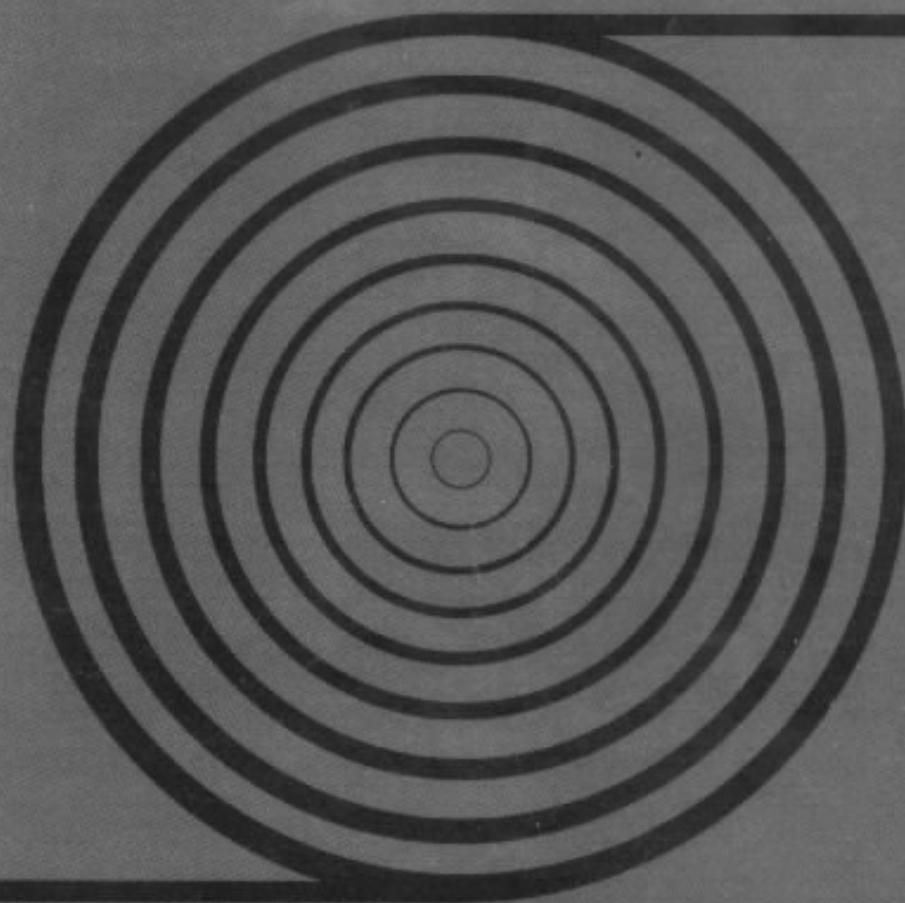


Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicación



Carlos Eduardo Maldonado
Editor

Universidad
Externado
de Colombia

COMPLEJIDAD: CIENCIA, PENSAMIENTO Y APLICACIONES

CARLOS EDUARDO
MALDONADO (2007)
EDITOR

**COMPLEJIDAD:
CIENCIA, PENSAMIENTO Y APLICACIONES**

UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA
2007

Prohibida la reproducción o cita impresa o electrónica total o parcial de esta obra, sin autorización expresa y por escrito del Departamento de Publicaciones de la Universidad Externado de Colombia. Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad del autor.

ISBN 978-958-710-219-2

© 2007, CARLOS EDUARDO MALDONADO (EDITOR)

© 2007, UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA

Calle 12 n.º 1-17 Este, Bogotá

Teléfono (57 1) 342 0288

publicaciones@ucexternado.edu.co

www.uexternado.edu.co

Primera edición: agosto de 2007

Diseño de carátula: Departamento de Publicaciones

Composición: Proyectos Editoriales Curcio Penen

Impresión y encuadernación: Docuprint

Tiraje: de 1 a 1.000 ejemplares

Impreso en Argentina

Printed in Argentina

MARCO AURELIO ALZATE MONROY	CARLOS EDUARDO MORENO MANTILLA
ÁLVARO ARIAS ARENAS	JUAN CARLOS MORENO O.
GINA PAOLA BERNAL OSORIO	NEILSON OBREGÓN NEIRA
JAIMÉ IBÁÑEZ IBÁÑEZ	JORGE EDUARDO ORTIZ TRIVIÑO
LEONARDO RENÉ LAREO	JULIO MARIO RODRÍGUEZ DEVIS
OMAR LÓPEZ VARGAS	JORGE LUIS SALCEDO M.
CARLOS EDUARDO MALDONADO	LUIS B. SANABRIA R.
SONIA ESPERANZA MONROY VARELA	LUIS CARLOS TORRES SOLER
JORGE VILLAMIL	

C O N T E N I D O

INTRODUCCIÓN	11
PRIMERA PARTE	
CIENCIA	15
Complejidad y evolución <i>Carlos Eduardo Maldonado</i>	17
Sistemas complejos, geofísica e ingeniería <i>Nelson Obregón Neira</i>	37
Ciencia de la complejidad, modelaje y simulación multiescala, y ciencias nano-bio-info-cogno <i>Leonardo René Lareo</i>	63
Sistemas estocásticos complejos: modelamiento y simulación <i>Jorge Eduardo Ortiz Triviño</i>	89
El problema de una teoría general de la complejidad <i>Carlos Eduardo Maldonado</i>	101
SEGUNDA PARTE	
PENSAMIENTO	133
La innovación y la complejidad <i>Julio Mario Rodríguez Devis</i>	135
De la creatividad a la complejidad <i>Luis Carlos Torres Soler</i>	149
Reflexiones sobre la noción de complejidad <i>Juan Carlos Moreno O.</i>	163
¿Por qué la complejidad? <i>Jorge Villamil</i>	175

TERCERA PARTE	
APLICACIONES	189
Evaluación de políticas públicas ambientales bajo un enfoque sistémico <i>Carlos Eduardo Moreno Mantilla</i>	191
Complejidad en redes modernas de comunicaciones <i>Marco Aurelio Alzate Monroy</i>	209
Políticas y estrategias para articular el sistema de ciencia, tecnología e innovación colombiano <i>Sonia Esperanza Monroy Varela</i>	251
Los procesos industriales, los materiales y el desarrollo del producto <i>Álvaro Arias Arenas</i>	263
Dinámica de los grupos de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá <i>Gina Paola Bernal Osorio</i>	281
Complejidad y robustez <i>Jorge Luis Salcedo M.</i>	291
La complejidad en los procesos cognitivos: una visión del aprendizaje en los ambientes computacionales <i>Luis B. Sanabria R.</i>	315
Niveles de complejidad en la solución de problemas de geometría dinámica en ambientes computacionales <i>Omar López Vargas y Jaime Ibáñez Ibáñez</i>	329
LOS AUTORES	353

El estudio de los sistemas complejos ha alcanzado un nivel de entusiasmo, de desarrollo y también de rigor, creciente y admirable, con todo y que aún no es ciencia normal —estadística y sociológicamente hablando— y que se encuentra incluso muy lejos todavía de serlo. La comunidad de académicos y de científicos interesados en este campo apasionante de los fenómenos adaptativos, no-lineales, caóticos, emergentes, irreversibles y autoorganizativos, ha venido, eso sí, aproximándose incipientemente, abriéndose al diálogo, exponiéndose incluso. Son menores los casos de aquellos que vienen efectivamente trabajando, pero con la misma actitud mencionada, de manera efectiva, en el estudio de la complejidad. Como sabemos, el trabajo académico y el científico tienen como base mínima absoluta la producción de textos escritos, con la dinámica que ello contiene: diálogo, crítica, aceptación y refutación, lectura recíproca, interlocución, en fin, incluso publicación individual tanto como colectiva.

Pues bien, este libro es el venturoso resultado del espíritu mencionado. Se trata de una serie de trabajos realizados por un grupo —“una muestra”— de profesores e investigadores de cinco universidades colombianas: la Universidad Externado de Colombia, la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la Universidad Pedagógica Nacional y la Pontificia Universidad Javeriana, que se reunieron durante una semana a escucharse, a leerse incluso, a cuestionarse en algunas ocasiones, pero siempre a compartir sus experiencias de trabajo —y a veces también de vida—, con el aval de cada una de sus universidades. En cuatro casos, los textos presentados responden a dinámicas de grupos formalmente establecidos y reconocidos por Colciencias. En otro caso, se trata de muy buenas iniciativas y disposiciones colectivas que aún no se encuentran formalizadas estructural y organizativamente, pero que tienen un valor grande desde el punto de vista de los esfuerzos para alcanzarlo. Ahora bien, en absolutamente todos y cada uno de los textos aquí compilados y editados, se trata de avances de investigación, o bien de la presentación de resúmenes de investigación llevados a cabo en cada una de sus universidades y ante las instancias y con los procedimientos correspondientes. A todas luces, éste constituye el principal mérito de este libro.

Reunir profesores e investigadores de cinco universidades, con formaciones diferentes, con antecedentes distintos e incluso con interpretaciones no siempre congruentes entre sí, no ha sido, sin embargo, muy difícil, gracias a que, no obstante lo anterior, sus expectativas sí son conmensurables y —algo muy importante en la vida académica y en ciencia en general— sus actitudes son positivas y constructivas. Uno solo es el *motto* de este libro: sumar. Sumar, a pesar de la visión no siempre unificada o coincidente de los textos aquí reunidos. A primera vista, los textos compilados darían, integralmente, la apariencia de una mirada ecléctica, pero es que éste es justamente uno de los rasgos de la complejidad: una mirada hologramática: he aquí un holograma del estado de la complejidad en Colombia. Por esta razón, hemos reunido los textos en tres partes: la complejidad entendida como ciencia —ciencias de la complejidad—, la complejidad como pensamiento —pensamiento complejo—, y aplicaciones de la complejidad.

No se ha respetado aquí la pertenencia a tal o cual universidad, no se ha tenido en cuenta aquí la afinidad de grupos y ni siquiera la comunidad de esencia disciplinar. Por el contrario, los textos aquí presentes han sido integrados de manera que se suministre tanto a quienes trabajan activamente en complejidad, como a quienes se aproximan apenas por primera vez —o en unas primeras ocasiones— a la complejidad, una visión armónica —pero atonal, musicalmente hablando— del estudio de los fenómenos, sistemas y comportamientos caracterizados por complejidad, no-linealidad, adaptación.

Podemos decir que después de la semana de experiencias compartidas de manera intensa y franca, ninguno de los investigadores, ninguno de los grupos, salió incólume. Todos salieron enriquecidos, aunque cada quien con niveles y en escalas diferentes. En la vida académica sucede una circunstancia análoga a la que se evidencia en el mundo artístico: la presencia del público (la ciencia no es, en general, muy sensible a este fenómeno, puesto que sus miras se encuentran en otros lugares). Esta presencia es significativa en el momento, pues con el tiempo termina convirtiéndose en una referencia anecdótica —esto es, de la cual se habla— y termina por pasar desapercibida al cabo de los días. Sin embargo, en la vida académica “el público” hace referencia fundamentalmente a dos grandes conjuntos: estudiantes y colegas. Esta referencia sirve como marco, atmósfera o medio ambiente para una parte de la comunidad del

conocimiento. Pues bien, este marco o atmósfera fue siempre abundante, generoso, abierto y sugerente. En una palabra, se trata sencillamente del entorno —social y cultural— en el que se trabaja la complejidad, y el territorio en el que cabe anticipar que se puede abonar un trabajo hacia el futuro. También este aspecto ha sido relevante y se encuentra en la base de este libro.

Este libro es expresión de un trabajo riguroso en ocasiones, entusiasmado en otras, tentativo unas veces e incluso exploratorio de cuando en cuando. Este libro es, por tanto, la expresión de una historia personal, de grupo e incluso institucional —universitaria, específicamente—, al mismo tiempo que de ensayos, tentativas y esfuerzos, como, a su vez, de horizontes, esperanzas y expectativas de trabajo intelectual. Nuevos ulteriores artículos, ensayos y libros habrán de seguir pero éste es el trabajo más integral alcanzado en Colombia hasta el momento¹.

Son numerosas las personas a quienes debemos agradecer por haber hecho posible este libro y el encuentro interuniversitario que se encuentra en su base. En primer término, a las autoridades académicas de las cinco universidades pero, de manera muy especial, hay que dar las gracias a todos y cada uno de los profesores que participaron y aportaron cada texto para el volumen. Ellos son el insumo primario. En la Universidad Nacional, al grupo Complexus; en la Universidad Javeriana al Grupo de Hidrociencias; en la Universidad Externado de Colombia, a los miembros de la línea de “Sistemas complejos, política y gobernabilidad” del grupo Ópera; En la Universidad Pedagógica,

1 Tres antecedentes en esta línea de trabajo son los siguientes: en 1999 se publica, con segunda edición ampliada en 2001, *Visiones sobre la complejidad* (CARLOS EDUARDO MALDONADO [ed.]), Universidad El Bosque (está en preparación la tercera edición, en coedición entre la Universidad Externado de Colombia y la Universidad Autónoma de México, Toluca); en 2002, D. CAMPOS ROMERO, y J. R. ISAZA DELGADO publican los *Prolegómenos a los sistemas dinámicos*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, un libro técnico importante dedicado fundamentalmente a físicos y matemáticos; y en el año 2005 aparece *Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad* (C. E. MALDONADO [comp.], Bogotá, Universidad Externado de Colombia, como resultado de un seminario que trabajó antes durante un año.

a los miembros del grupo *Tecnice*, y en la Universidad Distrital, al grupo de estudiantes que fungió como soporte logístico, encabezados por NELSON GÓMEZ, DIANA POSADA, LEIDY GARZÓN, DARIO PALACIOS, PAOLA PACANCHIQUE, WILMER GALVIS, FELIPE ARDILA, MAURICIO GONZÁLEZ, ALEXANDRA RAMÍREZ, LINA INFANTE, ÉRIKA ABREO, TATIANA JAIMES, JOHN GONZÁLEZ, MARIO TRIANA, por su denodado esfuerzo, disciplina y entusiasmo, alrededor de los profesores JORGE VILLAMIL y MARCO AURELIO ALZATE. Valga agregar por último que este libro no existiría tampoco sin el apoyo, siempre entusiasta, constante, abierto pero exigente, de JUAN CAMILO RODRÍGUEZ, coordinador general del CIPE de la Universidad Externado de Colombia; de DAVID SOTO, decano (e) de la Facultad de Finanzas, Gobierno y Relaciones Internacionales; de ROBERTO HINESTROSA, decano fundador de la misma facultad, y del director de publicaciones de la misma universidad, JORGE SÁNCHEZ.

CARLOS EDUARDO MALDONADO

*El problema de una teoría general
de la complejidad*

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, son cada vez más destacados. 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:

1.º 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, entre sí, sistemas de diversa complejidad. 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.

2.º 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.

3.º 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.

Dos problemas fundamentales
 ← medición de la complejidad
 ← teoría general de la complejidad

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, y
- d. Medición algorítmica de un sistema, gracias a 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:

ORIGEN TEÓRICO
 ORIGEN INSTITUCIONAL

Origen de la complejidad	H. POINCARÉ (análisis combinatorio); K. GODEL (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).
--------------------------	---

Lógicas no clásicas	<u>N. DA COSTA</u> ; <u>N. BELNAP</u> y <u>PINTER</u> (lógica para-consistente); <u>ACKERMANN</u> ; <u>ANDERSON</u> y <u>BELNAP</u> (lógica de la relevancia); <u>PRIOR</u> (lógica temporal); <u>LUKASIEWICZ</u> , <u>POST</u> , <u>KLEENE</u> y <u>BOCHVAR</u> (lógicas polivalentes); <u>RESCHER</u> y <u>ZADEH</u> (lógica difusa); <u>GOLDBLATT</u> (lógica cuántica)
Clásicos de la complejidad	<u>H. PAGELS</u> (física); <u>K. ARROW</u> (economía); <u>D. PINES</u> (física); <u>S. KAUFFMAN</u> (biología); <u>J. HOLLAND</u> (algoritmos genéticos); <u>M. GELL-MANN</u> (física); <u>Y. BAR-YAM</u> (física); <u>P. ANDERSON</u> (economía); <u>CH. LANGTON</u> (sistemas computacionales); <u>R. SOLÉ</u> (biología); <u>B. GOODWIN</u> (biología); <u>H. MATURANA</u> y <u>E. VARELA</u> (biología; recursividad y autopoiesis)

Por su parte, el origen institucional de la complejidad ha sido acordado con la creación del Instituto Santa Fé (ISF) en Nuevo México (EE.UU.) —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 a 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, de las cuales quizás las más relevantes son 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 a la

INSTITUTO SANTA FÉ

Instituto Santa Fé

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. Éstos 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.

1. ¿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 enfoques 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

La Complejidad como
Revolución Científica

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 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 manera como usualmente se caracteriza mejor 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

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 quizás el mejor libro al respecto: STEGMULLER (1983). Para una visión alternativa a este estado de cosas, véase MALDONADO (2005).

Tema central:
 CAOS / DESORDEN
 ciencias de la
 complejidad: No-
 linealidad

Nuevo vocabulario
 científico de la
 complejidad

Inferencia Ciencia Clásica
 Ciencias de la Complejidad

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, auto-organización, 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
- 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 dinámicas no lineales gracias a la ayuda de experimentos realizados 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 en 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 memorable 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

Líneas de trabajo

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.

El más difícil y discutido de los **problemas en complejidad** consiste, justamente, en identificar qué hace complejo a un fenómeno o sistema y ello depende 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 claramente, a su vez, 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 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 está planteado entre

Que hace complejo
un fenómeno

Leyes de
complejidad
patrones
comunes

2 Una sólida visión del trabajo analítico sobre los sistemas dinámicos está planteada en CAMPOS ISAZA (2002).

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 mismas de la realidad. Por el contrario, estas ciencias se ocupan tan sólo de aquellos fenómenos, comportamientos y sistemas, es decir, de aquellos casos en los que la predictibilidad (particularmente a largo plazo) no es posible en absoluto, en los 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.

II. 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

3 Para un panorama global de qué y 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*, Bogotá, Universidad Externado de Colombia, 2005, pp. 85 a 125.

CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD
↳ NO PREDICIBILIDAD A LARGO PLAZO

futuro, una teoría de los sistemas complejos adaptativos. Aquí mencionaré tan sólo los tres 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.

④ J. HOLLAND (1995), el padre de los algoritmos genéticos, es particularmente crítico con respecto a identificar o a reducir el trabajo en complejidad a los experimentos con computador y a la simple simulación. Por el contrario, quizás el mejor camino provenga de las matemáticas:

Las 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 específicos⁴.

HOLLAND afirma que los requisitos para alcanzar una teoría de la complejidad comprenden cuatro aspectos: interdisciplinarietàad, experimentos mentales basados en computadores, principio de correspondencia de BOHR, y una matemática de procesos competitivos basados en recombinación (1995: 163 a 165).

⑤ Investigando 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, KAUFFMAN realiza investigaciones tendientes a formular pasos hacia una teoría general de la vida. Ésta no es sino una manera de plantear una teoría general de los sistemas complejos,

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 exploration. Computer-based experiments have rigorous descriptions, but they deal only in specifics" (HOLLAND, 1995; pp. 161 a 162) (traducción: C. E. MALDONADO).

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 mantenido 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.

3 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 realizado 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:

A – 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*").

B – La teoría de la información, notablemente, los trabajos de BENNETT. La idea central aquí es la de que quizás no es tan importante estudiar la complejidad, como saber qué hacer con ella.

C – 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 KOLMOROGOV y ARNOLD. Este camino se ha bifurcado: el caos por una parte, y por la otra la distinción entre variables relevantes e irrelevantes, la flecha del tiempo y el problema de la entropía.

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*, (2.ª ed.), Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2001.

▷ - 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 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, final que llega a cruzarse con la vida artificial, por ejemplo con los trabajos de CH. LANGTON.

⊗ - El camino que ANDERSON denomina "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 los trabajos de M. GELI-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 suministran 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 empata con el espíritu de interdisciplinariedad.

② Por su parte, el pensamiento 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, búsqueda 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.

③ 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* —en rigor, *interdisciplinar*— y *metodológico*.

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.

6 Actualmente me encuentro desarrollando en un texto sobre las relaciones entre el trabajo de S. KAUFFMAN, la teoría de la evolución, 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.

Por decir lo menos:

1. En las propuestas acerca de una teoría general de la complejidad hay un fuerte acento de la física, las matemáticas, la biología incluso, y las ciencias computacionales. Y en correspondencia,

2. 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, suceden tanto en la naturaleza física como en la animal o en la social, en el cerebro como en los mercados financieros, por ejemplo. Éste 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. Éste es, con todo, un tema que permanece abierto todavía y que deberá ser abordado en un futuro próximo.

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.

los profetas de una
TGC excluyen a las
cs sociales

INCLUIR CS
SOCIALES

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 en relación con 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. Ésta 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 demostraciones, de las pruebas, 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 clara, el problema consiste entre las relaciones entre *demostración e interpretación* como una tensión esencial⁹.

8 De otra parte, cfr. C. E. MALDONADO. “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, pp. 19 a 66.

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 pensamien-

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.

III. 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 ál., 1999: 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 también 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 (o 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 caos, de la termodinámica del no-equilibrio y, en general, de la complejidad son claras al respecto¹⁰.

to) 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 cruzan 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, Fondo de Cultura Económica, 1996.

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

El problema de la complejidad excede los límites

de una teoría de complejidad

En otros términos una t. de comp. es teoría restringida de la complejidad

LOGICA

Sistemas Complejos

violan el principio de identidad y no contradicción

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 principios tradicionales como el de identidad y el de no-contradicción. Los ejemplos más conspicuos de esta clase de fenómenos son justamente aquellos caracterizados por no-linealidad y emergencia. Ésta es la razón precisa por la cual las lógicas no-clásicas constituyen uno de los terrenos por los que es preciso atravesar en el estudio y explicación de los sistemas caracterizados por una complejidad creciente. De manera clara, 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 paraconsistentes o de la lógica del tiempo, para mencionar tan sólo dos.

El problema de una teoría general de la complejidad, puede decirse, 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, procesos 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 de la que aún no se dispone. El primer caso es eminentemente deductivo, y el segundo ha sido el 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

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" (ibíd.: 2).

* Reynoso excluye los lógicos no clásicos del ámbito de la teoría de la complejidad

* Morin: trata el tema de complejidad, lógica y contradicción en el método IV

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, de los cuales, con seguridad, los más profusos son los 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 discuten en filosofía de la ciencia

11 La mejor teoría de que dispone la biología es la teoría de la evolución. Sin embargo, ya el propio DARWIN advirtió 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 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 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.*

Discusiones en filosofía de la ciencia contemporánea

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 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, y aun 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

12 En torno a estos problemas existe una discusión profunda entre dos bandos: el de quienes defienden una postura realista, y el del escepticismo. Este debate puede ser precisado y superado gracias a una revaloración de la subdeterminación de las teorías. Al respecto, cfr. P. K. STANFORD. "Refusing the devil's bargain. What kind of underdetermination should we take seriously?", *Philosophy of Science*, vol. 68, n.º 3, pp. S1 a 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" (Ibíd., S7).

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.

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:

1. No es a la manera de una teoría unificada o una gran teoría unificada (GTU) de la física o que busca la física;

2. 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, 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, 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.

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 (comp.). *Información, educación y salud en la sociedad del conocimiento*, Bogotá, Colciencias/FEPAFEM/Academia Nacional de Medicina, 2001, pp. 37 a 53. 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”.

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 manra 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

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 un 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).

- 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: S9).

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 lo son 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 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 si cada sistema complejo posee su propia complejidad (MALDONADO, 2005). Antes, 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

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 fiscalista en un caso o economicista en el otro.

☑ cf. Gacia, Rolando. (2006) *Sistemas complejos*.

TODA CIENCIA ES EMPÍRICA O NO ES CIENCIA. Hay que distinguir, por lo tanto, empirismo y empiria.

Cabría pensar también en que todo ciencia tiene, necesariamente un componente mítico-imaginario.

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

Como quiera que sea, a título provisorio o conjetural, quizás el diálogo entre PRIGOGINE y KAUFFEMAN puede suministrar algunas pistas de lo que podría ser una teoría general de la complejidad. Éste 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 posible teoría de los sistemas complejos adaptativos se caracterizará por la subdeterminación.

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 FRASEN en el ya clásico libro de 1980, *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, en particular en *Science and Relativism. Some Key Controversias in the Philosophy of Science*, Chicago-London, The University of Chicago Press, 1990, cap. 2: "Theory-ladenness and Underdetermination", pp. 33 a 68, y en *Beyond Positivism and Relativism. Theory, Method, and Evidence*, Boulder, CO, Westview Press, 1996, en especial en la segunda parte acerca de la desmitificación de la subdeterminación y el problema de la equivalencia empírica y la subdeterminación, pp. 29 a 73. Sin embargo, una visión más actual y al mismo tiempo sintética se encuentra en P. KYLE STANFORD (2001).

Cf. Audio conferencia Edgar MORIN: "COMPLEJIDAD EN LA COMPLEJIDAD" y el concepto "COMPLEJIDAD RESTRINGIDA y COMPLEJIDAD AMPLIADA", en TERCERA BIENAL

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 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 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 *contraintuitivas*. 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.

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 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 ahora²¹.

En una palabra: una cosa 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

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: 59).
- 22 Una exposición clara y directa de esta idea se encuentra en RLIZ 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 ocurre gracias a los procesos y dinámicas mismas de las *comunidades científicas*, no tanto de las teorías en sí, en abstracto. Exactamente en este sentido, y desde otro punto de vista, véase el maravilloso texto de M. ALUJA y A. BIRKE (coords.). *El papel de la ética en la investigación científica y la educación superior*, México, Fondo de Cultura Económica, 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).

(*rationale*) no se reduce a, no se agota en, ni tampoco se identifica con, el cuerpo de experimentos, evidencias y equivalencias empíricas. Ésta 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 precisa: 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 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 la 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.

23 Se impone aquí una observación importante y concisa. 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

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 ése 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

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:

1. Teoría incompleta (GÖDEL);
2. Teoría indecidible (TURING);
3. Teoría abierta (Ecología);
4. Teoría con incertidumbre (HEISENBERG-PRIGOGINE), y
5. Teoría inacabada (Evolución)

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: xi-xii).

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. Éste 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 por 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—. No obstante, esta afirmación sí puede ser esclarecedora 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 precisamente porque son abiertos, 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; o en el sentido de PRIGOGINE de que el futuro (del mundo) no está dado nunca de antemano y de una vez y para

* Morin, Edgar. *El paradigma perdido.* Kairós, Barcelona (1973) pp. 227

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. Porque los sistemas son inacabados 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. Éste es un trabajo que nos espera. Segundo, los rasgos mencionados no deben ser tomados en el sentido de que 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.

25 Cfr. en este mismo libro el texto: “Complejidad y evolución”.

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

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*, Año 3, n.º 3, Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, 2002, pp. 129 a 142.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, P., "The eightfold way to the theory of complexity: a prologue", en COWAN et ál., 1999.
- AXELROD, R. y M. D. COHEN. *Harnessing Complexity. Organizational Implications of a Scientific Frontier*, New York, The Free Press, 1999.
- BARROW, J. D. *Impossibility. The Limits of Science and the Science of Limits*, Oxford, Oxford University Press, 1998.
- BOBBIO, N. *Teoría general del derecho*, 2.ª ed., Bogotá, Temis, 2005.
- CAMPOS ROMERO, D. y J. F. ISAZA DELGADO. *Prolegómenos a los sistemas dinámicos*, Bogotá Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- COWAN, G.; D. PINES y D. MELTZER (eds.). *Complexity. Metaphors, Models and Reality*, Cambridge, Perseus Books, 1999.
- DA COSTA, N. C. A. *El conocimiento científico*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
- DE ROSNAY, J. *The Symbiotic Man. A New Understanding of the Organization of Life and a Vision of the Future*, New York, McGraw-Hill, 2000.
- GLEICK, J. *Caos. La creación de una ciencia*, Barcelona, Scix Barral, 1988.
- HOLLAND, J. *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*, Cambridge, Perseus Books, Reading, 1995.
- HORGAN, J. "From complexity to perplexity", *Scientific American*, marzo de 1995.
- KAUFFMAN, S. *At Home in the Universe. The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, New York - Oxford, Oxford University Press, 1995.
- KAUFFMAN, S. *Investigations*, Oxford, Oxford University Press, 2000.
- KELLERT, S. H. *In The Wake of Chaos*, London, The University of Chicago Press, Chicago, 1993.
- KELLERT, S. H. "Extrascientific uses of physics: the case of nonlinear dynamics and legal theory", *Philosophy of Science*, vol. 68, n.º 3, 2001.

- KYLE STANFORD, P. "Refusing the devil's bargain: what kind of underdetermination should we take seriously?", *Philosophy of Science*, vol. 68, n.º 3, 2001.
- LAKATOS, I. *La metodología de los programas de investigación científica*, Madrid, Alianza, 1983.
- McKELVEY, B. "Toward a 0th law of thermodynamics: order-creation complexity dynamics from physics and biology to bioeconomics", *Journal of Bioeconomics*, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- MALDONADO, C. E. "¿En qué sentido puede hablarse de diálogo de las ciencias? Acerca de las nuevas ciencias de la complejidad", *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. XXIX, n.º 112, septiembre de 2005.
- PAGELS, H. *Los sueños de la razón. El ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*, Barcelona, Gedisa, 1991.
- PECES-BARBA, G. (con la colaboración de R. DE ASIS ROIG; C. R. FERNÁNDEZ LIESA y A. LLAMAS CASCÓN). *Curso de derechos fundamentales. Teoría general*, Madrid, Universidad Carlos III de Madrid, 1995.
- RESCHER, N. *Complexity. A Philosophical Overview*, London, Transaction Publishers, New Brunswick, 1998.
- RUÍZ, R. y F. J. AYALA. *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*, México, Fondo de Cultura Económica, 1998.
- STEINMULLER, W. *Estructura y dinámica de teorías*, Barcelona, Ariel, 1983.
- WINSBERG, E. "Simulations, models and theories: complex physical systems and their representations", *Philosophy of Science*, vol. 68, n.º 3, 2001.