

Metafísica y dinámica caótica

Vicente Aboites
Centro de Investigación en Matemáticas
Universidad de Guanajuato

Abstract

From an internalist viewpoint for mental states, it is proposed that any dynamical system with coexisting chaotic attractors has an emergent property. This provides a non reductive explanation of mental states and their high sensitivity to noise and initial conditions. If metaphysical terms result from the mental states and these are emergent properties of dynamical systems with coexisting attractors, such as the brain, it is suggested that this may provide a physical explanation of metaphysical concepts.

Keywords: metaphysic, philosophy of the mind, chaotic dynamic emergent properties.

Resumen

A partir de un enfoque internalista para los estados mentales, se propone que los términos metafísicos son el resultado de estados mentales que, a su vez, son propiedades emergentes de sistemas dinámicos caóticos con atractores coexistentes en el cerebro. Se sugiere que esto proporciona una explicación física para los conceptos metafísicos. Esto se hace a partir de la propuesta de que todos los sistemas dinámicos con atractores coexistentes caóticos, como el cerebro, presentan propiedades emergentes. Obtenemos así una explicación no reductiva de los estados mentales y su alta sensibilidad al ruido y a las condiciones iniciales.

Palabras clave: metafísica, filosofía de la mente, dinámica caótica, propiedades emergentes.

A lo largo de la historia de la filosofía, en particular de la filosofía analítica, la metafísica ha sido rechazada por varias razones, como oponerse al conocimiento empírico, ser dudosa, pues intenta ir más allá de los límites del conocimiento humano, o estéril, dado que independientemente de si las preocupaciones metafísicas pueden ser respondidas o no, resulta inútil preocuparse por ellas.

Desde los escépticos griegos hasta los empiristas del siglo XIX han habido muchos opositores a la metafísica. La naturaleza de las críticas expuestas ha sido muy diversa. Algunos han declarado que la teoría metafísica es errónea en razón de oponerse a nuestro conocimiento empírico. Otros la han considerado únicamente incierta en base al hecho de que sus problemas trascienden el límite del conocimiento humano. Muchos anti-metafísicos han declarado estéril el ocuparse de las interrogantes metafísicas, pudieran o no ser respondidas, porque en todo caso es innecesario preocuparse por ellas (Carnap, 1932).

Posteriormente utilizando argumentos muy diferentes Carnap, entre otros, intentó mostrar que las proposiciones metafísicas simplemente *carecen de sentido*. Hay que reconocer que la originalidad de los positivistas lógicos radica en que hacen depender la imposibilidad de la metafísica no de la naturaleza de lo que se puede conocer, sino de la naturaleza de lo que se puede decir. Ayer (1966) afirma que “ya no se trata al metafísico como a un delincuente, sino como a un enfermo”. La llamada “pinza” de Hume (1748) acerca del contenido de cualquier libro consiste en dos preguntas: ¿contiene algún razonamiento abstracto del tipo encontrado en las matemáticas o en la geometría?, si no, entonces, ¿contiene afirmaciones factuales que puedan ser observadas y verificadas?, si tampoco, entonces “arrójelo a la

hoguera puesto que no contiene nada más que sofismas y engaños”. Hay que recordar que el empirismo de Hume se basa en la suposición de que no es posible tener “ideas” de algo que no ha sido primeramente experimentado como una “impresión”. Toda impresión tiene una idea simple que le corresponde y viceversa, sin embargo, éste no es el caso de las ideas complejas debido a que éstas pueden ser construidas, por ejemplo, usando nuestra capacidad de imaginación a partir de percepciones simples (Grayling, 1998). Desde el punto de vista de Hume, puesto que los términos metafísicos no son el resultado de una impresión entonces ellos no se pueden referir a nada real. Pero, ¿es éste realmente el caso? ¿Podrían los términos metafísicos estar fundados en estados multiestables caóticos de nuestro cerebro? Si éste fuera el caso, los términos metafísicos podrían identificarse con estados físicos concretos de nuestro cerebro. Es importante señalar que esto no es un argumento a favor de la metafísica ni de la existencia y realidad de términos metafísicos, como “Dios” o “alma”, sino sólo del hecho de que dichos términos metafísicos, igual que cualquier otro término, pueden ser el resultado de estados y acciones físicas concretas de nuestro cerebro. Novedosas ideas filosóficas y científicas presentadas a continuación sugieren que esto podría ser así (Aboites, 2008). De este modo tanto los términos abstractos como los concretos de las ciencias y de las humanidades tendrían un origen común: el ser el resultado de estados multiestables caóticos de nuestro cerebro. Estas ideas adicionalmente podrían contribuir a cerrar la brecha que Snow (1959) identificó como la falta de comunicación de la sociedad moderna entre las dos culturas, la científica y la humanística. El propósito de este trabajo es explicar las ideas anteriores desde la perspectiva científica actual de la dinámica no lineal.

Es importante, primeramente, señalar que la discusión sobre filosofía de la mente distingue varios escenarios en relación a si es posible especificar el contenido de estados mentales basándose exclusivamen-

te en hechos sobre el cerebro de quien piensa, o si se deben de tomar en cuenta otras cosas como el ambiente que rodea al ente pensante (Chemero y Silberstein, 2008). Quienes piensan que la respuesta a la pregunta anterior es afirmativa se consideran internalistas, pues para ellos un sistema cognitivo se encuentra totalmente confinado en la cabeza de quien piensa. Por otra parte, aquellos que responden a la pregunta anterior negativamente son llamados externalistas. Ellos consideran que los sistemas cognitivos tienen una extensión espacial mayor que sus cerebros y pueden incluir a todo el cuerpo (Rumelhart *et al.*, 1986) e incluso al ambiente que rodea a dicho cuerpo (Gibson, 1979). Dentro de las diferentes posturas internalistas se tiene el enfoque “clásico” de inteligencia artificial (Fodor, 1975) que fundamentalmente supone que los sistemas cognitivos son computadoras cuya dinámica puede explicarse en términos de representaciones simbólicas y de reglas que determinan sus transformaciones. Otro enfoque llamado conexionismo (Churchland, 1989), considera que la mejor explicación de los sistemas cognitivos es subsimbólica y relacionada con áreas de actividad específicas del cerebro. Otra posibilidad (Bickle, 2003) sugiere que la mejor explicación de los sistemas cognitivos se encuentra en la actividad molecular de los neurotransmisores. Finalmente, otro enfoque para explicar los sistemas cognitivos, llamada dinámica en gran escala, consiste en analizar la dinámica neuronal global (Cosmelli, Lachaux y Thompson, 2007). En este artículo se trabaja bajo el supuesto de un modelo internalista, más aún, las conclusiones aquí obtenidas difícilmente se aplicarían a otros modelos.

El reduccionismo es una solución al problema de la relación existente entre diferentes ciencias. En *The Structure of Science*, Ernest Nagel (1961) afirma que “El reduccionismo es la explicación de una teoría o de un conjunto de leyes experimentales dentro de un área de conocimiento a partir de otra teoría en otro dominio”. El esquema general es el siguiente:

- T se reduce a T' si las leyes de T' son derivables a partir de las de T

En su forma más básica el reduccionismo establece que la naturaleza de cosas complejas se reduce a la naturaleza de la suma de cosas más simples o fundamentales. De este modo se enseña que la química se basa en la física, la biología se basa en la química, la psicología se basa en la biología, la sociología en la psicología, etc. Muchos ven en el reduccionismo la unidad de la ciencia. A pesar de que las dos primeras reducciones mencionadas son generalmente aceptadas, hay insatisfacción con el uso del reduccionismo para describir fenómenos mentales y esto a su vez ha conducido al análisis de propuestas no reduccionistas como, por ejemplo, el emergentismo. De acuerdo a Board (1929), “una cualidad emergente es una cualidad que pertenece a un agregado complejo pero no a sus partes”. Por tanto, una cualidad emergente no puede ser inferida aun a partir del más completo conocimiento de las propiedades y operación de las partes de un sistema.

Se ha argumentado (Morton, 1988; Horgan y Tienson, 1992; Port y Gelder, 1995; Combs, 1996; Newman, 1996, 2004) que hay una relación entre los fenómenos mentales y la teoría de caos, en particular que las propiedades mentales son propiedades caóticas emergentes del cerebro. Desde este punto de vista es en principio posible explicar las propiedades mentales a partir de términos físicos.

La evolución temporal de un sistema dinámico no-lineal n-dimensional está descrito por la ecuación vectorial:

$$dx/dt = f(x) \quad (1)$$

donde $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ es un vector de n-dimensiones en el espacio fase y $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$ es una función vectorial con componentes f_1, f_2, \dots, f_n . Toda solución x del sistema representa un

punto en el espacio fase cuya evolución en el tiempo describe una trayectoria. Un ejemplo bidimensional ($n = 2$) de un sistema dinámico es un oscilador armónico formado por una masa m y un resorte con constante restitutiva k con desplazamiento x alrededor de una posición de equilibrio y velocidad v , descrito por la ecuación diferencial:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k x = 0 \quad (2)$$

Para este caso el vector de espacio fase es $x = (x_1, x_2)$, el cual tiene elementos $x_1 = x$; $x_2 = v$. Para este ejemplo la ecuación vectorial que describe al sistema dinámico tiene componentes:

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (3.1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\omega^2 x \quad (3.2)$$

en donde por simplicidad se ha definido $\omega^2 = k/m$. A partir de un punto arbitrario (x_0, v_0) se puede en el espacio fase (x, v) ver gráficamente la trayectoria que el sistema dinámico describe en el tiempo. Para el caso $(x, v) = (0, 0)$ se tiene un “punto fijo” mientras que el péndulo en oscilación está descrito en el espacio fase como un círculo o elipse; toda trayectoria aislada y cerrada se conoce como “círculo límite”. Si el péndulo oscilara en un medio viscoso perdería energía y el lado derecho de la ecuación (2) no sería igual a cero, en este caso se tendría un sistema dinámico disipativo. Sistemas dinámicos en tres o más dimensiones (como muchos sistemas físicos, incluidas las redes neuronales) pueden generar en el espacio fase trayectorias muy complejas en donde se tiene cuasi-periodicidad y caos. En general se define “caos” como el comportamiento aperiódico a largo plazo en un sistema determinístico que es altamente sensible a las condiciones iniciales. Vale señalar que por “comportamiento aperiódico a largo plazo” se entiende que cuando $t \rightarrow \infty$ las trayectorias en el espacio fase no terminan en puntos fijos, órbitas estables o cuasi-periódicas.

Por “determinístico” se entiende que el sistema no tiene como entradas señales aleatorias o ruido, esto es, el comportamiento irregular del sistema ocurre debido a sus propias características no-lineales. Finalmente, por “altamente sensible a las condiciones iniciales” se entiende que trayectorias iniciales en el espacio fase muy cercanas evolucionan alejándose una de otra exponencialmente en el tiempo. Por último, es importante mencionar que un “atractor” en el espacio fase es un conjunto de trayectorias vecinas que convergen. Un punto fijo, un círculo límite y un atractor cuasi-periódico son ejemplos de atractores no caóticos. Sin embargo existe también el caso en que la trayectoria de un sistema dinámico converge a un atractor de dimensión fractal llamado “atractor extraño” y en este caso se tiene caos. De hecho, un sistema caótico es un sistema tal que su comportamiento a largo plazo puede ser descrito por un atractor extraño.

Dos ejemplos de fenómenos emergentes caóticos son los fluidos turbulentos y, desde luego, el clima. Desde un punto de vista microscópico un fluido turbulento se compone de una multitud de partículas en movimiento tales que las propiedades del fluido turbulento dependen de las propiedades de las partículas del fluido. Sin embargo, las propiedades del fluido turbulento no pueden determinarse a partir de las partículas individuales involucradas. Por tanto, las propiedades de un fluido turbulento son propiedades emergentes que dependen de las propiedades de las partículas que lo componen. Vemos que en este ejemplo el esquema general del reduccionismo anteriormente mostrado no se satisface, pues siendo T la teoría newtoniana del movimiento de partículas (basadas en las tres leyes de la dinámica de Newton) y T' la teoría de fluidos turbulentos (basada en las ecuaciones de Navier Stokes) no se sigue que las leyes de T' sean derivables a partir de las de T . Por lo tanto, el esquema reduccionista no se aplica y más bien se observa, como se señaló anteriormente, que las propiedades de un fluido turbulento son propiedades emergentes. De modo similar, y dado que el sistema nervioso central puede ser

descrito como un complejo sistema dinámico caótico, las propiedades mentales del cerebro dependen de las propiedades caóticas del sistema nervioso central. Debe enfatizarse que las propiedades emergentes no tienen nada de misteriosas, solamente que tenemos un acceso epistemológico limitado a ellas (la teoría emergente no propone entes misteriosos).

De acuerdo a Newman (1996) una definición más precisa de emergencia debe lograr cuatro cosas: 1) debe de hacer explícita la naturaleza de la restricción epistémica de nuestro conocimiento de una propiedad emergente, 2) debe de hacer explícito el rechazo al reduccionismo, 3) debe de dejar claro que una propiedad emergente depende de un conjunto de propiedades físicas y, 4) debe elucidar cómo una propiedad emergente puede ser explicada sin ser reducida a otras propiedades físicas y sin violar las restricciones anteriores. Con el propósito de lograr estos objetivos se propone la siguiente definición (Newman, 1996): una propiedad designada por un predicado P en una teoría ideal T es emergente si y sólo si las siguientes condiciones son satisfechas:

- 1) T describe una clase de sistemas CS cuyos agregados estructurales son entidades descritas por T' (donde T' es una teoría ideal de esas entidades) y las entidades descritas por T dependen de las descritas por T'.
- 2) Acontecimientos de la propiedad designada por P son epistémicamente imposibles de identificar con acontecimientos de cualquier propiedad finitamente describable por T'.
- 3) Cada acontecimiento de la propiedad designada por P es un acontecimiento de un conjunto de propiedades CP que son modeladas por T'. Cada miembro de CP es epistémicamente indistinguible en T' de algunos otros CP.

Fundamentalmente, la primera parte evita que las definiciones anteriores sean aplicadas a propiedades misteriosas. La segunda parte

evita la reducción de T a T' . La parte tres garantiza que la propiedad P sea explicable solamente por referencia a la clase de propiedades básicas que la satisfacen.

Una explicación simplificada del argumento que conduce a la conclusión de que cualquier sistema dinámico en la zona de atracción de un atractor extraño tiene una propiedad emergente es la siguiente: puesto que la teoría de caos se aplica a teorías físicas bien establecidas (*e.g.* mecánica clásica y cuántica, electromagnetismo, termodinámica y fluidos, etc.) (1) se satisface. Por otra parte, puesto que un sistema caótico tiene una dependencia sensible a las condiciones iniciales, esto introduce una limitación epistémica fundamental así como impredecibilidad. Las mediciones pueden sólo determinar el estado fase con precisión experimental limitada esencialmente haciendo imposible predecir cómo el sistema evolucionará. Debe de ser enfatizado que la impredecibilidad es epistémica y no metafísica. Aun conociendo el sistema con el que tratamos, la dependencia sensible a las condiciones iniciales evita la predicción de cualquier propiedad. También la dependencia sensible a las condiciones iniciales y nuestra limitada precisión en las mediciones experimentales evita que podamos determinar la evolución del sistema caótico. Por otra parte, las zonas de atractores coexistentes en sistemas multiestables no pueden ser identificadas o asociadas con las propiedades físicas específicas del sistema. Por tanto, (2) y (3) también se satisfacen. Como resultado, cualquier sistema dinámico en la zona de atracción de un atractor extraño posee propiedades emergentes. Aún más, podemos añadir que cualquier sistema dinámico con atractores caóticos coexistentes posee una propiedad emergente.

Los sistemas dinámicos multiestables son muy complejos debido a la interacción entre atractores. Esto introduce nuevas características a las ya conocidas en sistemas caóticos tradicionales. Adicionalmente a una alta sensibilidad a las condiciones iniciales, las zonas de atracción en el espacio fase de los sistemas multiestables pueden

mezclarse de formas muy complejas. También el pequeño cambio de un parámetro puede producir un cambio en el número de atractores coexistentes. Ellos pueden aparecer y desaparecer.

Investigación neurológica y con circuitos electrónicos ha mostrado evidencia de que el cerebro puede ser descrito como un complejo sistema caótico multiestable. La primera evidencia experimental de multiestabilidad se obtuvo en experimentos en física de láseres (Arcchi *et al.*, 1982). La multiestabilidad ha sido considerada como un mecanismo para explicar el almacenamiento de memoria y el reconocimiento de patrones (Hertz *et al.*, 1991; Canavier *et al.*, 1993). Se han encontrado atractores caóticos en encefalogramas (Basar, 1990), en el comportamiento de membranas nerviosas (Aihara, 1997) y se han implementado circuitos analógicos digitales para describir sistemas neuro-computacionales caóticos (Horio *et al.*, 2002). La multiestabilidad se encuentra frecuentemente en sistemas acoplados (Kaneke *et al.*, 1993) y en sistemas con retraso en retroalimentación (Martínez *et al.*, 2003; Balanov *et al.*, 2005). Puesto que el cerebro puede ser simulado como un sistema compuesto por un gran número de neuronas acopladas con retraso en retroalimentación no es sorprendente encontrar multiestabilidad (Foss y Milton, 2000).

Por otra parte, la presencia de ruido fuertemente incrementa la complejidad de los sistemas dinámicos. El ruido puede producir saltos complejos entre atractores coexistentes (Souza *et al.*, 2007) llamados saltos de atractor inducidos por ruido. Este fenómeno es particularmente importante en niveles de ruido bajos e intermedios. Hay suficiente evidencia experimental que muestra la importancia del ruido en la actividad cerebral. Recientemente se ha mostrado que utilizando ruido o perturbación de parámetros la multiestabilidad puede ser controlada (Saucedo y Aboites, 2002; Pisarchik y Goswami, 2000; Reategui, 2004).

El anterior trabajo de investigación fuertemente sugiere que hay mucho más que explorar. Por ejemplo, experimentos en percepción

visual sugieren que los conceptos visuales fuertemente dependen de las condiciones iniciales (Atteneave, 1971). La analogía puede extenderse aún más, se puede argumentar que la forma en que cada persona interpreta al mundo, su *Weltanschauung*, también depende de las condiciones iniciales de su vida, *i.e.* del ruido interno y externo y de las condiciones iniciales de nuestros cerebros. Si la actividad mental es una propiedad emergente del cerebro, viendo a éste como un sistema caótico, entonces los estados cerebrales pueden ser el resultado de señales o ruido interno o externo. Por tanto, diferentes estados cerebrales o atractores caóticos coexistentes en sus zonas de atracción estarían vinculados, por ejemplo, a términos lingüísticos como “gato”, “dolor”, “rojo”, “Dios”, o cualquier otro. Se podría preguntar cuál sería la diferencia del estado cerebral asociado a las palabras “gato” o “Dios” y la respuesta es: fundamentalmente ninguna. Ambos estados serían el resultado de un proceso físico neuronal que genera un estado mental o atractor extraño. De este modo, la investigación filosófica, como cualquier otra actividad mental que hace uso de conceptos, sería descrita en términos exclusivamente físicos. Por tanto, cualquier término físico o metafísico sería, desde el punto de vista de la dinámica no-lineal, nada más que el resultado de un atractor o conjunto de atractores generados en nuestro cerebro. Los términos metafísicos serían no más etéreos que cualquier otro término referido al mundo físico puesto que ambos son producidos en nuestro cerebro del mismo modo. Las condiciones iniciales y el ruido pueden ser la clave para comprender la generación y el manejo de diferentes conceptos por nuestro cerebro. Esto podría ser lo que Greenfield (2007) ha descrito como ese “proceso especial del cerebro” que permitirá explicar la conciencia. Se debe subrayar que esta propuesta no afecta, de hecho ni siquiera toca, la discusión sobre la realidad o irrealdad de la metafísica y sus términos, pues sólo se propone que todos los términos, físicos y metafísicos, tienen un origen físico común.

La explicación científica de la mente y de la conciencia es posiblemente el más grande reto científico de la humanidad. El autor confía en que una investigación futura eventualmente lo explicará, aunque esto implique cambios en nuestros paradigmas reduccionistas del mundo.

Bibliografía

- Aboites, Vicente, 2008, "Multistable chaotic dynamical systems and philosophy", en *International Journal of Bifurcation and Chaos*, núm. 18, pp. 1821-1824.
- Aihara, Kazuyuki, 1997, "Chaos in neural networks", en C. Grebogi y J. A. Yorke (eds.), *The Impact of Chaos on Science and Society*, United Nations University Press, Nueva York, pp. 110-126.
- Arecchi, Tito F. *et al.*, 1982, "Experimental evidence of subharmonic bifurcations, multistability and turbulence in a Q-switched gas laser", en *Phys. Rev. Lett.*, núm. 49, pp. 1217-1220.
- _____, 2004, "Chaotic neuron dynamics, synchronization and feature binding", en *Physica A*, núm. 338, pp. 218-237.
- Astachov, Vadim, *et al.*, 2001, "Multistability formation and synchronization loss in coupled Hénon maps", en *Phys. Rev. E*, núm. 63, pp. 56-212.
- Atteneave, Fred, 1971, "Multistability in perception", en *Sci. Amer.*, núm. 225, pp. 62-67.
- Ayer, Alfred Jules. (ed.), 1966, *Logical Positivism*, The Library of Philosophical Movements, Col. The Free Press, Glencoe.
- Balanov, Alexander, N. Janson y E. Scholl, 2005, "Delayed feedback control chaos: Bifurcation analysis", en *Phys. Rev. E*, núm. 71, 16222.
- Basar, Erol, 1990, "Chaotic dynamics and resonance phenomena in brain functions", en *Chaos in Brain Functions*, Springer, Berlín, pp. 1-30.
- Bickle, John, 2003, *Philosophy and Neuroscience: A Ruthlessly Reductive Account*, Kluwer Academic, Dordrecht.
- Broad, Charly Dunbar, 1929, *The Mind and Its Place in Nature*, Brance, Nueva York.

- Canavier, Carmen *et al.*, 1993, “Nonlinear dynamics in a model neuron provide a novel mechanism for transient synaptic inputs to produce long-term alterations of postsynaptic activity”, en *J. Neurophysiol.*, núm. 69, pp. 2252-2257.
- Carnap, Rudolf, 1932, “Überwindung der Metaphysik durch logische analyse der Sprache”, en *Erkenntnis*, núm. 2, pp. 219-241.
- Chemero, Anthony y Michael Silberstein, 2008, “After the philosophy of Mind: Replacing Scholasticism with Science”, en *Philosophy of Science*, núm. 75, pp. 1-27.
- Churchland, Paul, 1989, *A Neurocomputational Perspective*, MIT, Cambridge.
- Combs, Allan, 1996, “Consciousness: Chaotic and Strangely attractive”, en W. Sulis y A. Combs (eds.), *Nonlinear Dynamics in Human Behaviours*, World Scientific, Singapur, pp. 401-411.
- Cosmelli, Diego, Jean Paul Lachaux y Evan Thompson, 2007, “Neurodynamics of Consciousness”, en P. D. Zelazo (ed.), *The Cambridge Handbook of Consciousness*, CUP, Cambridge, pp. 730-770.
- Fodor, Jerry, 1975, *The Language of Thought*, Harvard University Press, Cambridge.
- Foss, Jennifer y John Milton, 2000, “Multistability in recurrent neural loops arising from delay”, en *J. Neurophysiol.*, núm. 84, pp. 975-985.
- Gibson, James, 1979, *The Ecological Approach to Visual Perception*, Erlbaum, Hillside.
- Grayling, Anthony Clifford, 1998, “The empiricists”, en *Philosophy 1*, Oxford University Press, Oxford.
- Greenfield, Stephen, 2007, “How does consciousness happen”, D. C. Koch y S. Greenfield (eds.), *Sci. Amer.*, 10, pp. 55-57.
- Hertz, John, Anders Krogh y Richard Palmer, 1991, *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Addison-Wesley, Nueva York.
- Horgan, Terence y John Tienson, 1992, “Cognitive systems as dynamical systems”, en *Topoi*, núm. 11, pp. 27-43.
- Horio, Yoshihiko y Aihara Kazayuki, 2002, “Chaotic Neuro-Computer”, en G. Chen y T. Ueta (eds.), *Chaos in Circuits and Systems*, World Scientific, Singapur.

- Hume, David, 1748, *Enquiry Concerning Human Understanding*, Oxford Philosophical Texts, Oxford.
- Jaimes Reategui, Rider y Alexander N. Pisarchik, 2004, "Control of on-off intermittency by slow parametric modulation", en *Phys. Rev. E.*, núm. 69, 067203.
- Kaneko, Kunihiko (ed.), 1993, *Theory and Applications of Coupled Map Lattices*, Wiley, Nueva York.
- Martínez-Zerega, Brenda E., Alexander N. Pisarchik y Lev Tsimring, 2003, "Using periodic modulation to control coexisting attractors induced by delayed feedback", en *Phys. Lett. A.*, núm. 318, pp. 102-111.
- Morton, Adam, 1988, "The chaology of mind", en *Analysis*, núm. 48, pp. 135-142.
- Nagel, Ernest, 1961, *The Structure of Science*, Routledge and Kegan Paul, Londres.
- Newman, David V., 1996, "Emergence and strange attractors", en *Philos. Sci.*, núm. 63, pp. 245-261.
- _____, 2001, "Chaos, emergence and the mind body problem", en *Austral. J. Philos.*, num. 79, pp. 180-196.
- _____, 2004, "Chaos and qualia", en *Essays in Philos.*, núm. 5, pp. 1-22.
- Pisarchik, Alexander N., 2001, "Controlling the multistability of nonlinear systems with coexisting attractors", en *Phys. Rev. E.*, núm. 64, 046203.
- _____, y Bidyut Krishna Goswami, 2000, "Annihilation of one of the coexisting attractors in a bistable system", en *Phys. Rev. Lett.*, núm. 84, pp. 1423-1426.
- Port, Robert F. y Timothy Van Gelder (eds.), 1995, *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition*, MIT-Bradford, Cambridge.
- Rumelhart, David *et al.*, 1986, "Schemata and Sequential Thought Processes in PDP Models", en *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, vol. 2, MIT, Cambridge, pp. 7-57.
- Saucedo, José y Vicente Aboites, 2002, "Shift of critical points in the modulated Hénon map", en *Phys. Lett. A*, núm 304, pp. 21-29.
- Snow, Charles P., 1959, *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, Canto, Londres.
- Souza, Silvio de *et al.*, 2007, "Noise-induced basing hopping in a vibro-impact system", en *Chaos Solit. Fract.*, núm 32, pp. 758-767.