

REFLEXIÓN SOBRE LAS IMPLICACIONES POLÍTICAS DE LA COMPLEJIDAD

Political consequences of complexity

*Carlos Eduardo Maldonado**

Resumen

Los estudios y trabajo sobre la complejidad son crecientes en el mundo. Sin embargo, no existen trabajos que de manera explícita consideren las implicaciones políticas del estudio sobre los fenómenos complejos no lineales. Este texto explora las más importantes consecuencias políticas de las ciencias de la complejidad y se propone llenar en forma parcial este vacío. El texto argumenta que las consecuencias políticas de la complejidad incluyen a las políticas públicas que incumben a la política en sentido amplio y fuerte. Tres ejes articulan el argumento: primero, una presentación de lo que son las ciencias de la complejidad y sus derivaciones; luego, la consideración de las consecuencias políticas de la complejidad, que es el núcleo, y por último, se subrayan las interrelaciones entre revoluciones científicas y revoluciones políticas. Al final, se extraen algunas conclusiones.

Palabras clave: Ciencias de la complejidad, Epistemología, Filosofía de las Ciencias Sociales, Sociedad civil, Estado

Abstract

Studies and work on complexity are increasing all over the world. However, there is not one study that explicitly considers the political implications of understanding and explanations of non-linear complex phenomena. This paper explores the most important political consequences of the sciences of complexity and intends to fill a gap in the literature. I shall claim that the political implications of complexity do include *policies* but they encompass mainly *politics* in the largest and strongest sense of the word. This argument is supported by three main ideas: firstly, the sciences of complexity are introduced and several derivations are sketched out; secondly, the political implications are considered and; thirdly, the inner relationships between scientific and political revolutions are highlighted. Finally, several conclusions are drawn.

Key words: The complexity science, Epistemology, Philosophy of Social Sciences, Sivil society, The State.

INTRODUCCIÓN

La ciencia es *también* un fenómeno político. No solo es el objeto de (grandes y pequeñas) decisiones de orden político en el sentido más amplio e incluyente de la palabra, sino, además, la actividad científica tiene claras implicaciones políticas —directas e indirectas, de corto, de mediano y de largo alcance—.

Desde luego, la comunidad académica y científica no desconoce estos aspectos. Desde hace tiempo el tema ha sido objeto de aproximaciones distintas gracias a las políticas de ciencia y tecnología, las discusiones sobre investigación y desarrollo, la sociología de la ciencia, los estudios CTS, las reflexiones éticas sobre la investigación, la historia y la filosofía de la ciencia, y la psicología del descubrimiento científico, para mencionar algunos de los principales referentes y contextos de estudio.

De hecho, por ejemplo, toda la historia de la tecnología fue siempre, hasta hace muy poco, la historia de la tecnología con fines militares: seguridad y defensa. Tal es la historia desde la invención de la rueda hasta el control del fuego, el hacha y las flechas hasta la invención y desarrollo de Internet, por ejemplo. Pero, al mismo tiempo, es cada vez menos inevitable que la historia de la tecnología siga necesariamente ese camino.

Existen diversos textos, con calidades diversas, acerca de las relaciones entre complejidad y política (Cfr. Alberts and Czerwinski, *Complexity, Global Politics, and National Security*, 1997; Jervis, *System Effects: Complexity in Politics and Social Life*, 1998; Richards and Doyle, *Political Complexity: Nonlinear Models of Politics*, 2000; Sanders y McCabe, *The Use of Complexity Science* 2003; Heartny, *Defending Complexity: Art, Politics, and the New World Order*, 2004; Boin, et al., *The Politics of Crisis Management*, 2005; Harrison, *Complexity in World Politics*, 2006; Sotolongo y Delgado, *La revolución contemporánea del saber*, 2006; Morin, *Para una política de la civilización*, 2009; Geyer and Rihani, *Complexity and Public Policy*, 2010; Boulton, “Complexity Theory and Implications for Policy Development”, 2011). Sin embargo, como sucede en general con los campos nuevos de conocimiento en general en la sociedad, es más la jerga que el contenido, algo que, por lo demás, es común también a las relaciones entre administración (o gestión) (pública o privada) y complejidad: es decir, existe una bibliografía creciente pero la gran mayoría es jerga y reflexión de muy baja calidad respecto de la complejidad (Maldonado y Gómez, 2011a). Los textos existentes se ocupan básicamente de estudios de política —*politics* o *policies*— en términos de complejidad. El único texto que considera las *consecuencias* políticas de la complejidad es el de Boulton (2011), con la dificultad de que: a) confunde la política (*politics*) con las políticas públicas (*policy, policies*) —lo que de por sí ya es un serio problema que, sin embargo, debe quedar aquí de lado—, y por tanto, b) se limita a las políticas públicas que, como es sabido, son políticas de Estado o de gobierno a partir de la formulación de planes y programas de desarrollo (según cada país).

La necesidad de este trabajo se funda, en principio el reconocimiento de que la política sí atraviesa a las *policies*, pero se proyecta y comprende principalmente a la *politics*. Entre los griegos, un razonamiento análogo hace referencia a las diferencias entre *politieia* y *politiké*; y en segundo lugar, debido a que las ciencias de la complejidad evidencian un crecimiento importante en la vida académica y científica

(evidenciado en el número de artículos, libros y eventos alrededor del mundo) y que, sin embargo, ninguna atención se ha prestado a sus implicaciones políticas.

Con este texto me propongo estudiar las que considero son, dadas las limitaciones de espacio y tiempo, las más importantes consecuencias de las ciencias de la complejidad, un campo cruzado, interdisciplinario y cada vez más vital de trabajo e investigación. No existen, hasta donde sabemos, reflexiones detalladas acerca de este tema, aun cuando sí ha sido manifiesta la conciencia de diversos planos acerca de la importancia y el significado de las ciencias de la complejidad.

Para ello procederé en tres pasos. En primer lugar mostraré que desde el origen de las ciencias de la complejidad el tema ha estado en el ambiente. Este primer argumento exige una breve presentación y caracterización de lo que son las ciencias de la complejidad. En segundo lugar, a partir de la consideración de las más importantes categorías o atributos de los sistemas y fenómenos complejos se extraen algunas consecuencias políticas de la complejidad, que es el núcleo del trabajo. Finalmente, se hace un contraste entre las consecuencias políticas de la complejidad y el estado, tanto de la ciencia normal (Kuhn, 1982) como de la política en sentido normal. Al final introduzco algunas conclusiones.

LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD: ORIGEN Y DERIVACIONES

Desde el punto de vista administrativo-organizacional, las ciencias de la complejidad nacen con los primeros centros e institutos de investigación creados específicamente para el estudio de las dinámicas no lineales.

Los primeros institutos y centros fueron: el *Center for Studies of Nonlinear Dynamics* en el Instituto La Jolla, creado en 1978; el *Santa Cruz Institute for Nonlinear Science* que se formó a partir del *Santa Cruz Chaos Collective* a comienzos de 1980, el *Center for Nonlinear Studies* en el Laboratorio Nacional de los Álamos, creado en 1980; el *Institute for Nonlinear Science* en la UCSD, fundado en 1981, y el *Santa Fe Institute*, fundado en 1984 (Scott, 2007). Posteriormente varios otros centros se han creado alrededor del mundo. Con seguridad, puede decirse que no existe ninguna universidad de prestigio mundial que no tenga un centro o instituto dedicado al estudio de la complejidad.

Ahora bien, desde el punto de vista teórico o conceptual, las ciencias de la complejidad pueden rastrearse sin ninguna dificultad hasta los trabajos pioneros de Gödel, Turing, Poincaré y, por lo menos en su espíritu, hasta el desarrollo del cálculo infinitesimal por parte de Leibniz y Newton. Entre los autores más destacados se encuentran científicos, filósofos, artistas y académicos que tienen una particularidad bien definida, a saber: la capacidad para interactuar horizontalmente y trabajar con equipos inter, trans y multidisciplinarios.

Sin ninguna duda, el computador desempeñó un papel protagónico en el surgimiento de las ciencias de la complejidad. Pero no solamente la computación se encuentra en la base de la complejidad, sino, a su vez, la complejidad ha contribuido

activamente al desarrollo de métodos y modelos de modelamiento y simulación (Maldonado y Gómez, 2011b).

En efecto, el físico H. Pagels ya lo señalaba en los años 80 (el libro se publica en inglés en 1988):

“Estoy convencido de que las naciones y pueblos que dominan las nuevas ciencias de la complejidad serán las superpotencias económicas, culturales y políticas del siglo que viene” (1991:17).

Y más adelante, de manera aún más explícita:

“Estoy convencido de que las sociedades que dominen las nuevas ciencias de la complejidad y puedan convertir ese conocimiento en productos nuevos y formas de organización social, se convertirán en las superpotencias culturales, económicas y militares del próximo siglo. Aunque hay grandes esperanzas de que así se desarrollen las cosas, existe también el terrible peligro de que esta nueva proyección del conocimiento agrave las diferencias entre quienes los poseen y quienes no” (Ibid:54).

Pues bien, el estudio de los sistemas complejos se caracteriza por una serie de rasgos que permiten, sin dificultad alguna, sostener que son un tipo de revolución —científica, tecnológica y cultural— en la línea de los trabajos de Th. Kuhn. Así, por ejemplo, y de manera notable, se trata de un grupo de ciencias críticas respecto del determinismo y al reduccionismo de la ciencia clásica; es decir, a la idea de que el origen de un fenómeno y la línea de tiempo que conduce hasta el presente determinan su futuro. Y también la idea de que la complejidad de un fenómeno puede ser explicada y comprendida en términos agregativos o analíticos, identificando, ulteriormente, los componentes últimos constitutivos de un fenómeno a fin de reconstruir desde ellos la historia o la “complejidad” del caso.

En consecuencia, las ciencias de la complejidad adquieren un carácter eminentemente cruzado, inter, trans y multidisciplinar, fundadas a partir de *problemas de frontera*. Un problema de frontera es aquel que interesa no únicamente a una ciencia o disciplina, sino en el que convergen o coinciden tradiciones disciplinares distintas, métodos y metodologías diferentes, lenguajes y experticias plurales con el afán de formular y resolver un problema de frontera.

Quisiera decirlo en términos más precisos y fuertes: mientras que la ciencia clásica y normal se caracteriza(ba) por que tiene objeto, campo y áreas de trabajo, la ciencia de punta (*spearhead science* y *large-scale research*) se definen a partir de problemas. Más exactamente: las ciencias de la complejidad *no* tienen objeto: poseen problemas de trabajo plurales. Y de todos, el más importante es el problema: ¿Qué es

(la) complejidad? ¿Por qué las cosas son o se hacen complejas? En el esfuerzo por resolver estos interrogantes emergieron las ciencias de la complejidad.¹

Las razones de las observaciones de Pagels se derivan estrictamente del *corpus* lógico, metodológico, epistemológico y conceptual de las ciencias de la complejidad. Se trata, por primera vez en la historia, de un grupo de ciencias que se dan a la tarea de estudiar aquellos temas, retos, problemas y comportamientos que la ciencia clásica —e incluso la filosofía— no quisieron estudiar o no pudieron aceptar o explicar. Notablemente, se trata del devenir (“física del devenir”, Prigogine, 1980), las turbulencias e inestabilidades, los cambios súbitos, imprevistos e irreversibles de la teoría del caos (R. Thom, 1997; Zeeman, 1978), la impredecibilidad del caos (Lorenz, 2000; Ruelle, 1995), las sorpresas y la no causalidad (Holland, 1998), las adaptaciones y el aprendizaje (Holland, 1995) y de la vasta obra de S. J. Gould remito a 1994, las sinergias y los bucles de retroalimentación positivos y negativos (Hofstadter, 1989; Arthur, 1994), la autoorganización (Kauffman, 1995:2000), las cascadas de errores (Barabasi, 2003), las sincronías en el tiempo y en el espacio (Strogatz, 2003), entre otros fenómenos y comportamientos.

Dicho por vía de contraste, las ciencias de la complejidad no se ocupan de fenómenos causales ni multicausales, de explicaciones en términos de promedios o estándares, matrices o vectores, distribuciones normales o estadísticas en cualquier sentido. Manifiestamente, las ciencias de la complejidad se sitúan en la antípoda, por así decirlo, de los paradigmas de la ciencia clásica (Casti, 1989).

Como se aprecia claramente, una(s) ciencia(s) que estudie(n) estos fenómenos tiene(n) clara(s) ventaja(s) frente a la ciencia que simplifica, estandariza y reduce la complejidad a elementos fundamentales. En complejidad no existe lo fundamental y la última vez que, con voz alta, la ciencia normal hablará en esos términos será con Ashby, a propósito de la teoría de los procesos fundamentales, una expresión de la que, por lo demás, no es ajena a Feymann.

Las explicaciones de estas características o atributos de la complejidad son suficientemente conocidas por parte de la comunidad de complejólogos y caotólogos y la literatura al respecto es amplia y sólida. Se hace necesario, más bien, dirigir la mirada acerca de los que estas propiedades de los sistemas complejos no lineales implican desde el punto de vista político y para la política en general.

En fin, desde numerosos puntos de vista, el estudio, comprensión y eventual aprovechamiento de situaciones marcadas por turbulencias, inestabilidades, cambios súbitos e imprevistos, cascadas de errores, atractores extraños, procesos autoorganizativos, y además puede tener numerosas ventajas que no escapan a una mirada reflexiva. Tal es exactamente el significado de las ciencias de la complejidad: su significado teórico, pero al mismo tiempo práctico.

¹ Por lo demás, este es el primer rasgo fuerte de contraste entre las ciencias de la complejidad, el pensamiento complejo y los enfoques sistémicos, una distinción que debe aquí quedar de lado.

CONSECUENCIAS POLÍTICAS DE LA COMPLEJIDAD

En este texto, por razones de espacio, no pretendo ser exhaustivo en cuanto a las características y consecuencias políticas de la complejidad². Sin embargo, sí quiero de manera puntual y precisa destacar las que, en este contexto, me parecen ser claramente las consecuencias políticas más explícitas y al mismo tiempo dramáticas de las ciencias de la complejidad.

De entrada, el rasgo más fuerte de las interrelaciones entre política y complejidad tiene que ver con el reconocimiento de la no linealidad y que, de manera puntual, consiste en el hecho de que, en contraste con toda la política en la historia de la humanidad, en un mundo diferente de suma cero como el nuestro, la política sucede entre más de tres cuerpos; es decir, la política del mundo contemporáneo es del tipo *n-body problem*. En el lenguaje de las relaciones internacionales (*international affairs*) es lo que habitualmente se conoce como multilateralismo.

En efecto, en la gran mayoría de la historia de la humanidad —que puede expresarse adecuadamente como la historia de un mundo de suma cero— la política fue maniquea, binaria y dualista. No sin ambages, el concepto *subterráneo* más importante de la historia Occidental es el de enemigo. “Quien no está conmigo está contra mí”, una expresión que se remonta a Santiago en *El libro de los libros*.

En un mundo diferente de suma cero, los problemas se refuerzan, positiva y negativamente, en bucles cuyo vector final no es predecible. Y mejor aún, esta clase de problemas demandan múltiples actores con problemas magníficos de coordinación, sincronización y estructuras multiniveles. La ciencia de redes complejas puede hacer aquí magníficas contribuciones (Barrat et al., 2008).

En contextos en los que nuevos actores, nuevas tecnologías (= redes sociales) y nuevas acciones emergen —y que se expresan, por ejemplo, en el movimiento *Indignaos*, la primavera árabe con todos sus matices, *Occupy Wall Street*, el movimiento de estudiantes en Chile, por mencionar solo algunos—, las formas de autorganización cobran la mayor importancia. Quiero sostener aquí la tesis que lo que emerge en estas condiciones es, por un lado, *liderazgo sin líderes* y, de otra, *estrategia sin estrategias*. Claramente, lo mejor de la teoría, la filosofía y los estudios políticos clásicos y normales sobre la política poco y nada pueden decir al respecto. Sin dificultad alguna, la complejidad tiene aquí toda la palabra. Más exactamente, se

² Este tema constituye el objeto de un libro en el que actualmente me encuentro trabajando como resultado de una investigación que adelanto en la Universidad del Rosario (Bogotá). Algunos avances de esta investigación han sido presentados en el Doctorado en Estudios Políticos, Universidad Nacional de Colombia (2010), el Doctorado en Derecho, Universidad del Rosario (Bogotá) (2011), y en la RAIPAD (Red Andaluza de Investigación para la Paz y los Derechos Humanos, de la Universidad de Granada (España) (2012). Debo expresar mis agradecimientos a André Noël-Roth, a Julio Gaitán y a Francisco Muñoz. Pero quiero agradecer en particular a mis estudiantes y participantes.

trata de estructuras, dinámicas y comportamientos análogos a los que constituyen el objeto de trabajo de la inteligencia de enjambre (*swarm intelligence*); es decir, la inteligencia que exhiben colectivos como los cardúmenes, las manadas ecuestres, las abejas, hormigas y termitas, en fin, incluso los comportamientos estudiados en dinámicas de criticalidad autoorganizada.

El tema que aparece en la epidermis de los estudios sobre el mundo actual se denomina “gestión del riesgo”, “sociedad del riesgo”, “gestión de la(s) crisis” (Gilpin y Murphy, 2008). Se trata del estudio y toma de decisión de situaciones caracterizadas por turbulencias, fluctuaciones, inestabilidades crecientes y *no planificables* (o *planeables*). En otras palabras, el problema de base es, manifiestamente, el del manejo de situaciones en las que la estrategia en el sentido tradicional de la palabra hace agua. La política y la economía, las finanzas y los sistemas militares, los procesos sociales y los fenómenos naturales constituyen claros ejemplos para quienes están bien informados acerca de los avatares del mundo de hoy. Las ciencias de la complejidad son ciencias de sorpresas, en el sentido preciso no que suponen de entrada —como en el caso de los griegos— el asombro (θαυμάζειν) como condición para la reflexión y la vida, sino, mejor aún, hacen de la sorpresa su tema mismo de trabajo.

Así, mientras que la noción de equilibrio caracteriza, más o menos, a la mayor parte de la historia de Occidente —cuya contraparte es el concepto matemático de *simetría*— a partir de la termodinámica del no equilibrio hemos logrado ver y entender, por primera vez, los comportamientos, sistemas y fenómenos de equilibrio como casos particulares de dinámicas más amplias y determinantes para el orden de lo real, a saber: los sistemas *alejados del equilibrio*. De esta suerte, el aprovechamiento de la complejidad consiste no en (re)conducir los sistemas alejados del equilibrio (nuevamente) al equilibrio, sino, por el contrario, en entender que en situaciones alejadas del equilibrio o *en el filo del caos* nuevas estructuras y dimensiones emergen.

Así, el concepto de emergencia produce un desplazamiento fundamental respecto del concepto más importante de toda la historia de la humanidad occidental: el concepto de causa-causalidad. En verdad, la causalidad *solo* sirve: a) en escalas locales, b) en condiciones controladas. Es decir, los fenómenos y sistemas complejos *no* son controlados y no se explican ni suceden *a escala local*. El concepto de emergencia es entonces acuñado o empleado para entender y trabajar con esta clase de dinámicas y comportamientos.

Más exactamente, los fenómenos, procesos y comportamientos caracterizados por complejidad creciente carecen de control, y los esquemas de explicación centrados en control —es decir, control jerárquico y centralizado—son ineficientes para explicar las dinámicas no lineales. En los trabajos sobre ciencias de la complejidad —en especial en las áreas de ingeniería, física y filosofía de la tecnología— el estudio (crítico) de los sistemas de control ha dirigido paulatinamente

la mirada hacia otras formas de control. Se destaca, el control paralelo, el control difuso y el control distribuido. Las ciencias sociales y humanas poco o nada se han acercado a estos conceptos que tienen magníficas implicaciones en el estudio de los sistemas sociales humanos. Más tarde, la atención se ha dirigido hacia los sistemas y fenómenos carentes de control; esto es, en los que el control, de manera literal, sucede en cada caso en función de caso. Esta expresión exige una observación.

Existen muchos sistemas carentes de control (central, rígido, jerárquico o jerarquizado). El más inmediato es el cuerpo humano. En efecto, el cuerpo humano es un sistema de sistemas y, en contra de la tradición aristotélica, no es cierto que el cerebro sea el sistema (u órgano o incluso glándula) más importante. El cuerpo humano se compone de numerosos sistemas: el sistema nervioso central, el sistema inmunológico, el sistema linfático, el sistema digestivo, el sistema cardiovascular, el sistema muscular, el sistema sanguíneo. Y el centro depende en cada caso de caso; así, por ejemplo, cuando se estudia el centro lo ocupa el sistema nervioso central en función de atención, concentración, memoria, asociación, etc. Pero si después del estudio se hace ejercicio, el centro se desplaza al sistema muscular. Y si después se almuerza o se cena, el centro se desplaza, a su vez, al sistema digestivo. Y así en forma sucesiva. Quizás el único sistema que nunca descansa y que es determinante para la salud y la vida del organismo es el sistema inmunológico que es, literalmente ubicuo, pues no se encuentra ubicado en un único espacio como los demás sistemas del organismo.

Con seguridad, pensar, actuar y vivir en términos de sistemas no centralizados, jerárquicos o rígidos tiene profundas implicaciones políticas frente a los cuales el régimen, el sistema político y en general (para retomar un concepto de los años 60) *establishment* no está preparado.

La naturaleza es otro caso conspicuo de un sistema en el que no existe control, y ciertamente no en los términos de la tradición occidental. Por eso cuesta tanto trabajo entender la lógica de la naturaleza: por los atavismos de los sistemas piramidales de la civilización de Occidente. La naturaleza opera en sistemas en paralelo, distribuidos, difusos y por aprendizaje permanente. Sin desaparecer, en la física hace rato que los conceptos de “ley” y de “constante(s)” han quedado atrás.

Con seguridad una de las ideas más radicales de la complejidad es aquella donde la realidad, el mundo, la naturaleza o la sociedad no tienen una *única* lógica. Por el contrario, lo real y lo posible admiten múltiples lógicas. Así, el pluralismo lógico afirma que *no* existe una *única* verdad (*there is no one true logic*) una idea que, manifiestamente, resulta molesta para los círculos más conservadores de la política, la religión y ciertos grupos sociales y de poder. En general, la marca de familia, por así decirlo, de la complejidad es el pluralismo (Mitchell, 2004), la diversidad (Page, 2011), la multiplicidad que es irreductible, por definición.

De acuerdo con un autor (Maldonado, 2013) las lógicas no clásicas son una de las ciencias de la complejidad. Las lógicas no clásicas incluyen, entre otras, a la

lógica modal y la multimodal, la lógica difusa y las lógicas polivalentes, la lógica epistémica, la lógica del tiempo, la lógica cuántica, la lógica de la relevancia, la lógica paraconsistente, la lógica de contrafácticos, la lógica libre, la lógica de fibra (*fibring logic*).

La idea de que haya más de un sistema de verdad no implica, sin embargo, que cualquier verdad dé lo mismo. No es cierta por tanto la derivación de un relativismo lógico —ni, por lo demás, de cualquier tipo— en complejidad. Esta es, sin duda, la idea más fuerte que se sigue, directa, inmediata y necesariamente, de las lógicas no clásicas, pero ciertamente no es la única. Solo que frente al monismo de verdad, que se traduce como lógicas de la exclusión y ulteriormente de la violencia (García, 2007), el reconocimiento de lógicas polivalentes (= hasta infinitos valores de verdad), de verdades incompletas y circunscritas (= no absolutas) resulta verdaderamente molesta o escandalosa para la tradición y el presente normales de la cultura y el poder.

Por último, existe una idea filosófica en el núcleo mismo de la complejidad que no cabe obliterar. Es la idea, el concepto, el problema —según se prefiera— del *devenir*. En efecto, si “la historia oficial” (para parafrasear una película argentina de 1985, de L. Puenzo) de Occidente pivota alrededor de la idea del “ser”, las ciencias de la complejidad en general, y la termodinámica del no equilibrio en particular reclaman, de manera abierta, por primera vez la importancia del devenir.

El “ser” es el concepto axial de toda la historia occidental, formulada por primera vez por Parménides, Melisso de Samos y Zenón de Elea y proyectada sobre el telón de toda la civilización durante cerca de 2.500 años por parte de Platón y Aristóteles. “Nada entra al ser que no sea el ser, y nada sale del ser que no sea el ser”. “El ser es, y el no ser no es. Si el no ser fuera (posible) no se podría pensar, y si se pudiera pensar no se podría decir” (Gorgias). Lo subsiguiente es historia conocida.

Heráclito nunca formó parte del guion principal en la historia de Occidente —ni siquiera como actor de reparto o como antagonista, si cabe la expresión—. Ni siquiera cuando el marxismo, en especial cuando el joven Marx escribe su tesis sobre Demócrito y Epicuro (el marxismo posterior jamás habría de recuperar o de tomar en serio esa tesis).

La idea del “ser” traducida al poder implica la aceptación rasera del realismo político (*Realpolitik*). Pensar algo distinto al ser es, en política, simple y llanamente, la oposición, la alternatividad y la revolución, principios inaceptables para la buena conciencia política.

I. Prigogine escribe en 1980 *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences* en el que explícitamente afirma una física del devenir. Y por consiguiente, el reconocimiento de que el tiempo es el factor mismo que hace complejos a los fenómenos y la realidad. Esta idea no significa, en absoluto, que la realidad sea transitoria y pasajera; por el contrario, es el hecho de que la realidad (estable, fija, permanente, inamovible) es incompatible con la vida misma, que es el fenómeno de máxima complejidad conocida en el universo. Así, las ciencias de la

complejidad son ciencias de la vida en tanto que la vida es, *par excellence*, el fenómeno de complejidad creciente en el universo. De aquí, ulteriormente, puede derivarse la idea de una *política de vida* en contraste con cualquier *política de poder*.

RAPSODIA COMPLEXA

Es claro que existe más de una comprensión acerca de la complejidad. *Grosso modo*, las dos comprensiones más generales pero fundamentales acerca de la complejidad, son las de las ciencias de la complejidad y la del pensamiento complejo. Esta última al mismo tiempo se inspira en, y sigue a la obra de Edgar Morin. Cabe aquí, dado el carácter de este artículo abrir un paréntesis a fin de considerar las implicaciones que el pensamiento complejo tiene de cara a la política. Prefiero denominar a este paréntesis *rapsodia complexa*.

Por el lado del pensamiento complejo y en relación directa con el pensamiento y la obra de Edgar Morin, hay que decir que las implicaciones políticas admiten una consideración puntual.

Puede decirse, sin ambages, que la aproximación política de la complejidad en la perspectiva moriniana tiene una importancia definitivamente mayor en América Latina que en el resto del mundo. La unidad lingüística, incluido el portugués de Brasil, y una comunidad cultural afin constituye sin lugar a dudas un contexto propicio.

Asimismo, la aproximación política del pensamiento complejo tiene una correspondencia cultural, una cierta herencia histórica y una afinidad de espíritu con tres movimientos intelectuales que fueron, en su momento, importantes en el subcontinente: a) la filosofía latinoamericana, b) la filosofía de la liberación latinoamericana, y c) la teología de la liberación. Cabe sostener que las posiciones políticas del pensamiento complejo son herederas directas de estas tres tradiciones, no siempre enteramente concordantes entre sí.

Las fuentes más importantes de trabajo acerca de las implicaciones políticas y de los compromisos políticos del pensamiento complejo han llegado a adoptar la forma y la expresión de *pensamiento para el sur* o acaso igualmente, *complejidad para el sur*. Marcando, desde luego, un fuerte contraste con lo que abierta o tácitamente correspondería a un pensamiento del norte: norteamericano y eurocentrista.

Con calidades disímiles entre sí, las principales fuentes para el estudio de las implicaciones políticas del pensamiento complejo pueden comprenderse en los siguientes referentes (el orden no importa aquí):

(1) Comunidad de pensamiento complejo

(<http://www.pensamientocomplejo.com.ar>). Se trata de un grupo de trabajo con base en Buenos Aires, pero con sólidos nexos con Morin, personalmente, y con J. L. Le Moigne, el otro nombre prestigioso en la corriente del pensamiento complejo.

Este grupo es de lejos el más sólido y prestigioso dentro de la comunidad del pensamiento complejo. Su interés por el “pensamiento del sur” constituye su principal fortaleza teórica.

(2) Con una calidad con altibajos, la revista *Complejidad* (<http://www.complejidad.info>), con sede en México, es fiel en el estilo y al pensamiento de E. Morin. La revista quiere abrirle un espacio a la política en el sentido Moriniano de la palabra, y si bien contiene unos cuantos artículos, el rigor científico de los mismos no es precisamente el mejor. Por esta razón cabe hacer mención mejor de la revista misma que de esos tres artículos (cuya calidad, por lo demás, no obtendría un espacio en una revista de alto impacto).

(3) Desde 2001, cada dos años, tiene lugar en La Habana un congreso de complejidad animado por dos grupos de trabajo cubanos. Uno con sede en la Universidad de La Habana y el otro por un grupo con sede en Santa Clara. La génesis es la Cátedra de Complejidad, que ha logrado reunir a varios de los teóricos e investigadores más importantes en el mundo. Hay que decir que el tema político no salta inmediatamente a la vista entre sus primeras preocupaciones en las reuniones en Cuba.

(4) Con un claro acento y preocupación políticos, es indispensable hacer mención a la *Declaración del Sur* (Brasil) tanto como a la “Declaración”, en el II Simposio internacional de Pensamiento Complejo IPCEM-URP (<http://ciencia-y-humanidades-ntc.blogspot.com/2012/06/declaracion-del-ii-simposio.html>). El instituto IPCEM, en Lima, adjunto a la Universidad Ricardo Palma se ha destacado en este plano. No tiene, sin embargo, ninguna publicación sobre el tema.

(5) Existen varios videos en YouTube directamente relacionados con el tema planteado aquí. Con seguridad los más destacados son los siguientes: “Hacia un pensamiento complejo del sur”.

(<http://www.youtube.com/watch?v=IvFfBpwDZp0&list=PLBB6C86588C558AB9&index=1>)

E. Morin, el pensamiento del sur

(<http://www.youtube.com/watch?v=WMfQozzmo9U>).

(6) El mejor libro en la perspectiva mencionada es el de Sotolongo y Delgado (2009), disponible también en internet:

<http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/campus/soto/soto.html>. Y si bien tiene, claramente, una ambientación pedagógica, social y política, lo suyo no es el estudio de las implicaciones políticas de la complejidad.

(7) Finalmente, la universidad a distancia “Multiversidad”, (<http://www.multiversidadreal.edu.mx>) hace de los temas, conceptos, problemas y motivos Morinianos el eje de todo su trabajo. Dada la juventud del programa la

calidad del mismo habrá de medirse a mediano y a largo plazo. Y el tema político no se encuentra en el foco.

Como sea, no hay, en contraste con lo señalado al comienzo, un trabajo consolidado y sistemático de carácter científico en la perspectiva de una teoría, filosofía o ideas políticas en el sentido del pensamiento complejo. Esta es una carencia que probablemente deberá subsanarse en el futuro.

Habría podido ser relevante elaborar una reflexión acerca de los matices mismos al interior de estas diversas fuentes del pensamiento complejo y sus aproximaciones a la política. Pero dos razones lo impiden, por un lado, que el foco de este artículo se concentra en las ciencias de la complejidad; y por otra, el hecho que no existe un trabajo escrito consolidado al interior del pensamiento complejo. En contraste con lo que sí cabe ver desde la perspectiva de las ciencias de la complejidad, como queda mencionado desde el inicio y se muestra posteriormente.

COMPLEJIDAD: REVOLUCIÓN CIENTÍFICA Y REVOLUCIÓN POLÍTICA

Con seguridad el motivo extracientífico que dio origen al nacimiento del caos, conceptualmente una de las primeras ciencias de la complejidad, surge de una cuestión política. Como es sabido, en 1889 el rey Oscar II de Suecia, aficionado a temas científicos, formuló una pregunta y quien lo lograra resolver ganaría un prestigioso premio. La pregunta de Oscar II era: “*El universo ¿es estable a largo plazo?*”. Dejaré aquí de lado por razones de espacio el contexto y los antecedentes científicos del problema y que nos remiten sin dificultad a la mecánica clásica newtoniana y, con ella, a la ley de la gravitación universal. Más bien haré explícito otro aspecto.

Las monarquías han sido siempre hereditarias. De suerte que la posibilidad de que el universo sea estable a largo plazo implica, *implicitamente* por lo menos, la posibilidad de que su propio linaje —el de Oscar II— pueda seguir al frente de los destinos de Suecia. Así pues, la pregunta tenía, *además*, una clara preocupación política.

Los mejores matemáticos de la época se dan a la tarea de responder la pregunta (Weierstrass, Dedekind, Poincaré, Kronecker, Hilbert mismo, y otros), pero solo H. Poincaré lograría la respuesta. La maravilla es que la suya fue una respuesta por *imposibilidad*. Poincaré simplificó el problema del universo a un modelo más elemental: el problema de los tres cuerpos (el sol, la tierra y la luna) (que se conocerá en lo sucesivo como *the 3-Body Problem*) (Valtonen, Karttunen, 2006) es de tal orden que la más mínima inestabilidad en cualquiera de ellos afectará a los otros dos y así al conjunto de relaciones entre los tres. La más mínima inestabilidad significa: los tres cuerpos son inestables y se encuentran en el filo del caos. El problema se torna magníficamente más complejo cuando se amplía a más de tres, a cuatro, ocho, veinte, y más cuerpos. Es justamente lo que se conocerá como *the N-Body Problem* (Meyer,

2000). Como ya se sabía hace tiempo, el universo está compuesto por un sinnúmero de cuerpos.

Los cimientos de la ciencia del caos estaban sentados, pero sería necesario el desarrollo del computador para que, décadas más tarde, en 1962 E. Lorenz, en el contexto de la meteorología hiciera explícito el tema de que pequeñas perturbaciones tienen efectos inmensos a largo plazo. Así, la ciencia descubrirá la impredecibilidad a mediano y largo plazo. O, dicho inversamente, que los fenómenos y la realidad son predecibles tan solo a corto plazo.

Como se aprecia sin dificultad, las ciencias de la complejidad implican, mejor *son* una revolución científica, conceptual, tecnológica, cultural y social.

La idea de revoluciones científicas se hizo popular gracias a Th. Kuhn, pero Kuhn tan solo expresa en forma sucinta una idea cuyos mejores antecedentes son A. Koyré, G. Canguilhem y G. Bachelard, como observa, agudamente F. Varela (en el segundo prólogo a: Maturana y Varela, 2004).

Es decir, el conocimiento avanza no por vía de acumulaciones, sino, mejor aún, por vía de quiebres, rupturas y discontinuidades. Así, la historia de la educación, de la ciencia y de la filosofía, por ejemplo, no sucede a la manera como si supiéramos más de lo anterior, sino, por el contrario, sabemos distinto de otras cosas.

Existen revoluciones científicas y estas pueden y deben ser tomadas con seriedad en toda la extensión de la palabra. Y, por analogía, de acuerdo con Kuhn, las revoluciones políticas se entienden a la manera de las revoluciones políticas, y las revoluciones son modos de progreso (Kuhn, 1982: capítulos XI y XII).

Hay que decir, además, que la idea de revoluciones en la ciencia —y por consiguiente, en la cultura y la sociedad— ha sido trabajada antes de Kuhn (Cfr. A. R., Hall, *The Scientific Revolution. 1500-1800* (1954); Hayek, *The Counter-Revolution of Science* (1955), contemporáneamente con Kuhn —J. D. Bernal (1967), *Historia social de la ciencia*— y después de Kuhn —R. Hall (1983), *The Revolution in Science. 1500-1750* B. Cohen (1988), *Revolución en la ciencia*, después de Kuhn, M. Serres (1991), *Historia de la ciencia*, que la explica en términos de *bifurcaciones*, J. Gribbin, *Historia de la ciencia, 1543-2001*. Esta lista, desde luego, no pretende ser exhaustiva.

Como sea, una revolución científica no es únicamente un nuevo paradigma; esto es, una nueva teoría comprensión o explicación del mundo.³ Una revolución científica consiste en una serie de fenómenos y procesos que se destacan por los siguientes rasgos:

³ Este es el sentido preciso que el término tiene en Kuhn. En efecto, no obstante que Kuhn mismo acuña el concepto, este autor debate en numerosos pasajes el significado de “nuevos paradigmas” —en contraste con la ciencia normal, un concepto que ya en vida de Kuhn se había vuelto muy popular—. Finalmente, en (1982) Kuhn precisa —*ampliando*— el concepto mismo de revolución científica.

a) *Organización social de la ciencia.* La propia comunidad académica y científica se organiza de forma distinta a como lo hace en situaciones de ciencia normal. Así de este modo, si el paradigma de la ciencia normal fueron las Academias —*Royal Academy of Sciences, Académie Française des Sciences, Preussische Akademie der Wissenschaften*, notablemente; esto es, la organización disciplinar y cerrada de la ciencia—, las revoluciones científicas implican, en particular en el contexto de las ciencias de la complejidad, el surgimiento de nuevas asociaciones (coloquios, seminarios, congresos, etc.), nuevos modos de expresión (revistas, editoriales, colecciones). La ciencia interactúa de nuevas maneras con la filosofía y el arte y se quiebran o disminuyen las barreras entre las tres.

b) *Lenguaje.* Nuevos conceptos, nuevos términos, nuevos tropos⁴ emergen en la ciencia, los cuales permiten ver mejor nuevos fenómenos. Al mismo tiempo, viejos conceptos *normales* se revelan *ad hoc*. En la historia de la ciencia es lo que sucede a propósito de conceptos como “flogisto”, “homúnculos”, “espíritus animales”, “éter” y numerosos otros. Hay incluso ciencias y disciplinas que desaparecen.

c) *Nuevos métodos.* De forma conspicua, en contraste con las dos formas clásicas de ciencia —ciencia por inducción y por deducción— aparece una doble nueva modalidad: un nuevo método científico y, por consiguiente, una nueva ciencia, la ciencia por modelamiento y simulación⁵ (Axelrod, 1997; Maldonado y Gómez, 2010). Con los nuevos métodos emergen también nuevas técnicas y tecnologías. Las ciencias de la complejidad no son ciencia por inducción ni tampoco por deducción, sino por modelamiento o simulación.

d) *Organización social del conocimiento.* Con las revoluciones científicas no solamente el conocimiento mismo se organiza de otras formas, sino, que mejor y más radicalmente aún, la propia sociedad se organiza de nuevas maneras. El conjunto de estudios CTS es un buen ejemplo; pero también puede mencionarse la creación de nuevos *currícula*, carreras de estudio y niveles de posgrados al interior de la vida académica, y nuevas formas de socialización y de participación de la sociedad en las dinámicas del conocimiento. Por derivación, la sociedad se organiza de otras formas en correspondencia con los nuevos conocimientos alcanzados.

e) *Tipos de acción del conocimiento.* En complejidad la exigencia de entrada es la capacidad para interlocutar y trabajar de manera cruzada con otras ciencias y disciplinas, pero también con la filosofía y el arte. Las fronteras clásicas en el conocimiento desaparecen o se hacen por lo menos móviles y permeables. Más

⁴ No única y simplemente metáforas.

⁵ Debo dejar aquí de lado la justificación de esta tercera clase de ciencia, que es bastante conocida entre la comunidad de complejólogos en especial, pues ese sería el objeto de otro artículo, dada la novedad. Aquí, remito sencillamente a una parte de la bibliografía.

exactamente, la vieja discusión de la epistemología de los años 50 y 60 desaparece en el contexto de complejidad, esto es: qué es “ciencia”, qué es “disciplina”, que es “práctica” o “saber”. Lo determinante son los problemas de frontera y las acciones que se siguen del reconocimiento de este tipo de problemas. Se producen refuerzos positivos entre nuevos conocimientos, tecnologías, actores y formas de acción individual y social.

CONCLUSIONES

Las ciencias de la complejidad nacen en los años 80, desde un punto de vista administrativo-organizativo. Pero las consecuencias políticas no dependerán necesariamente de estos centros e institutos. Y con seguridad, las consecuencias que aquí nos interesan no pueden tampoco, en toda la acepción más fuerte de revolución científica, seguirse de estos u otros centros académicos y de investigación. Las revoluciones científicas *son* —pero no mecánicamente— revoluciones sociales y políticas.

Se han presentado algunos de los más significativos atributos de la complejidad. Las consecuencias políticas de estas ideas consisten en su “implementación”: en el tipo de acción que se sigue de ellas, y por tanto en su radicalidad. Y como se infiere, las consecuencias políticas son las de una revolución —científica, por decir lo menos—. Solo que, y esto debe quedar claro, no es una revolución a la manera de las que han precedido en la historia de la humanidad. El pasado no determina ya, en los sistemas de complejidad creciente, su futuro y sus posibilidades. Las consecuencias, a pesar de las observaciones iniciales de H. Pagels, no son previsible.

La implementación política de las ideas de la complejidad tiene, y puede tener, consecuencias de gran impacto, pero su implementación no es un asunto que dependa directamente de la comunidad académica y científica. Antes bien, es el tema de la *apropiación social* del conocimiento, un tema sobre el cual, con todo, los académicos y científicos no son indiferentes.

Las ciencias de la complejidad pueden ser comprendidas en sentido filosófico como *an-arché* ($\alpha\nu\text{-}\alpha\rho\chi\eta$); esto es, como ausencia de un principio constitutivo último fundamental de la realidad, la sociedad o la naturaleza. La idea de una *arché* ($\alpha\rho\chi\eta$) fue la idea fundacional de Occidente y condujo, ulteriormente a la postulación del “ser” como idea fundamental. La *ausencia de principio o fundamento* —por definición único— es, si cabe la expresión, el *motto* de la complejidad. Nos encontramos aquí con la derivación de su distanciamiento, por nombrarlo de alguna manera, con respecto al “ser” a favor del “devenir”. No solamente vivimos en un universo no ergódico irrepitable o sino también probabilístico y cargado de incertidumbre (principio de la física cuántica). No hay poder que dure para siempre, y la complejidad es la vida misma.

Universidad del Rosario*
Facultad de Ciencias Políticas y Gobierno
Calle 14 No. 6-2, Bogotá (COLOMBIA)
carlos.maldonado@urosario.edu.co

OBRAS CITADAS

- Alberts, D. S., and Czerwinski, T. J. *Complexity, Global Politics and National Security*, Washington, D.C.: National Defense University(Eds.). 1997
- Arthur, B. *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. Michigan: The University of Michigan Press. 1994
- Axelrod, R. *The Complexity of Cooperation. Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton, NJ: Princeton University Press. 1997
- Barabasi, A.L. *Linked. How Everything is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. New York: Plume, 2003
- Barrat, A., Barthélemy, M., Vespignani, A. *Dynamical Processes on Complex Networks*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- Bernal, J. D. *Historia social de la ciencia*. Tomo I y II. Barcelona: Península, 1967.
- Biagioli, M. "From Ciphers to Confidentiality: Secrecy, Openness and Priority in Science". *The British Journal for the History of Science*, (March, 2012), DOI:10.1017/S0007087412000088, 1-21 (First View Article)
- Boin, A., Hart, P., Stern, E., Sundelius, B. *The Politics of Crisis Management: Public Leadership under Pressure*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- Boulton, J. "Complexity Theory and Implications for Policy Development". *E:CO*, Vol. 12, Issue 2, (2011):31-40.
- Casti, J. *Paradigms Lost. Tackling the Unanswered Myteries of Modern Science*. New York: Avon Books, 1989.
- Cohen, B. *Revolución en la ciencia*. Barcelona: Gedisa, 1988.
- García Gutiérrez, A. *Desclasificados. Pluralismo lógico y violencia de la clasificación*. Barcelona: Anthrosop, 2007.
- Geyer, R., and Rihani, S. *Complexity and Public Policy. A New Approach to 21st Century politics, policy, and society*. London: Routledge, 2010.
- Gilpin, D. R., Murphy, P. J. *Crisis Management in a Complex World*. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- Gould, S. J. *Ocho cerditos. Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona: Crítica, 1994
- Gribbin, J. *Historia de la ciencia. 1543-2001*. Barcelona: Crítica, 2003.
- Hall, A. R. *The scientific revolution. 1500-1800. The Formation of the Modern Scientific Attitude*. Boston: The Beacon Press, 1954

- Hall, R. *The Revolution in Science. 1500-1750*. London and New York: Longman, 1983.
- Halvorson, H. *What scientific theories could not be. Philosophy of Science*, Vol. 79, No. 2, (2012):183-206
- Harrison, N. E. *Complexity in World Politics. Concepts and Methods of a New Paradigm*. New York: State University of New York Press (Ed.), 2006.
- Hayek, F. A. *The Counter-Revolution of Science. Studies on the Abuse of Reason*. London: The Free Press of Glencoe, 1955.
- Heartney, E. *Defending Complexity: art, politics, and the new World Order*. Stockbridge, MA: Hard Press Editions, 2004.
- Hofstadter, D. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. New York: Vintage Books, 1989.
- Holland, H. *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*. Reading, MA: Perseus Books, 1995.
- Holland, J. H. *Emergence. From Chaos to Order*. Reading, MA: Helix Books, 1998.
- Jervis, R. *System Effects: Complexity in Politics and Social Life*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998.
- Kauffman, S. *At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- *Investigations*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- Klein, J. T. "Interdisciplinarity and Complexity: An Evolving Relationship". *E:CO* (Special Double Issue), Vol. 6: 1-2, 2-10, 2004.
- Kuhn, Th. *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*. México: F.C.E, 1982
- Lorenz, E. N. *La esencia del caos*. Madrid: Debate, 2000.
- Maldonado, C. E. "Pensar la complejidad con la ayuda de las lógicas no-clásicas", en Rodríguez L. (Coord.), *La emergencia de los enfoques de la complejidad en América Latina*, Buenos Aires (en prensa) 2013.
- Maldonado, C. E., y Gómez, N. *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Bogotá: Ed. Universidad del Rosario, 2011a.
- "Biological Computation: A Road to Complex Engineered Systems" en: Sayama, H., Minai, A., A., Braha, D., and Bar-Yam, Y., (Eds.), *Unifying Themes in Complex Systems. Volume VIII: Proceedings of the Eighth International Conference on Complex Systems*. New England Complex Systems Institute Series on Complexity, (2011b):918-927. NECSI Knowledge Press, <http://necsi.edu/events/iccs2011/proceedings.html>, capturado el 7 de abril de 2012
- Modelamiento y simulación de sistemas complejos, *Documento de Investigación*, No. 66 (2010), http://www.carlosmaldonado.org/articulos/DI66_Admon__Modelamiento_web.pdf, recuperado el 7 de Abril 2012

- Maturana, H. y Varela, F. *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Santiago de Chile: Lumen, 2004.
- Meyer, K. R., *Periodic Solutions of the N-Body Problem*. Berlin: Springer Verlag, 2000.
- Mitchell, S. "Why Integrative Pluralism?". *E:CO* (Special Double Issue), Vol. 6, (2004): 1-2, 81-91
- Morin, E. *Para una política de civilización*. Barcelona: Paidós, 2009
- Page, S. E. *Diversity and Complexity*. Princeton-Oxford: Princeton University Press, 2011
- Pagels, H. *Los sueños de la razón. El ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*. Barcelona: Paidós, 1991.
- Prigogine, I. *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences*. San Francisco: W. H. Freeman and Co, 1980.
- Richards, D., and Doyle, D. *Political Complexity: Nonlinear Models of Politics*. Michigan: University of Michigan Press, 2000.
- Ruelle, D. *Azar y caos*. Madrid: Alianza Editorial, 1995.
- Sanders, T. I., McCabe, J. A. *The Use of Complexity Science. A Survey of Federal Departments and Agencies, Private Foundations, Universities, and Independent Education and Research Centers*. Washington, D.C.: Washington Center for Complexity & Public Policy, (October), 2003.
- Scott, A. C. *The Nonlinear Universe. Chaos, Emergence, Life*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2007.
- Serres, M., *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra
- Sotolongo, P. y Delgado, C. *La revolución contemporánea del saber y la complejidad social*. Buenos Aires: CLACSO, 2006.
- Stengers, I. "The Challenge of Complexity: Unfolding the Ethics of Science. In Memoriam Ilya Prigogine". *E:CO* (Special Double Issue), Vol. 6,(2004): 1-2, 92-99.
- Strogatz, S., *Sync: How Order Emerges from Chaos in the Universe, Nature, and Daily Life*. New York: Theia, 2003.
- Thom, R. *Morfogénesis y estabilidad estructural. Ensayo de una teoría general de los modelos*. Barcelona: Gedisa, 1997.
- Valtonen, M., y Karttunen, H. *The Three-Body Problem*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- Zeeman, E. C. *Catastrophe Theory. Selected Papers 1972-1977*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co., 1978.
- Zwirn, H. P. *Les systèmes complexes. Mathématiques et biologie*. Paris: Odile Jacob, 2006.