

Salud: un sistema complejo adaptativo

Luis Fernando Toro-Palacio¹ y
Francisco Luis Ochoa-Jaramillo²

Forma de citar: Toro-Palacio LF, Ochoa-Jaramillo FL. Salud: un sistema complejo adaptativo. Rev Panam Salud Publica. 2012;31(2):161-5.

SINOPSIS

Este artículo destaca la enorme distancia existente entre el pensamiento complejo de índole intelectual, difundido en nuestro medio, y el pensamiento complejo de índole experimental, que ha permitido lograr los desarrollos científico-tecnológicos que han cambiado radicalmente el mundo. Invita a considerar como sistemas complejos adaptativos entidades tales como la vida, el ser humano, la sociedad global y todo aquello que se llama salud, para lo cual resulta prioritario adoptar un enfoque diferente que amplíe su conocimiento. Al reconocer esta racionalidad, se sustentan las principales características y propiedades emergentes de la salud como sistema complejo adaptativo, siguiendo un modelo de prestación de cuidados y servicios. Finalmente, se plantean algunas preguntas de investigación pertinentes desde esta perspectiva, y se expresan una serie de apreciaciones que se espera sirvan para comprender todo lo que como individuos y como especie hemos llegado a ser. Se propone en este trabajo que la salud y la prestación de servicios de asistencia sanitaria se consideren como sistemas complejos adaptativos.

Palabras clave: salud; servicios de salud; teoría de sistemas.

¹ Universidad CES, Facultad de Medicina, Grupo de investigación: Observatorio de la Salud Pública.

² Universidad CES, Facultad de Medicina, Grupo de investigación: Medicina, Humanismo y Bioética (ETICES). Correspondencia: fochoa@ces.edu.co

No se puede cuestionar el avance del conocimiento sanitario y de todas las ciencias con él relacionadas, ni que el enfoque sistémico ha coadyuvado al progreso de la humanidad (1, 2). Sin embargo, sigue habiendo preguntas científicas aún sin respuesta, perplejidades hasta ahora no abordadas ni explicadas desde la perspectiva clásica. Se han encontrado algunas respuestas en la nueva ciencia de la complejidad, campo al que nos referiremos en forma general, con potencial aplicación específica al sector de la salud.

A partir de la racionalidad de cerrado carácter positivista con la que se pretendía explicar el mundo en su totalidad, sustentada originalmente en las leyes de la física clásica y luego en las teorías de la física cuántica y relativista (3), solo se podía esclarecer cualquier aspecto de índole investigativa en la medida en que quedaran demostradas las diferentes hipótesis planteadas, y siempre bajo los supuestos de leyes deterministas en un tiempo reversible (4). Sin embargo, esta forma de abordar el conocimiento se ha revelado incompleta o insuficiente.

Más recientemente, Ilya Prigogine e Isabel Stengers, en su libro *La nueva alianza*, propusieron otro tipo de racionalidad, coherente con el redescubrimiento del tiempo y la puesta en evidencia de dos nuevas entidades: los atractores y las estructuras disipativas (5), que ayudaron a demostrar algo que hasta entonces se consideraba anatema: que el azar y la irreversibilidad pueden conducir al orden y a la organización (6). En *El fin de las certidumbres*, otro libro de Prigogine (7), se divulgan sus hallazgos inobjetables sobre la irreversibilidad del tiempo y la solución probabilística de las ecuaciones de la función de onda, que pronuncian un cambio de época.

La confusión entre los términos *caótico* y *complejo* se produce por la diferencia que existe entre dos tipos de caos: determinista e impredecible, y, de manera correspondiente, dos modos posibles de entender la complejidad. El primero, determinista, ha originado una corriente de pensamiento complejo de corte especulativo (8), pero no ha logrado ampliar la frontera del conocimiento. Y el segundo, producto de la incertidumbre inherente al sentido único de la flecha del tiempo (9) y objeto de estudio de la nueva ciencia de la complejidad, no cesa de sorprendernos con sus avances y materializaciones.

Al primer tipo de caos se pueden asociar los sistemas cuya complejidad es susceptible en buena medida de previsión y control (el tránsito en las grandes ciudades y la turbulencia de los fluidos), mientras que al segundo corresponderían los denominados *sistemas complejos adaptativos* (SCA), es decir, alejados del equilibrio, como los anteriores, pero que, además, son sensibles a sus condiciones iniciales, poseen autoorgani-

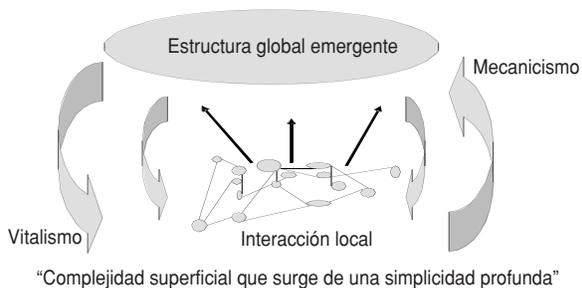
zación y propiedades emergentes, características que, desde *Las leyes del caos*, los convierten en autónomos e impredecibles (9). Las redes booleanas (10), la vida y la inteligencia artificiales (11–13), el conocimiento de la mente humana (14), la teoría que concibe la Tierra como Gaia (15), son algunos ejemplos para ilustrar cómo el estudio de este segundo tipo de caos y sus aplicaciones vienen modificándolo todo.

La estrategia evolutiva de diseño y replicación, al igual que la científica de investigación y desarrollo, no cesan de corroborar la “peligrosa idea de Darwin” (16), para significar que tanto la evolución de las especies como la innovación tecnológica son el producto no previsto de un algoritmo ciego (17) que, no obstante seguir pautas o patrones definidos (ADN, árboles taxonómicos, prototipos, etc.), en un momento imposible de pronosticar y en cualquier punto de la serie de repeticiones deviene solución de continuidad y emergencia (que pueden traducirse en una mutación, una nueva especie o en una invención). Por ello, adentrarse en la dimensión donde rigen las leyes del caos impredecible y se despliega la dinámica de los SCA (18, 19) constituye un imperativo científico contemporáneo del que no puede marginarse el sector de la salud.

Quienes han abrazado esta nueva forma de hacer ciencia —cosmólogos tempranos, sociobiólogos, epigenetistas, cibernéticos, neurocientíficos y muchos otros— proceden con los métodos y artificios del quehacer científico contemporáneo y le dan tratamiento de fenómeno natural a cualquier asunto de interés humano, por ejemplo, los universos múltiples (20), el clima planetario (21), la vida extraterrestre (22), la virtualidad (23), la memética (24) o la religión (25), pero no verifican hechos dados previamente por ciertos, ni se plantean las preguntas fundamentales, ni pretenden encontrar respuesta para todo y vaticinar eventuales resultados (26).

En la figura 1 pueden verse, esquemáticamente, la dinámica de un SCA tipo (centro), los flujos de información y los productos generados por su interacción y los que lo retroalimentan (flechas). Desde la perspectiva de la ciencia de la complejidad, es posible considerar los SCA prescindiendo de las dos flechas exteriores, como flujos de información ubicua y simultánea en un contexto perfectamente natural.

FIGURA 1. Esquema de un sistema complejo adaptativo



Basado en la referencia 26.

LA SALUD COMO SISTEMA COMPLEJO ADAPTATIVO

Adoptar una adecuada definición de salud sería un buen inicio para mostrar por qué debe ser enfocada como SCA. Salud es la plenitud de la vida, aunque se aclara que hablamos desde una perspectiva antropocéntrica, dejando constancia de que tal plenitud no admite límites ni jerarquías, puesto que los demás seres vivientes también tienen su propia salud.

Lo que se propone es enfocar todo lo vinculado a la salud con una mirada diferente, mostrando cómo su dinámica interna y sus efectos resuenan más con los SCA y no con la causalidad, la tendencia al equilibrio y la predicción. Desde esta nueva perspectiva, aquello que denominamos salud tendría cinco componentes o áreas de manifestación: biológica; técnico-científica; social; la cuarta área, la estructura global emergente (EGE), es el ente físico que muchos aún siguen llamando ambiente o medio ambiente, y, por ende, abordándola solo desde la ecología (27). A la quinta área la denominaremos, por ahora, la vida propiamente dicha.

Componentes

1. *Biológico*: comprende todo lo relativo a los organismos vivos, a los factores portadores de la herencia, formativos y diferenciadores de todos esos seres, tanto en el nivel molecular, como en los niveles tisular y funcional.
2. *Técnico-científico*: destaca la legitimidad y trascendencia de la vida artificial, incluidas la robótica y la cibernética, así como la criogenia y afines.
3. *Social*: abarca los elementos para comprender cómo se entienden los determinantes de la salud por parte de los organismos especializados, los gobiernos y la sociedad civil en su conjunto.
4. *Ambiental*: es un campo de incompreensión e idealismo que sugerimos abordar como EGE, en un plano físico intrínsecamente al margen de la predicción y del control humanos, pero sobre el que las personas ejercen múltiples perturbaciones.
5. *Vital*: es como denominamos el componente evolutivo, el incesante progreso creador hacia la innovación (28), que ensancha permanentemente los límites de la vida, en su sentido más amplio.

Referentes

1. *Humanismo científico*: nuevo modelo de apropiación, validación, uso y renovación del conocimiento (29).
2. *Cultura contemporánea*: la manera como la sociedad planetaria habita el mundo y se desarrolla en él.
3. *Vida plena*: entendida como la máxima expresión de la salud, es decir, la “Gran Salud” (30).

Concurrentes

1. *Tiempo irreversible y función de onda probabilística*: en palabras de Ilya Prigogine: “con el tiempo reversi-

ble la materia fue ciega; ahora, bajo la irreversibilidad temporal, la materia ve" (7).

2. *Incertidumbre y creatividad*: la primera, resultante de las dos condiciones anteriores; la segunda, el verdadero potencial del hombre para vivir a tono con la realidad circundante.
3. *Inestabilidad y autoorganización*: el modus operandi de los SCA.

Alicientes

1. *Pequeño BANG (bits, átomos, neuronas, genes)*: los cuatro objetos fundamentales de investigación en la complejidad.
2. *Ciencia de la complejidad*: la vigencia del diálogo con la naturaleza; la concreción del humanismo científico, y el entorno viable para la novedad (26).
3. *Ciberspacio y virtualidad*: "ámbitos" donde los objetos no son de materia ni energía, sino de información.

SERVICIOS DE SALUD Y SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS

De acuerdo con la visión antropocéntrica, hemos venido haciendo ingentes esfuerzos para desempeñarnos en el papel autoatribuido de cuidadores de la salud. Pero, con la nueva perspectiva, se entiende por qué este concepto y su materialización siempre han estado desfasados, y por qué cada vez son más evidentes el malestar humano y el incremento en la demanda de servicios sanitarios, claramente imputables a la concepción anterior.

Tal como la energía, la memoria, y la vida en general, la salud no se pierde sino que se transforma. Igual acontece con los sistemas de salud. Por eso es preciso abordarlos con la perspectiva de la nueva

ciencia, reinventando, para empezar, sus modelos de prestación de servicios, pues los existentes ya están agotados, son ineficientes y, en sentido estricto, no han resuelto los problemas del sector.

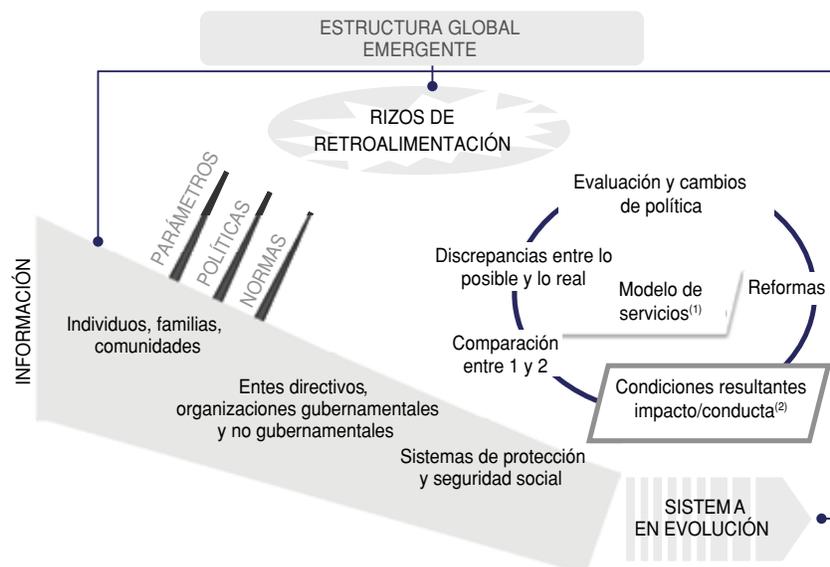
Para ayudar a comprender la dinámica y las interrelaciones entre los distintos entes y procesos que lo componen, en la figura 2 se presenta el esquema de un sistema estándar de prestación de servicios, siguiendo las pautas de un SCA y basado en un modelo genérico de retroalimentación no lineal (31).

La idea no es reducir el modelo a procesos y actividades rutinarias, sino comprender que la EGE no es más que la frontera del caos impredecible, de donde emerge el orden que pretendemos y que por lo general es efímero, tal como se percibe en la realidad.

Los rizos o bucles de retroalimentación (la interacción de las personas y las instituciones, la pirámide poblacional, la carga de las enfermedades, etc.) son turbulencias de magnitud fluctuante, que en todo momento están cambiando las condiciones que anteriormente creíamos constantes y frente a las cuales no tenemos mayor injerencia. Hace falta comprender que las influencias que ejercemos desde el sector de la salud en ese espacio de fases (32), son perturbaciones de distinta índole y magnitud (políticas sanitarias, vigilancia epidemiológica, programas de salud, etc.) sobre el sistema en evolución, perturbaciones que no podemos anticipar cómo van a desplegarse o cuáles habrán de ser sus productos, resultados e impacto (33).

Las astas sólidas (normas, políticas y parámetros) varían en el tiempo, de un sitio a otro, o entre las instituciones; sin embargo, durante su vigencia, son los invariantes de la escena. La flecha gris (el sistema en evolución) es discontinua, en vista de que el flujo de información no está circunscrito, pues es holográfico e ininterrumpido, de modo que no es legítimo adscribirlo al pensamiento sistémico, ni a la reflexión in-

FIGURA 2. Esquema de retroalimentación no lineal de un modelo de servicios de salud



Fuente: elaborada por los autores.

telectual compleja, sino al pensamiento experimental (34). Esto explica, en parte, por qué no hemos resuelto muchos de los problemas que aquejan al sector.

Para entender la analogía con un sistema de servicios de salud es preciso detallar otra característica de los SCA. Existe dentro de la física del no equilibrio lo que se conoce como sensibilidad a las condiciones iniciales, cuya denominación genérica es la de atractor extraño: cierta clase de sistemas (por ejemplo algunas reacciones químicas, una marcha callejera o una tormenta tropical) cambian en un momento dado y sin causa aparente pero en forma radical y con alcances imprevisibles en cuanto a su estado. Esto significa que las características del proceso en observación tienden, de un punto en adelante, a amplificarse y a tornarse inestables, para devenir, al cabo de cierto tiempo, en un estado diferente (31, 35).

Sigamos con la organización, o mejor, con la autoorganización de los sistemas de salud en todo el mundo, que es tal vez la característica diferencial más importante de los SCA y la que nos margina de su control. Así se explicaría, por ejemplo, por qué sus participantes (pacientes, personal administrativo y de salud) y las instituciones (prestadoras, aseguradoras, controladoras y reguladoras de los servicios de salud) se "ajustan" o "acomodan" ante las distintas situaciones que se van presentando en las interacciones del sistema.

Las propiedades emergentes se refieren a todas las situaciones imprevistas y ajenas a nuestra interacción con el sistema que aparecen como productos de las anteriores características, y que rompen el equilibrio establecido llevando el sistema a nuevos niveles de comprensión y actuación.

Criaturas de la ciencia contemporánea son también los fractales, que tienen el sello distintivo de la autosimilitud: "propiedad exhibida por aquellos sistemas cuyas estructuras permanecen constantes al variar la escala de observación, cuando las partes, por pequeñas que estas sean, se parecen a la totalidad" (36), por ejemplo, la forma iterativa de los helechos, las olas, las cordilleras, los alveolos respiratorios, etc. Así, tal como convergen en esta definición estructuras fijas (las montañas) y efímeras (las olas), en nuestro símil puede verse cómo se repite la estructura de un sistema de salud en todos los niveles.

Lo anterior sirve para introducir la idea de autosemejanza observable en el interior del SCA salud bajo distintas condiciones de persona, tiempo y lugar, o entre sistemas afines en todo el mundo:

- *Sensibilidad a las condiciones iniciales*: atención primaria de salud (APS) renovada, enfermedades emergentes y reemergentes, seroconversión, errores médicos.
- *Autoorganización*: regeneración de tejidos, remodelación de órganos y rehabilitación funcional espontáneas, persistencia de los sistemas de salud, participación social.
- *Propiedades emergentes*: apoptosis, telemedicina, terapia con células madres, clínica segura.

Vemos, pues, que los sistemas de servicios de salud reúnen las características de un SCA: sensibilidad a sus condiciones iniciales, autoorganización, propiedades emergentes y autosimilitud. Por eso, en vez de conservar la ilusión de control sobre ellos, de planificarlos e intervenirlos con base en parámetros predefinidos o impuestos, y de medirlos únicamente cuando se encuentran en equilibrio, proponemos investigar su complejidad con la perspectiva de las ciencias básicas que estudian la materia, planteando hipótesis y modalidades de trabajo orientadas a una interacción fluida y armoniosa, explorando, actuando e innovando en el seno de esos sistemas "vivos" con los instrumentos apropiados: ordenadores de última generación, programación evolutiva, agentes inteligentes (37); y reflexionando siempre en concordancia con esta época, de convergencia y autopoiesis (38), y ya no solo con la razón, la mimesis (39) o las convicciones.

Finalmente, se formulan algunas preguntas pertinentes para la nueva investigación científica de la complejidad y mejorar el estado actual de los servicios de salud:

- ¿Cabe la causalidad en los SCA?
- ¿Qué variables pueden "perturbarse" en procura de optimizar los servicios de salud?
- De las técnicas y los métodos estadísticos y epidemiológicos, ¿cuáles podrían ser más útiles para el estudio de las realidades complejas?
- Desde este punto de vista, ¿hasta dónde puede llegar realmente el pronóstico en salud?

CONCLUSIONES PARCIALES

1. Los SCA son susceptibles de perturbación, pero no siempre nuestras actuaciones garantizan el control, el orden o los resultados buscados en ellos.
2. En el fenómeno salud subyacen factores que actúan en diferentes niveles entre lo cuántico y lo cósmico, lo inocuo y lo pernicioso, y que lo perturban al tiempo que son perturbados por él desde su EGE, configurando sistemas sensibles a las condiciones iniciales, autoorganizados y emergentes.
3. Se sugiere pensar en la salud y en la prestación de servicios en el sector como sistemas complejos adaptativos, y proseguir el diálogo con la naturaleza sirviéndonos de la nueva racionalidad y estrenando modelos mentales e instrumentales.
4. Un talento normal y una mayor disponibilidad son elementos necesarios para acometer un proyecto mundial de salud sustentado en la ciencia de la complejidad, el humanismo científico y la cultura contemporánea en su conjunto, utilizando, claro está, todos los conocimientos hoy vigentes.
5. Los gobiernos, los líderes y en general los tomadores de decisiones deberían considerar que la salud y la prestación de sus servicios se comportan como SCA, para proponer alternativas de solución desde esa perspectiva.

SYNOPSIS

Health: an adaptive complex system

This article points out the enormous gap that exists between complex thinking of an intellectual nature currently present in our environment, and complex experimental thinking that has facilitated the scientific and technological advances that have radically changed the world. The article suggests that life, human beings, global society, and all that constitutes health be considered as adaptive complex systems. This idea, in turn, prioritizes the adoption of a different approach

that seeks to expand understanding. When this rationale is recognized, the principal characteristics and emerging properties of health as an adaptive complex system are sustained, following a care and services delivery model. Finally, some pertinent questions from this perspective are put forward in terms of research, and a series of appraisals are expressed that will hopefully serve to help us understand all that we have become as individuals and as a species. The article proposes that the delivery of health care services be regarded as an adaptive complex system.

Key words: health; health services; systems theory.

REFERENCIAS

- Bertalanffy L. Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones. 2ª. ed. México: Fondo de Cultura Económica; 2006.
- Organización Mundial de la Salud. Teoría de sistemas. En: de Savigny D, Adam T, eds. Aplicación del pensamiento sistémico al fortalecimiento de los sistemas de salud. Alianza para la Investigación en Políticas y Sistemas de Salud. Francia: OMS; 2009. Pp. 51–74.
- Penrose R. La mente nueva del emperador. En torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física. 1ª. ed. México: Fondo de Cultura Económica; 1995.
- Bunge M. La ciencia, su método y su filosofía. 1ª. ed. Buenos Aires: Editorial Sudamericana; 2005.
- Prigogine I, Stengers I. La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia. 1ª. ed. Madrid: Alianza; 1985.
- Monod J. El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna. 1ª. ed. Barcelona: Seix Barral Editores; 1970.
- Prigogine I. El fin de las certidumbres. 1ª. ed. Madrid: Santillana; 1997.
- Morin E, Kapman M. Introducción al pensamiento complejo. 3ª. ed. Madrid: Gedisa Editorial; 1998.
- Prigogine I. Las leyes del caos. Barcelona: Crítica; 1999.
- Kauffman S. The origins of order: Self-organization and selection in evolution. New York: Oxford University Press; 1993.
- Universidad de Navarra. Grupo de Investigación de Genética y Microbiología. Reprogenética. 2010. Disponible en: <http://www.unavarra.es/genmic/expcia/reprogenetica.pdf> Acceso el 10 de noviembre de 2010.
- Emmeche C. Vida simulada en el ordenador. Madrid: Gedisa; 1998.
- Haugeland J. La vida artificial. México: Siglo XXI Editores; 2003.
- Searle JR. La mente. Una breve introducción. Bogotá: Grupo Editorial Norma; 2006.
- Lovelock JE. Las edades de Gaia: una biografía de nuestro planeta vivo. Barcelona: Tusquets Editores; 1993.
- Dennett D. La peligrosa idea de Darwin. Evolución y significados de la vida. Barcelona: Galaxia Gutenberg/Círculo de Lectores; 1999.
- Dawkins R. El relojero ciego. Barcelona: Labor; 1989.
- Gell-Mann M. El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo. Barcelona: Tusquets Editores; 1998.
- Gribbin J. Así de simple. El caos, la complejidad y la aparición de la vida. Barcelona: Crítica; 2006.
- Kaku M. Hiperespacio: una odisea científica a través de universos paralelos, distorsiones del tiempo y la décima dimensión. Barcelona: Crítica; 1996.
- Universidad de la República/Facultad de Ciencias, Paysandú. Astronomía fundamental y sistema solar; 2006. Disponible en: <http://www.fisica.edu.uy/~gallardo/afyss/af06.html> Acceso el 20 de agosto de 2010.
- SETI Institute. SETI Institute. 2010. Disponible en: <http://www.seti.org/Page.aspx?pid=1366> Acceso el 20 de agosto de 2010.
- Echeverría J. Un mundo virtual. Barcelona: Plaza y Janés; 2000.
- Dawkins R. El gen egoísta. Las bases biológicas de nuestra conducta. 12ª. ed. Barcelona: Salvat; 2002.
- Dennett D. Romper el hechizo. La religión como fenómeno natural. Buenos Aires: Katz; 2007.
- Lewin R. Complejidad: el caos como generador de orden. Barcelona: Tusquets Editores; 2002.
- Crichton M. Presa. Barcelona: Plaza y Janés; 2003.
- Goodwin B. Las manchas del leopardo. La evolución de la complejidad. Barcelona: Tusquets Editores; 1998.
- Posada C. Curso de humanismo científico. Medellín. Junio – julio de 2004.
- Nietzsche F. La gaya ciencia. México: Edaf; 1982.
- Briggs J, Peat F. Espejo y reflejo: del caos al orden. Barcelona: Gedisa; 1994.
- Penrose R. Lo grande, lo pequeño y la mente humana. Madrid: Akal; 2006.
- Donabedian A. An introduction to quality assurance in health care. Oxford: Oxford University Press; 2003.
- Pérez Gay JM. Nietzsche. Construir el siglo XX, el hilo negro. 2010. Disponible en: <http://www.almargen.net/4-05-hn1.html> Acceso el 20 de agosto de 2010.
- Lorenz E. The essence of chaos. Washington: University of Washington Press; 1993.
- Mandelbrot B. Los objetos fractales. Barcelona: Tusquets Editores; 1993.
- Axelrod R. La complejidad de la cooperación: modelos de cooperación y colaboración basados en los agentes. México: Fondo de Cultura Económica; 2003.
- Varela F. El fenómeno de la vida. 2ª ed. Santiago de Chile: Dolmen; 2002.
- Aristóteles. Poética, Mimesis. 2010. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=Jr47o0ffk54C&pg=PA13&dq=arist%C3%B3teles+%2B+mimesis&cd=2#v=onepage&q=arist%C3%B3teles%20%2B%20mimesis&f=false> Acceso el 20 de agosto de 2010.

Manuscrito recibido el 7 de marzo de 2011. Aceptado para publicación el 1 de agosto de 2011.