parte aún esperaríamos un mejor conocimiento del mundo físico y, por consiguiente, de las leyes físicas (y matemáticas) que los rigen. Al respecto se hace fundamental una advertencia: cuando hablamos de ciencia en general y, *a fortiori*, de ciencias de la complejidad, adoptamos

¹⁵ La referencia a la GTU tiene aquí un valor de referencia. Es suficientemente sabido que no se ha alcanzado (aún) dicha GTU en física, pero es el gran sueño de todos los físicos. Como se dice habitualmente: es el sueño por leer o conquistar la mente de Dios. Aquí el valor referencial de la GTU sirve como un argumento heurístico.

¹⁶ “we have, throughout the history of scientific inquiry and in virtually every scientific field, repeatedly occupied an epistemic position in which we could conceive of only one or a few theories that were well-confirmed by the available evidence, while the subsequent history of inquiry has routinely (if not invariably) revealed further, radically distinct alternatives as well-confirmed by the previously available evidence as those we were inclined to accept on the strength of that evidence” (Kyle Stanford, 2001: p. S9).

la idea básica de que tratamos con sistemas físicos y hablamos y partimos del mundo físico. Es imposible, en efecto, hacer *buena ciencia*, sin un fundamento físico (aunque hay que decir que la complejidad busca su fundamento físico más allá de la mecánica newtoniana). De hecho, éste es el criterio más fundamental de demarcación entre la ciencia y la pseudo-ciencia. Nadie –científicos naturales o sociales, por ejemplo- puede hacer buena ciencia sin un fundamento material y sin partir de una base física¹⁷.

No en última instancia, cabe pensar que el problema general acerca de una teoría general de los sistemas complejos es, básicamente, un motivo de *reflexión* acerca del propio estatuto epistemológico, filosófico, histórico y social de las ciencias de la complejidad y del estudio de fenómenos no-lineales antes que un cuestionamiento acerca de la efectividad propia de los modelos, las simulaciones, las teorías constitutivas de la complejidad (mencionadas al comienzo de este texto) y las representaciones logradas. Pero esta postura, prudente ciertamente, no pretende obliterar el tema relativo a si todos los sistemas complejos son igualmente complejos o bien si cada sistema complejo posee su propia complejidad (Maldonado, 2005). Antes bien, lo que aquí se encuentra es, en realidad, el problema mismo de la universalidad y la particularidad de la complejidad. Con todo, este reconocimiento no puede aquí ser concluyente. Su mención tiene, tan sólo, un valor heurístico.

El problema de fondo con respecto a las posibilidades de una teoría general de la complejidad concierne, en una palabra, al estudio de las implicaciones de la investigación científica sobre sistemas complejos adaptativos. El estudio de las implicaciones de la investigación científica es, manifiestamente, una de las tareas de la filosofía de la ciencia; pero no se reduce, tampoco, a la filosofía de la ciencia. Existe el peligro de una extralimitación del uso del concepto mismo de complejidad y de no-linealidad. Mientras que el famoso libro referente a la anécdota del asunto Sokal permanece como un valor testimonial, en términos al mismo tiempo filosóficos y epistemológicos, más vale atender al artículo de Kellert (2001) acerca de los usos extracientíficos de la física, en particular de la física de los fenómenos no-lineales. De

¹⁷ Por analogía, puede decirse que la física constituye la base material en las ciencias exactas y naturales, y que la economía lo es para las ciencias sociales y humanas. Esta idea, sin embargo, en absoluto debe ser entendida en el sentido de un reduccionismo fisicalista en un caso o economicista en el otro.

este texto vale resaltar la recuperación que hace el autor del uso, adecuado, de las metáforas y de los argumentos por analogía. Pero este es un tema aparte.

Como quiera que sea, a título provisorio o conjetural, quizás el diálogo entre Prigogine y Kauffman puede suministrar algunas pistas de lo que podría ser una teoría general de la complejidad. Este es, sin embargo, el límite de este artículo, a partir del cual se abre la puerta para un trabajo posterior. El punto que quiero resaltar del diálogo entre ambos científicos es el siguiente: *no es necesario conocer o determinar todos los detalles para elaborar una teoría general de la complejidad*. Pues bien, cabe sostener aquí la tesis según la cual, dado el estado actual de los desarrollos y de los problemas para alcanzar una teoría general de la complejidad, los avances logrados –tentativos todos, exploratorios muchos–, lo que existe hasta el momento es una teoría *subdeterminada* de la complejidad¹⁸. Y, más radicalmente, una eventual teoría de los sistemas complejos adaptativos se caracterizará por la subdeterminación.

El problema de la subdeterminación surge a partir del problema de las equivalencias empíricas de las teorías. En efecto, desde el punto de vista clásico, y por tanto, normal de la ciencia, una teoría se dice que es científica cuando tiene equivalentes empíricos, de tal suerte que son estos equivalentes empíricos los que confirmarían, verificarían o falsearían una teoría. Esta historia es suficientemente conocida desde Carnap y Popper, y afecta de manera directa y necesaria al problema del avance o del progreso científico. Sin embargo, existen teorías, o también, desde otro punto de vista diferente, cabe pensar en teorías, que no se fundan en evidencias (empíricas) o que no se reducen a las mismas y ni siquiera las suponen para su verosimilitud, su plausibilidad y, ulteriormente, su verdad. Un buen ejemplo de una teoría semejante es la Teoría General de la Relatividad, la cual sugiere que no estamos en capacidad de adquirir la evidencia necesaria para

¹⁸ La idea de teoría(s) subdeterminada(s), y en general, la subdeterminación de una teoría fue originalmente formulada por P. Duhem a comienzos del siglo XX pero permaneció oculta hasta cuando B. Van Fraassen en el ya clásico libro de 1980 sobre *La imagen científica* lo retoma para estudiar el carácter de una teoría científica. Un tratamiento más amplio se encuentra en la obra de L. Laudan, e particular *Science and Relativism. Some Key Controversies in the Philosophy of Science*, The University of Chicago Press, Chicago/London, 1990, capítulo 2: “Theory-ladenness and Underdetermination”, págs. 33-68, y en *Beyond Positivism and Relativism. Theory, Method, and Evidence*, Westview Press, Boulder, CO, 1996, en especial en la segunda parte acerca de la desmitificación de la subdeterminación y el problema de la equivalencia empírica y la subdeterminación, págs. 29-73. Sin embargo, una visión más actual y al mismo tiempo sintética, se encuentra en P. Kyle Stanford (2001).

verificarla, confirmarla o falsearla empíricamente¹⁹. No en última instancia, el tema se torna más sensible cuando atendemos al hecho de que buena parte de las teorías científicas de la ciencia del siglo XX son altamente *constraintivas*. Teorías semejantes se dice que son subdeterminadas.

En efecto, una teoría se dice que es subdeterminada cuando no encuentra equivalencias empíricas y, por tanto, debe recurrir (= esperar) a nuevas evidencias; o también, cuando, por razones fundamentalmente lógicas y filosóficas, no cabe reducirla a evidencias empíricas para que sea plausible o razonable. Ahora bien, las evidencias tienen un doble aspecto. De un lado, se refieren a facetas mismas de la realidad –ya sea en términos de evidencias adecuadas o, idealmente, de evidencias apodícticas-; de otra parte, al mismo tiempo, expresan los intereses que tienen, o las direcciones hacia las que se mueven, los investigadores. En este contexto, cabe recordar que el problema del objeto o el campo de trabajo de la ciencia no forma parte del problema interno propio de la ciencia. Es, en realidad, el resultado de la sensibilidad, los intereses y las necesidades que la comunidad científica tiene con respecto a la sociedad, el mundo, la historia o la naturaleza. De esta suerte, una ciencia o una teoría no se reduce a las evidencias existentes durante un tiempo determinado²⁰.

De acuerdo con Kyle Stanford, “la historia de la investigación científica ofrece un criterio racional inductivo directo para pensar que *existen* alternativas racionales típicas a nuestras mejores teorías igualmente bien confirmadas por la experiencia, incluso aunque no estemos en capacidad de concebirlas por ahora”²¹. En una palabra: una cosa

¹⁹ Baste recordar que Eddington, Reichenbach, Schlick y otros afirmaron que la teoría general de la relatividad es empíricamente equivalente a la teoría gravitacional de Newton, y que la variante newtoniana nunca ha encontrado una formulación matemática precisa.

²⁰ Algunos ejemplos son: la progresión de las teorías mecánicas aristotélica y cartesiana a la newtoniana; el progreso que va de la teoría del flogisto de Stahl a la química del oxígeno de Lavoisier, o de la química atómica de Dalton a la química física contemporánea; el avance de las versiones preformativas a las teorías epigenéticas de la embriología; el paso de la termodinámica clásica a la termodinámica del no-equilibrio; las teorías efluviales de la electricidad y las teorías del magnetismo hasta las teorías del éter electromagnético y al electromagnetismo contemporáneo; la historia de las teorías del imbalance humoral a las teorías cismáticas y las del contagio hasta las recientes teorías germinales acerca de la enfermedad; el avance de las teorías corpusculares de la luz del siglo XVIII a las teorías de ondas del siglo XIX hasta la concepción contemporánea de la mecánica cuántica; varios otros ejemplos podrían mencionarse sin dificultad.

²¹ “... the history of scientific inquiry offers a straightforward inductive rationale for thinking that there typically *are* alternatives to our best theories equally well-confirmed by the evidence, even when we are unable to conceive of them at the time” (Kyle Stanford, 2001: p. S9).

es una buena teoría científica, y otra muy distinta, una buena teoría científica *selectiva* o *selecta*. La historia de la ciencia, entendida como la historia de las teorías científicas no necesariamente consiste en la historia de las *mejores* teorías científicas, sino, tan sólo, de aquellas teorías que pudieron sobrevivir a la *selección* de las evidencias y las equivalencias empíricas²². Ya no cabe agotar, reducir o identificar una teoría con las equivalencias empíricas, ni tampoco a la ciencia o a una teoría, con las evidencias aportadas, puesto que siempre cabe, por principio, la posibilidad de ulteriores evidencias que podrían echar por tierra una teoría establecida, o emerger una teoría cuya racionalidad (*rationale*) no se reduce a, no se agota en, ni tampoco se identifica con, el cuerpo de experimentos, evidencias y equivalencias empíricas. Esta es una teoría subdeterminada. Pues bien, quiero sostener que, exactamente en este sentido, una teoría general de los sistemas complejos es una teoría subdeterminada.

Conclusión

Este texto ha trazado la historia de las características, posibilidades y sentido de una teoría general de la complejidad. Pero no se ha tratado aquí se plantear cuál es, en que consiste y cuáles son los rasgos o componentes de dicha teoría. Un trabajo semejante implica un esfuerzo considerable, a saber: justamente: la formulación de una teoría semejante. Lo que sí se ha sugerido es que ésta puede ser una teoría subdeterminada. Una teoría subdeterminada acepta el óctuple camino considerado por Anderson, tanto como las cuatro características asignadas por Holland acerca de una teoría general de los sistemas complejos. En fin, para decirlo de manera puntual: la importancia –siempre provisoria- de la subdeterminación consiste en el pluralismo metodológico, el pluralismo lógico y el pluralismo de modelos y explicaciones (“teorías”), algo que a la

²² Una exposición clara y directa de esta idea se encuentra en Ruiz y Ayala (1998). La ciencia puede y debe estudiarse al igual que los sistemas vivos: como dinámicas evolutivas y selectivas. La ciencia es una empresa en la que la *selección* cumple un papel altamente destacado. La forma como esta selección tiene lugar es gracias a los procesos y dinámicas mismas de las *comunidades científicas*, no tanto de las teorías en sí mismas, en abstracto. Exactamente en este sentido, y desde otro punto de vista, véase el estupendo texto de M. Aluja y A. Birke (coordinadores), *El papel de la ética en la investigación científica y la educación superior*, México, F.C.E., 2004. Un estupendo ejemplo de cómo se hace una teoría, en fin, una ciencia, específicamente de cara a los fenómenos caracterizados por no-linealidad e impredecibilidad, es el libro, ya clásico de J. Gleick (1988).

luz de las teorías cargadas (*theory ladenness*) es imposible²³. Exactamente en este sentido cabe decir que la subdeterminación de las teorías inaugura la antesala de lo que es ciencia no normal (“ciencia revolucionaria” en el sentido de Kuhn). En este sentido existe una fuerte correspondencia entre esta idea de subdeterminación y el enfoque adoptado por Kauffman²⁴.

Los sistemas complejos son aquellos que carecen de una teoría general en el sentido tradicional que la ciencia asigna a este último concepto, por cuanto se trata de sistemas esencialmente informalizables. Este rasgo exige, precisamente, una radical apertura metodológica, lógica y heurística.

La idea de la subdeterminación puede encontrarse, en otro contexto, aunque no desarrollado por él mismo en ningún lugar hasta la fecha, en la obra de Kauffman (2000), quien, siguiendo a Prigogine (aunque sin citarlo), sostiene que una teoría general de los sistemas vivos –que Kauffman explora pero que no llega a sostener de manera taxativa- *no necesita establecer o determinar todos los detalles para ser posible*. Tal es, quizás, la mejor comprensión de lo que constituye la subdeterminación de una teoría. Una teoría general de la complejidad no es, sin embargo, a la manera de una teoría general unificada, como la de la física, ni tampoco una teoría general, a la manera del derecho. Aquí se han establecido, sencillamente, los cimientos para una teoría general negativa de la complejidad. Lo que pueda ser, en sentido afirmativo o positivo, dicha teoría, es un trabajo aparte de creación. Pero ese es justamente el límite de este trabajo, a partir del cual se abre un horizonte.

Finale con coda. Rasgos de la teoría general de la complejidad

²³ Se impone aquí una observación importante y puntual. La importancia del pluralismo –por ejemplo del pluralismo lógico, o metodológico o de explicaciones y teorías- *en absoluto* significa relativismo, eclecticismo o escepticismo. Los textos mencionados de Laudan advierten también en esta dirección. A la luz del monismo lógico y de la creencia en la preeminencia de un modelo metodológico sobre otro(s), por ejemplo, da la impresión, errónea, de que el pluralismo le haría el juego al relativismo. Para una visión radical en contra del consenso y el unanimismo en ciencia, cfr. N. Rescher, *Pluralism. Against the Demand for Consensus*, Oxford, Clarendon Press, 1993. “The important and imperative thing is not to strive for consensus, but to try to create conditions of interaction where people can flourish despite (and perhaps even to some extent because of) lack of consensus” (*ibid.*, p. 194).

²⁴ “No, *Investigations* is not normal science. I do know what normal science is. My previous two books, *Origins of Order* and *At Home in the Universe*, are examples. (...) Nothing, however, had led me to expect even the outlines of *Investigations*. Nothing had led me to expect answers I would struggle toward. And having completed *Investigations*, I remain profoundly puzzled by what I have said, despite the fact that I think I am correct” (Kauffman, 2000: p. xi-xii).

Ahora bien, desde el punto de vista positivo o constructivo, quisiera presentar a continuación los *rasgos* generales de lo que sería una teoría general de la complejidad. Éstos son:

- i) Teoría incompleta (Gödel)
- ii) Teoría indecidible (Turing)
- iii) Teoría abierta (Ecología)
- iv) Teoría con incertidumbre (Heisenberg-Prigogine)
- v) Teoría inacabada (Evolución)

La indicación entre paréntesis hace referencia a la fuente del rasgo mencionado y tiene, en realidad, tan sólo un valor indicativo. Mucho más interesante es el esfuerzo, aquí sintético, de caracterización de cada uno de estos rasgos.

Una teoría general de la complejidad posee al mismo tiempo estas características: incompletud, indecibilidad, apertura, incertidumbre e inacabamiento. La incompletud hace referencia, en el sentido del teorema de Gödel, al reconocimiento de que la verdad de esta teoría no se define a partir de, ni se encuentra en, ella misma. No es una teoría cerrada, completa ni concluyente. Este es quizás el rasgo más fuerte en contraste con todas las teorías científicas habidas hasta la fecha, que se caracterizan por el hecho de que son teorías cerradas, concluyentes o conclusivas, aun cuando no sean o no pretendan ser omniabarcantes (lo cual es un problema completamente distinto). Siguiendo a Prigogine, cabría decir que todas las teorías científicas son de corte medieval. Nos enfrentamos, por primera vez en la historia de la humanidad occidental, con una teoría abierta.

Los fenómenos, sistemas y comportamientos complejos son esencialmente indecidibles, en el sentido acuñado por Turing. Esto es, son incompresibles. Lo mejor que queda hacer es “echar a rodar el programa”. Precisamente por esta razón, la predicción falla en relación con los sistemas complejos adaptativos y la no-linealidad se encuentra en la base de la indecibilidad. *A la limite*, podemos decir incluso que los sistemas complejos son, ulteriormente, sistemas vivos – una afirmación que, sin embargo, debe ser tomada aquí con cautela, puesto que no se han suministrado pruebas o argumentos sólidos. Pero

sí puede ser esclarecedor para avanzar por un camino que se antoja aún oscuro o con luces tenues.

Se trata de una teoría abierta, dado que de manera radical y definitiva en la historia de la humanidad hemos accedido al reconocimiento de que los sistemas cerrados y aislados o bien no existen, o son sencillamente abstracciones. Los sistemas complejos son abiertos a materia, energía e información, y es precisamente porque son abiertos que pueden y deben ser definidos como sistemas complejos no-lineales.

En relación estrecha con el carácter de abierto de la teoría, nos enfrentamos con la primera teoría cargada, de plano a plano, por incertidumbre – ya sea en la acepción de Heisenberg, de acuerdo con la cual no es necesario conocer el mundo en todos sus detalles, para decirlo y conocerlo, y por tanto, para experimentarlo y lanzarnos en él, como en el sentido de Prigogine de que el futuro (del mundo) no está dado nunca de antemano y de una vez y para siempre. No hemos perdido, para nada, las verdades y certezas de la historia. Adicionalmente, hemos aprendido a pensar en términos de incertidumbre.

Dado que la complejidad coincide de un extremo al otro con la evolución²⁵, y puesto que los sistemas, fenómenos y comportamientos caracterizados como complejos son evolutivos, podemos inferir –aquí, por analogía-, que la teoría que tenemos en mente es intrínsecamente una teoría inacabada, puesto que lo propio de la evolución es el inacabamiento o, lo que es equivalente, desde otro punto de vista, la coevolución. Es porque los sistemas son incabados que se adaptan, terminan por adaptarse, o incluso perecen en el proceso de la adaptación, en el sentido preciso dado a “adaptación” por la teoría de la evolución (Darwin-Gould)²⁶.

Quisiera precisar dos aspectos. Primero, esta teoría general de la complejidad no existe aún, pero entrevemos desde ya sus rasgos. Un trabajo ulterior consiste en la formulación o el desarrollo de la teoría propiamente dicha. Este es un trabajo que nos espera por delante. Segundo, los rasgos mencionados no deben ser tomados en el sentido de que

²⁵ Véase, en este mismo libro el texto: “Complejidad y evolución”, al comienzo.

²⁶ Cfr. S. J., Gould, *La estructura de la teoría de la evolución*, Barcelona, Tusquets, 2004.

todos –incluso, todos y cada uno de los rasgos que caracterizan a los fenómenos complejos adaptativos- deben ser incorporados y tenidos en cuenta en el desarrollo de la teoría general de la complejidad. Así, por ejemplo, habría que incluir al azar (o la aleatoriedad) o a la información. En contra de esta creencia, es fundamental atender al hecho de que nos encontramos trabajando en la elaboración de una teoría de tercer nivel. (El primer nivel es el del estudio de los fenómenos, el segundo el de la elaboración y la reflexión sobre el lenguaje mismo de los fenómenos, y el tercer nivel, dada la interdisciplinariedad que ha marcado a la complejidad, es un esfuerzo de síntesis, por así decirlo, que destaque o trabaje a partir de los rasgos generales –“los aires de familia”, digamos-, de los elementos del segundo nivel)²⁷.

Referencias bibliográficas

- Anderson, P., 1999, “The Eightfold Way to the Theory of Complexity: A Prologue”, en: Cowan et al. (1999), págs. 7-9
- Axelrod, R. and Cohen, M. D., 1999, *Harnessing Complexity. Organizational Implications of a Scientific Frontier*, The Free Press, New York
- Barrow, J. D., 1998, *Impossibility. The Limits of Science and the Science of Limits*, Oxford University Press, Oxford
- Bobbio, N., 2005, *Teoría general del derecho*, Temis, Bogotá, 2ª edición
- Campos Romero, D., Isaza Delgado, J. F., 2002, *Prolegómenos a los sistemas dinámicos*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- Cowan, G., Pines, D., Meltzer, D. (eds.), 1999, *Complexity. Metaphors, Models and Reality*, Perseus Books, Cambridge, MA, (2ª edición)
- Da Costa, N. C. A., 2000, *El conocimiento científico*, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- De Rosnay, J., 2000, *The Symbiotic Man. A New Understanding of the Organization of Life and a Vision of the Future*, McGraw Hill, New York

²⁷ La referencia a una teoría de tercer nivel no debe ser tomada aquí, necesariamente, en analogía a la teoría del mundo III de K. Popper, entre otras razones debido a que los contextos y las intenciones son completamente diferentes. Con respecto a Popper nos hemos ocupado ya en otro lugar: cfr. Maldonado, C. E., “El problema mente-cuerpo en Popper. Una revisión crítica”, en: *Semana del pensamiento filosófico. Popper: los grandes debates del siglo XX* Universidad Industrial de Santander, Colombia, Año 3, No. 3, pp. 129-142, 2002.

- Gleick, J., 1988, *Caos. La creación de una ciencia*, Seix Barral, Barcelona
- Holland, J., 1995, *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*, Perseus Books, Reading, Massachusetts
- Horgan, J., 1995, "From Complexity to Perplexity", en: *Scientific American*, Marzo
- Kauffman, S., 1995, *At Home in the Universe. The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, Oxford University Press, New York-Oxford
- , 2000, *Investigations*, Oxford University Press, Oxford
- Kellert, S. H., 1993, *In The Wake of Chaos*, The University of Chicago Press, Chicago, London
- Kellert, S. H., 2001, "Extrascientific Uses of Physics: The Case of Nonlinear Dynamics and Legal Theory", en: *Philosophy of Science*, Volúmen 68, Número 3, págs. S455-S466
- Kyle Stanford, P., 2001, "Refusing the Devil's Bargain: What Kind of Underdetermination Should We Take Seriously?", en: *Philosophy of Science*, Volume 68, Number 3, págs. S1-S12
- Lakatos, I., 1983, *La metodología de los programas de investigación científica*, Alianza, Madrid
- McKelvey, B., 2004, "Toward a 0th Law of Thermodynamics: Order-Creation Complexity Dynamics from Physics and Biology to Bioeconomics", en: *Journal of Bioeconomics* 6: 65-96, Kluwer Academic Publishers
- Maldonado, C. E., 2005, "¿En qué sentido puede hablarse de diálogo de las ciencias? Acerca de las nuevas ciencias de la complejidad", en: *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Sept. 2005, Volumen XXIX, No. 112, págs. 417-428
- Pagels, H., 1991, *Los sueños de la razón. El ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*, Gedisa, Barcelona
- Peces-Barba, G. (con la colaboración de De Asís Roig R., Fernandez Liesa, C. R., y Llamas Cascón, A.), 1995, *Curso de derechos fundamentales. Teoría general*, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid
- Rescher, N., 1998, *Complexity. A Philosophical Overview*, Transaction Publishers, New Brunswick (U.S.A.), London (U.K.)
- Ruiz, R. y Ayala, F. J., 1998, *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*, Fondo de Cultura Económica, México
- Stegmüller, W., 1983, *Estructura y dinámica de teorías*, Ariel, Barcelona

Winsberg, E., 2001, "Simulations, Models and Theories: Complex Physical Systems and their Representations", en: *Philosophy of Science*, Volume 68, Number 3, págs. S442-S454