

Evolución y neurociencias: NEUROBIOLOGÍA, FILOGENIA Y TEORÍA DEL CAOS*

Juan Carlos Gallego Gómez**

Resumen

Este artículo es una aproximación multidisciplinar, basada en los fundamentos de la teoría del caos, evolución del cerebro humano y la sistemática filogenética, para intentar contribuir al estudio del cerebro humano en condiciones normales y patológicas, evaluando la posible utilidad de esas disquisiciones en la cotidianidad de la docencia y práctica psiquiátricas. Se expone aquí que el funcionamiento cerebral se puede entender mejor desde la perspectiva de la dinámica no lineal e indeterminista de la teoría del caos, la cual permite una aproximación a fenómenos tan complejos como el origen de la inteligencia, el afecto y la enfermedad mental. Finalmente, se plantea que la metodología de la filogenética puede ser una herramienta útil que aportaría elementos para la nosología de las enfermedades mentales y eventualmente ayudaría a una comprensión más integral de éstas.

Palabras clave: neurobiología, evolución, caos, filogenética, epistemología.

Title: Evolution and neuroscience. Neurobiology, Phylogenetics and Chaos Theory

Abstract

The following proposal is a multidisciplinary approach using the fundamentals of chaos theory, evolution of the human brain and phylogenetic systematics to try to contribute to the study of the human brain in normal and pathological conditions, evaluating the potential use of these disquisitions in teaching and psychiatric practice. It is exposed here that the functioning of the brain can best be understood from the viewpoint of the non-linear and undeterministic dynamics of chaos theory, possibly explaining the origins of intelligence, mood and mental disorders. Finally, as a new contribution it is postulated that the methodology of phylogenetics could be a useful tool for the classification of mental disorders also helping to comprehend them better.

Key words: Neurobiology, evolution, chaos, phylogenetics, epistemology.

* Este documento es de carácter netamente personal; por lo tanto, no compromete los intereses y políticas de la institución académica ni del grupo de investigación a los cuales pertenezco.

** Biólogo genetista de la Universidad del Valle. Doctorado en Biología Molecular del Centro Nacional de Biotecnología Madrid (España). Investigador del Grupo de Immunovirología de la Sede de Investigaciones Universitarias (SIU), Universidad de Antioquia. Profesor del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Medicina Universidad de Antioquia, Medellín (Colombia).

La ciencia del siglo XX aportó una gran cantidad de información estructurada en hipótesis y teorías, que han sido obtenidas de la interacción del sujeto-sociedad cognoscente con el ámbito óptico (la “realidad observable” de todas cosas y seres). Sin embargo, tal vez lo más relevante de los últimos cincuenta años es que distintas disciplinas científicas aportan datos que nos hacen un tanto escépticos ante la visión de la realidad como algo objetivo.

La realidad descrita y estudiada por los seres humanos es apenas una ventana temporal y espacial del mundo y universo existentes (1),(2). El cerebro humano, al detectar y analizar datos del entorno en un espectro limitado de posibilidades, nos está revelando una realidad fragmentaria y, al parecer, por el complejo procesamiento e interrelación del sujeto cognoscente con el entorno, no observamos una realidad, sino que la construimos (1) (3), (4),(5) . Por lo tanto, la realidad no es algo objetivo que está ahí fuera y describimos, no se conoce ni se observa, más bien considerada con cierto rigor la realidad se construye. Lo que supuestamente observamos como una realidad externa a nosotros no es tal, surge como producto de la interacción de un cerebro moldeado histórica, social, psicológica y ontogenéticamente con el mundo cognoscible.

En este sentido, la ciencia fáctica —que construye la realidad basada

en hechos verificables y contrastables (2)— es una forma bella y elegante de perpetrar nueva información o generar conocimiento (1),(6). No obstante, el complejo mente-cerebro es un andamiaje particular para concebir ideas que se constituye en un obstáculo epistemológico (7) a la hora de acceder a realidades alternas. En mi práctica profesional puedo decir que he podido generar conocimiento nuevo en el terreno de la virología (8), y en cooperación con neurobiólogos (9), pero esto sólo es un fragmento de las posibilidades que tiene la realidad. Sin olvidar esta falencia, intento aproximarme al complejo sistema del cerebro humano y qué tanto se podría deducir tanto en condiciones normales como en condiciones patológicas.

Otra característica de esta construcción de la realidad científica es que cada vez resulta más rica y compleja (3),(4),(5),(10) y que accedemos a nuevos datos que al ser plasmados en nuevas aplicaciones (tecnología) generan, a la vez, nuevos resultados de los cuales obtenemos a su vez más información (11). Es innegable, por ejemplo, que la imagenología del cerebro por resonancia de emisión de positrones nos revela detalles funcionales que no son posibles con una radiografía o un electroencefalograma. Del mismo modo, la microscopía electrónica develó secretos de la ultraestructura celular antes desconocidos, pero la biología molecular nos muestra un panora-

ma mucho más complejo y nos capacitó para intervenir en las moléculas y genes que gobiernan los principios celulares.

Es válido preguntarse a estas alturas, ¿podremos reducir el pensamiento, la memoria y los sentimientos a algunos de estos esquemas del positivismo lógico? ¿Por qué razón somos susceptibles a lo que Freud denominó la transferencia? En una estrecha relación de pareja o de paciente-psiquiatra, ¿los individuos pueden de cierta forma estar tan relacionados que fluya en una de las personas claramente la angustia o la depresión del otro? Si no es posible reducir el afecto a un modelo de la ciencia convencional, por lo tanto, ¿no será éste un hecho verificable? Popper lo planteaba de este modo (2); sin embargo, estos planteamientos son complejos, y tal vez la explicación subyace en teorías e hipótesis convergentes de varios campos científicos.

Todas estas disquisiciones no apuntan a un científicismo, en el cual los hechos del ámbito humano, al no ser cuantificables y reducibles a un modelo positivista lógico, son negados como datos objetivos y contrastables. Este ensayo pretende mostrar cómo la vida desde su origen se ha diversificado en miles de millones de especies y ha generado seres encefalizados que al final tienen conciencia, afecto e inteligencia. Además, intenta ilustrar que las caracte-

terísticas más humanas como la felicidad, el amor, o la tristeza son datos útiles para generar hipótesis de trabajo de carácter científico, así como para impulsar la neurociencia y tal vez la psiquiatría hacia un camino fértil muy poco explorado.

Aunque mi quehacer cotidiano consiste en esclarecer fenómenos celulares y moleculares usando modelos virales, un universo ciertamente reduccionista, aunque muy útil en verdad, no lo concibo como una herramienta poderosa para esclarecer fenómenos complejos de gran envergadura, como el cerebro humano, los ecosistemas o la enfermedad. Es cierto que los últimos avances de la ingeniería genética son fascinantes, y causa una sensación maravillosa tener entre las manos un genoma recombinante manipulado en el laboratorio, pensando en el potencial preventivo o terapéutico que pueda tener. No obstante, trabajos como “biología molecular de la memoria” son pedantes e ingenuos, como pensar que se pueden resolver los problemas de hambre del tercer mundo haciendo genómica y proteómica (12).

Parece que existe una realidad más profunda escondida en estos hallazgos, los cuales deben ser concebidos como tal: simplemente hechos fragmentarios de una teoría más grande y unificadora, al estilo de Bertalanffy (11). Si un gen cifra una proteína, y ésta a su vez está relacionada parcialmente con el fenotipo

o alguna función, no estamos en capacidad de reducir la fisiología a una molécula. Un gen es un fragmento informativo del lenguaje de la vida, pero no es la vida, del mismo modo que un virus (un saquito de proteínas que trae malas noticias, genes patogénicos) puede que no sea un ser vivo.

Las especies biológicas pueden concebirse como genomas diferencialmente empaquetados (13),(14),(15) que surgieron durante la evolución. El chimpancé y el humano son dos especies fenotípicamente distintas; sin embargo, sus genomas son muy parecidos (16). ¿Qué nos hace tan diferentes entonces? Llevando al extremo la comparación: un individuo 'normal' brillante, triunfador y con un encanto social grande es bien distinto de su hermano narcisista, manipulador y megalomaniaco; el genoma de estos hermanos es mucho más parecido entre sí que los del mono o de cualquier otro hombre. Por lo tanto ¿dónde reside la diferencia? Con esto espero dejar explícito que la biología molecular y celular no nos darán las respuestas. La conjunción de muchísimos genes (genómica) y proteínas (proteómica), nos pueden aproximar a un terreno más amplio, pero tal vez no expliquen a cabalidad la enfermedad orgánica o mental. Cuando se aplica un psicofármaco se está modulando una parte del sistema complejo del cerebro humano, para disminuir el displacer y mejorar en

términos generales el funcionamiento del paciente. Con esta estrategia, ¿será que sí estaremos logrando una erradicación del problema? El mundo mental de los humanos es una realidad extremadamente compleja, y tal vez sea el momento de abrirse a distintas teorías del ámbito científico, de esta forma se puede lograr una neurociencia como su nombre lo dice: una ciencia integral del cerebro y sus funciones que abarque el saber y el hacer de distintos campos.

Tan compleja es la realidad que a veces nos abrumba, por ejemplo, un sujeto alterado por esquizofrenia construye una realidad tan extraña que muchos investigadores (17) por años se han dedicado a descifrar la estructura de sus discursos alucinatorios. Pero para sorpresa de muchos en los últimos años se ha descubierto que estructuras sumamente complejas como los fractales pueden ser generadas basándose en una ecuación reiterativa: el resultado del algoritmo es usado de forma repetida una y otra vez en un bucle, cuyo producto final explica y genera (por computador) lo que es un fractal (3),(4). Lo más importante es que esta forma distinta de construir la realidad con una nueva matemática (teoría del caos) parece ser mucho más frecuente de lo esperado (10).

La gran mayoría de los eventos naturales no sigue las matemáticas rígidas y predecibles, sino que se ajusta más a los parámetros del

indeterminismo, del caos y de la complejidad (6). Los términos parecen intimidatorios y superlativos, pero no hay tal, detrás de él hay una elegancia y simplicidad matemáticas como las mejores teorías de la ciencia, según el principio de la cuchilla de Occam (6): ante varias explicaciones para un fenómeno, siempre se escoge la más simple y con menos pasos.

Desde hace unos 400 años se venía intentando acomodar la compleja realidad a simples ecuaciones newtonianas (cálculo diferencial e integral), así como los frenólogos luchaban por acomodar los caracteres a la forma del cráneo, y si el comportamiento específico era muy marcado, pues resaltaban una protuberancia no evidente en la tabla craneana (8). La tendencia a adoptar modelos deterministas en el origen de la sociedad burguesa puede haber sido una legitimación de un nuevo poder económico (18); por lo tanto, no es gratuito esta inclinación nuestra a explicaciones unidireccionales de causa-efecto.

Con el advenimiento, por un lado, de los computadores y de *software* cada vez más poderosos y versátiles y, por otro, de la teoría de la información, ¿podremos acomodar la explicación del complejo sistema mente-cerebro a las teorías del caos y de la complejidad? Esta conjetura es admisible en el contexto histórico actual, pero muy probable-

mente en un futuro sea una falacia... o, incluso, ahora mismo. Según historiadores, las teorías de Freud sobre el Ello, el Yo y el Superyó, como estructuras compartimentadas entre las cuales fluía la energía libidinal, se postularon en un momento cuando andaban en boga los avances de la hidráulica y sus aplicaciones eran una realidad cotidiana. Por la misma época se plantearon los principios de la entropía, la termodinámica (Boltzmann) y el electromagnetismo (Maxwell). Tal vez si Freud hubiera conocido estos hallazgos, el psicoanálisis habría sido muy distinto al planteado originalmente.

Estos argumentos del influjo de los hechos históricos sobre la estructuración de la realidad psicosocial ya fueron admirablemente planteados por Isaac Asimov en la clásica saga de ciencia ficción de las fundaciones (19). El mundo de las ideas (tercer mundo de Popper) (20) es aquella otra realidad ya inmersa en la cotidianidad de la humanidad, y tenemos un reflejo concreto y 'palpable' de este mundo, como lo es el ciberespacio (21) virtual de la informática e internet.

El origen de las teorías más novedosas de la ciencia (relatividad, origen de las especies y estructura de la materia, por ejemplo) puede ajustarse en el cerebro de sus creadores a los patrones de la matemática indeterminista de la teoría del caos:

... basándose en las condiciones iniciales de un sistema es impredecible el resultado final, y una vez el sistema arranca mínimos cambios suelen producir alteraciones finales de gran calibre, por lo cual también se conoce como teoría de las catástrofes (10). Es decir, los elementos iniciales (datos) con que contaban estos pensadores no eran tantos como para sospechar el resultado final tan grande (teorías).

Subyacente a los fenómenos naturales existe, tal vez, una estructura informática que la ciencia potencialmente puede describir mediante hipótesis, teorías y leyes. Sin embargo, tal estructuración no implica el orden divino de los científicos griegos o renacentistas. Resulta que por la gran cantidad de elementos participantes en la formación de sistemas que interactúan con otros, que generan sistemas de sistemas, no es posible entender las leyes que gobiernan este universo basándonos únicamente en métodos deterministas (6). Parece que la organización del mundo natural es apenas una apariencia, una ventana temporal estrecha de orden, producida por una larga historia de fenómenos azarosos e impredecibles, más acordes con la matemática de la teoría del caos: los eventos novedosos emergen abruptamente de un caldo de desorden (entropía) y la interacción de muchos elementos, cuando las condiciones del sistema toman un curso (dado por una dinámica reiterativa), se torna

irreversible y genera una estabilidad temporal que logra la mínima entropía (6).

Por ejemplo, la explosión cultural (arte rupestre y rituales funerarios) acaecida en los humanos primitivos hace unos sesenta o treinta mil años puede ajustarse a este patrón. Pasaron un millón y medio de años y no se evidenció ningún indicio de arte, religión o técnicas mejoradas, pero en unos pocos miles de años, de un momento a otro, llegó un *big bang* de novedosos utensilios y manifestaciones artísticas (22). El sustrato orgánico posiblemente ya existía, había sistemas de circuitos neuronales reiterativos para actividades sociales, conocimiento de historia natural (caza, recolección, recursos ecológicos) y técnicas, pero tal vez estaban desconectados entre sí (22). El conjunto inicial de estos tres sistemas, que funcionaban al modo de las ecuaciones reiterativas, consiguió saltar el límite entre ellos, los conectó y logró por ello un sistema de sistemas más parecido al cerebro humano actual.

Las teorías convencionales abogan por un establecimiento de relaciones entre los elementos de los sistemas, sin embargo, la especulación presentada aquí, aunque aparentemente similar, tiene una diferencia importante que es al mismo tiempo su bondad: los límites entre sistemas establecidos no se rompen fácilmente, existe una tendencia a la

autoorganización en los sistemas vivos lograda con entrada de energía, la vida es antientrópica (6), y, por ello, la desestabilización foránea usualmente produce fracturas internas drásticas, que amenazan la integridad del sistema como un todo. Los límites se rompen, entonces, haciendo puentes entre sistemas por una desestabilización interna basada en la dinámica reiterativa. El cambio viene de adentro, subyace en las leyes que describen los sistemas.

La idea es que los sistemas complejos que siguen parámetros reiterativos (como los fractales) en su devenir histórico pueden interaccionar con sistemas vecinos, y al final transferir su información (todas las variables y las ecuaciones que los definen) hacia sus vecinos, teniendo como resultado un sistema de sistemas que cumple unas nuevas leyes, o tan conocidas últimamente como *emergencias*. Un aparente desorden generalizado tiene focos temporales y espaciales de orden, éste es el punto: emerge algo nuevo que nosotros los humanos cognoscentes podremos describir y llamar proteínas, genes, organismos, especies, ecosistemas, mente, afecto, amor o alegría.

Según esta perspectiva, el cerebro humano podría funcionar basándose en circuitos neuronales reiterativos, que siguen los principios de las ecuaciones de la teoría del caos, que se originaron posiblemente desde la época de los *Australopithecus* para

los engramas corticales más recientes, y desde épocas mucho más primitivas para funciones vitales y de supervivencia —en consonancia con los postulados de Paul McLean del cerebro trino (1),(22), que plantean que tenemos partes de cerebro de reptil, de mamífero y de primate—. La peculiaridad individual de estos circuitos neuronales reiterativos surge de una feliz coincidencia del sustrato orgánico (cerebro y fenotipo particular), entorno social y familiar, y el momento histórico en que se desarrolla la persona. Existen algunos trabajos que usan la metodología de la teoría del caos para comprender el cerebro, y arrojan datos interesantes en la electrofisiología e incluso en cuanto a los procesos de conciencia (14), (16).

Los sistemas de circuitos neuronales reiterativos no son regiones específicas del encéfalo, pueden ser las conexiones, por ejemplo, de la corteza prefrontal hasta los núcleos dorsomedial y ventral del tálamo, desde ahí, a partes del cínculo y otros elementos del sistema límbico. Distintas regiones tienen su propia historia filogenética, el sistema límbico más primitivo tiene circuitos necesarios para la supervivencia y reproducción (14),(16). Existe un sensorio encargado de percibir la información del medio externo e interno, los órganos de los sentidos en los primates y otros vertebrados, que se encargan de llevar esta información

a regiones centralizadas del sistema nervioso. Luego hacen un relevo antes de llegar a otros centros de procesamiento e interpretación. Pues bien en cada uno de estos puntos de procesamiento existen microcircuitos neuronales reiterativos.

Cuando los primeros homínidos, por ejemplo, tuvieron la necesidad de conectar sistemas de supervivencia naturalista (conocer los sitios adecuados para la consecución de recursos) con los sistemas de supervivencia técnica (habilidades para desarrollar utensilios de caza) (22), se fue estableciendo un puente de información entre estos dos circuitos. Esto generó un nuevo sistema de sistemas a partir de sus propiedades emergentes novedosas, las cuales, si tenían influjo en la selección (un cazador armado de una buena herramienta tiene más alimento que los demás), se podría fijar el carácter fenotípico en el acervo génico. No es una herencia de caracteres adquiridos, simplemente las variantes genéticas en los homínidos que podrían establecer el puente dejaron más descendencia, y fueron reemplazando a las otras variantes genéticas que 'no lograron' hacer el puente informativo, por lo tanto, al cabo de miles de años el fenotipo predominante era un homínido con sus circuitos neuronales reiterativos conectados.

El origen de estas novedades evolutivas (16) se podría entender mejor desde la perspectiva de la matemá-

tica no lineal de la teoría del caos: es muy difícil explicar el afecto basándose en los rudimentos biológicos de los instintos, más bien la conjunción de fenómenos reiterativos de instinto, la necesidad de dejar descendencia, la mayor cantidad de interacciones sociales, la lucha por los recursos y un ambiente altamente cambiante (como fueron los períodos intermitentes de glaciación) (22) fueron los que generaron un sistema nuevo tan complejo como el cerebro humano con su capacidad de interpretar y procesar información afectiva compleja.

Curiosamente el origen de las especies biológicas también cabe en esta dinámica de la teoría del caos, ¿por qué el registro fósil no es gradual? ¿Cuál es la razón para que no encontremos todos los pasos intermedios entre una especie y otra? Ésta es una realidad de la paleontología, y se denomina la *teoría del equilibrio puntuado* (16), donde la evolución hace saltos (como la mecánica cuántica) (1) y los cambios no son graduales. ¿Por qué pasaron miles de millones de años desde el origen de la vida y de un momento a otro sucedió la explosión del cámbrico, con la aparición de miles de formas vivientes? ¿Por qué un individuo en sus primeros veinte años de vida que modula afecto normalmente y que tiene un curso de pensamiento acorde con los cánones sociales y familiares de un momento a otro empieza con alucinaciones, afecto plano

y deterioro de su intelecto? O en condiciones normales, ¿por qué un chico adolescente tiene dificultad para las matemáticas, y cuando menos se lo espera le llegan las operaciones formales y lo complejo se torna simple?

No requerimos todo un formalismo matemático y una sofisticada tecnología para demostrar que la pérdida de un ser querido genera una tormenta emocional de tristeza (duelo) en casi cualquier ser humano abocado a esta dura situación. Una realidad sentida/sufrida así por cualquier humano no puede ser relegada al saco de datos no fácticos sin valor científico. Pues bien, el estudio de la diversificación de las especies biológicas se hace mediante un aparato matemático multivariante conocido como *sistemática filogenética*, que arma los árboles de las relaciones ancestro-descendiente basándose en todos los caracteres fenotípicos posibles (13),(15). Tal vez por la magnitud y complejidad del problema en cuestión (cerebro y mente), en la psiquiatría se podría plantear una modificación similar.

Lo que requerimos es una sistematización internacional de estos datos; encontrar un formalismo estable que no se modifique con cada nueva edición del DSM y que no haya lugar a dudas en el diagnóstico diferencial; alejarnos de los discursos equívocos y no operativos de filosofías redundantes, y enfrenar esto

como un problema de investigación de gran envergadura, para lo cual se necesitan métodos resolutivos y no descriptivos. Un conflicto similar tuvieron los taxónomos naturalistas de toda la historia, hasta que Karl von Linné inventó un código (claves taxonómicas) para acometer la identificación de especies animales y vegetales. Desde hace más de 250 años se viene utilizando, y durante este tiempo ha demostrado su poder resolutivo y de identificación. Con los nuevos avances de la genética molecular, bioquímica y ecología matemática se han afinado los métodos taxonómicos (25), pero el pilar original de la clasificación en términos generales continúa siendo válido.

Una idea importante en el terreno de la biología y el comportamiento humano (sano y patológico) consiste en que nosotros estamos en capacidad de desentrañar alguna(s) de las rutas informativas que se esconden en tan complejos procesos, de cambiar la manera de describir la conducta humana y encontrar mediante un método matemático novedoso (multivariado o modelos no lineales) alguna manera de entender la inmensa complejidad de la mente. Otros terrenos del conocimiento han aplicado modificaciones sustanciales a sus formas de acceder a los datos y al final se han llevado grandes y agradables sorpresas.

Para ello debemos entender que el origen de los humanos, de la con-

ciencia, de la religión, del arte y de la ciencia es un producto no esperado de la evolución, pero que explica gran parte de las preguntas primarias (quiénes somos, de dónde venimos y, tal vez, hacia dónde nos dirigimos), aunque siempre se debe tener en mente que la evolución misma es un proceso que puede haber sido encendido y mantenido en una dinámica reiterativa no lineal, es decir, que se puede estudiar mejor haciendo alusión a la teoría del caos.

Es posible que la enfermedad mental sea una manifestación evolutiva relativamente nueva, un acopio de todos los circuitos neuronales reiterativos que funcionan para descifrar y actuar ante una realidad cada vez más compleja, que al final lograron romper los puentes entre sistemas (difusión de información que busca el mínimo estado de entropía) y que produjeron unas emergencias descontextualizadas de la realidad social compartida (delirios y alucinaciones, por ejemplo).

¿Es posible que exista un sustrato orgánico demostrable en algunas psicosis o teorías virales de las enfermedades mentales? Pero una vez más esto es otra adquisición reciente: la vida en sociedad de los humanos con altos índices de crecimiento poblacional ha favorecido la diversificación y el surgimiento de nuevas variantes en agentes infecciosos (26). Con su etiología biológica, social o individual, la enferme-

dad mental sigue una dinámica similar a los sistemas caóticos: surge de forma más o menos abrupta y después de la crisis se establece un nuevo equilibrio con el entorno para buscar la mínima entropía interna, que logra una estabilidad difícil de cambiar. Que ese nuevo estado no concuerde con la realidad socialmente sentida y pensada por todos nosotros, así como por el psiquiatra de turno, es otra historia.

¿Cuál podría ser el futuro? Para la nosología psiquiátrica se puede postular un cambio de los parámetros para la clasificación de las enfermedades mentales: que se parta de una metodología matemática multivariante al modo de la filogenética y que se tomen todos los datos posibles de los cuadros psiquiátricos. Se pueden, además, estructurar árboles filogenéticos para determinar cuáles son las adquisiciones más recientes y cuáles, las más antiguas. Una vez se armen los primeros árboles filogenéticos o cladogramas estaremos tal vez en capacidad de afirmar que un trastorno obsesivo-compulsivo es un evento de cambio mayor o menor que una psicosis, o un trastorno de personalidad podría ser un cuadro más antiguo o más nuevo. Los términos antiguo y nuevo se usan para especificar cuál trastorno ha sufrido más cambios con respecto a un marco 'normal' filogenéticamente definido. Ésta podría ser la piedra en el zapato: cuál será nuestro mejor control de experimen-

tos, que en sistemática se conoce como el *outgroup* o grupo no relacionado con las especies que se van a clasificar. No obstante las inmensas dificultades que podría representar esta incursión en una novedosa metodología, el potencial que subyace en este ejercicio investigativo podría ser importante.

Bibliografía

1. Penrose R. La nueva mente del emperador. Barcelona: Grijalbo Mondadori; 1995.
2. Popper K. Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico. Buenos Aires: Paidós; 1979.
3. Briggs J, Peat FD. Espejo y reflejo: del caos al orden. Barcelona: Gedisa; 1994.
4. Dent EB. Complexity science: a worldview shift. *Emergence* 1999;1(4):5-19.
5. Popper K. El universo abierto: post scriptum a la lógica de la investigación científica. II. Madrid: Tecnos; 1986.
6. Wagensberg J. Ideas sobre la complejidad del mundo. Barcelona: Tusquets; 1985.
7. Bachelard G. La formación del espíritu científico, contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. Buenos Aires: Siglo XXI; 1983.
8. Gallego-Gómez JC, Risco C, Cabezas P, Guerra S, Rodríguez D, Carrascosa JL, et al. Differences in virus-induced cell morphology and in virus maturation between MVA and other strains (WR, Ankara and NYCBH) of vaccinia virus in infected human cells. *Journal of Virology* 2003; 77:10606-22.
9. Arango-Dávila C, Cardona-Gómez P, Gallego-Gómez JC, Escobar M, García - Segura LM, Pimienta H. Down-regulation of Bcl-2 in rat substantia nigra after focal cerebral ischemia. *Neuroreport* 2004; 15(9):1437-41.
10. Smith M. El caos, una explicación a la teoría. Madrid: Cambridge University Press; 2001.
11. Bertalanffy L von. Teoría general de los sistemas. México: Fondo de Cultura Económica; 1976.
12. Broder S, Hoffman SL, Hotez PJ. Cures for the Third World's problems: the application of genomics to the diseases plaguing the developing world may have huge medical and economic benefits for those countries and might even prevent armed conflict. *EMBO Re* 2002;3(9):806-12.
13. Avise JC, Wollenberg K. Phylogenetics and the origin of species. *Proc Natl Acad Sci* 1997;94:7748-55.
14. Dawkins R. El gen egoísta. Barcelona: Salvat; 1986.
15. Wiley EO, Siegel-Causey D, Brooks DR, Funk VA. The complete cladistics: a primer of phylogenetics procedures. Special Publication Kansas: The University of Kansas, Museum of Natural History; 1991.
16. Futuyma D. Evolutionary biology. 3rd ed. Washington: Sinauer Associates; 1997.
17. Lacan J. Seminarios. Buenos Aires: Paidós; 1972.
18. Lewontin RC, Rose S, Kamin LJ. No está en los genes, crítica del racismo biológico. Barcelona: Grijalbo Mondadori; 1996.
19. Keane JF. Piggy and the eternal city: science fiction as testing ground for new management theory. *Emergence* 1999; 1(4):20-42.
20. Popper K. Conocimiento objetivo. Madrid: Tecnos; 1988.
21. Castells M. La galaxia internet. Reflexiones sobre internet, empresa y sociedad. De Bolsillo; 2003.

22. Mithen S. *Arqueología de la mente*. Barcelona: Crítica-Drakontos; 1998.
23. Rossi EL. The Feigenbaum scenario as a model of the limits of conscious information processing. *BioSystems* 1998; 46: 113-22.
24. Sarbadhikari SN, Chakrabarty K. Chaos in the brain: a short review alluding to epilepsy, depression, exercise and lateralization. *Medical Engineering & Physics* 2001;23:445-55.
25. Cavalli-Sforza LL. *Genes, pueblos y lenguas*. Barcelona: Crítica; 2000.
26. Barrett R, Kuzawa CW, McDade T, Armelagos GJ. Emerging and re-emerging infectious diseases: the third epidemiologic transition. *Annu Rev Anthropol* 1998;27:247-71.
27. Gould SJ. *La falsa medida del hombre*. Barcelona: Drakontos-Crítica; 1990.

Correspondencia: Juan Carlos Gallego Gómez
*Investigador del grupo de Inmunovirología (SIU) Sede
de Investigaciones Universitarias.
Universidad de Antioquia
Cra. 53 No. 61 - 30, torre 2, piso 5, lab. 532 Medellín
- Antioquia*
*Correos electrónicos: jgallego@virologia.udea.edu.co
jcgalleo@medicina.udea.edu.co*