



Salud Colectiva

ISSN: 1669-2381

revistasaludcolectiva@yahoo.com.ar

Universidad Nacional de Lanús

Argentina

Almeida-Filho, Naomar

Complejidad y transdisciplinariedad en el campo de la salud colectiva: evaluación de conceptos y aplicaciones

Salud Colectiva, vol. 2, núm. 2, mayo-agosto, 2006, pp. 123-146

Universidad Nacional de Lanús

Buenos Aires, Argentina

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73120203>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Complejidad y Transdisciplinariedad en el Campo de la Salud Colectiva: Evaluación de Conceptos y Aplicaciones

Complexity and Trans-disciplinarity in the Collective Health Field: Concepts' Evaluation and Applications

Naomar Almeida-Filho¹

¹Doctor en Epidemiología.
Investigador del Consejo
Nacional de Desarrollo
Científico y Tecnológico -
CNPq. Profesor Titular del
Instituto de Salud Colectiva,
Universidad Federal de
Bahia, Brasil.
naomar@uflba.br

RESUMEN Varios elementos epistemológicos y metodológicos han sido propuestos como tendencia alternativa a la ciencia contemporánea, agrupados bajo el rótulo de "nuevo paradigma" y con diferentes grados de interarticulación. Estos elementos sugieren que una *nuova scienza* se encuentra en desarrollo, demandando categorías epistemológicas propias (como la categoría de la complejidad), nuevos modelos teóricos (como la "teoría del caos") y nuevas formas lógicas de análisis (como los modelos matemáticos no lineales, la geometría fractal, la lógica borrosa y la teoría de redes). También en el campo de la Salud Colectiva, varios autores han defendido la necesidad de nuevos paradigmas. Esas propuestas vienen siendo ampliadas y difundidas con el objetivo de fomentar una producción científica concreta, capaz de alimentar efectivamente un posible paradigma nuevo. En este texto se pretende presentar brevemente los principales enfoques que representan algún tipo de cambio paradigmático de un modo general en el seno de la ciencia. También se discuten algunos de los diversos elementos constitutivos del paradigma de la complejidad, desde sus posibles aplicaciones a la problemática de la salud en poblaciones, buscando examinar estas cuestiones en el ámbito de nuestro interés específico e indicando algunas tentativas en el sentido de producir evidencias empíricas para el análisis de la situación de salud, sus efectos y sus determinantes a partir de estos abordajes.

PALABRAS CLAVE Modelos Teóricos; Dinámicas no Lineales; Fractales; Comunicación Interdisciplinaria; Salud.

ABSTRACT Several epistemological and methodological elements have been proposed as an alternative trend for contemporary science, grouped under the label of "new paradigm" and with different degrees of interarticulation. These elements suggest that a "*nuova scienza*" appears on evolution, demanding characteristic epistemological categories (as the category of the complexity), new theoretical models (as the "theory of chaos") and new logical ways of analysis (as the nonlinear mathematical models, the fractal geometry, the fuzzy logic and the net's theory). Also on the field of Collective Health, several authors have defended the need of new paradigms. These proposals are being amplified and diffused with the purpose of promoting a specific scientific production, able to feed effectively a conceivable new paradigm. This article pretends to introduce briefly the main approaches that betoken some kind of paradigmatic change, in a general way, in the core of science. Also some of the various composing elements of the paradigm of the complexity are discussed, from its possible applications to the population's health problems, trying to analyze these issues in the ambit of our specific interest and pointing out some intentions of producing empirical evidence for the analysis of the health's situation, its effects and determinants from these approaches.

KEY WORDS Models, Theoretical; Nonlinear Dynamics; Fractals; Interdisciplinary Communication; Health.

*Para Juan Samaja,
pionero epistemólogo de la salud.*

INTRODUCCIÓN

Agrupados bajo el rótulo de "nuevo paradigma" y con diferentes grados de interarticulación, varios elementos epistemológicos y metodológicos han sido propuestos como tendencia alternativa para la ciencia contemporánea. La aplicación de estos principios, métodos y lógicas, que a veces no parecen congruentes entre sí, ha sido denominada, particularmente en los países anglosajones, de ciencia postmoderna (1). Los que proponen los nuevos paradigmas frecuentemente sugieren que una *nuova scienza* se encuentra en pleno desarrollo, demandando categorías epistemológicas propias (como parece ser la categoría de la complejidad), nuevos modelos teóricos (como la "teoría del caos") y nuevas formas lógicas de análisis (como por ejemplo los modelos matemáticos no lineales, la geometría fractal, la lógica borrosa y la teoría de redes).

Hace algún tiempo, en el campo de la Salud Colectiva, varios autores han defendido la necesidad de nuevos paradigmas para abordar diferentes cuestiones de investigación: Attinger (2) propuso el análisis de políticas de salud a partir de modelos sistémicos dinámicos desde una perspectiva teórica de la complejidad, integrando los niveles micro y macro y las transformaciones de los sistemas de salud. Castellanos (3) y Almeida-Filho (4), de manera independiente, pero en forma simultánea, sistematizaron propuestas equivalentes y complementarias de uso de estos nuevos abordajes paradigmáticos para la construcción metodológica del objeto de la investigación epidemiológica. Tales propuestas vienen siendo ampliadas y difundidas con el objetivo de fomentar una producción científica concreta, capaz de alimentar efectivamente un posible paradigma nuevo (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11).

En este texto pretendo abordar las siguientes cuestiones: ¿Cómo se ha intentado la construcción de esta *nuova scienza* en la práctica teórica y metodológica en el campo de la Salud Colectiva?; ¿en qué medida las investigaciones conducidas en las disciplinas que componen este

campo han incorporado elementos de los abordajes teóricos de la complejidad? Esto implica, en primer lugar, presentar brevemente los principales enfoques que, a veces no suficientemente articulados entre sí, representan algún tipo de cambio paradigmático en el seno de la ciencia de un modo general. En las secciones siguientes, pretendo discutir algunos de los diversos elementos constitutivos del paradigma de la complejidad en el sentido de sus posibles aplicaciones a la problemática de la salud en poblaciones, a partir de la identificación de ejemplos. Al mismo tiempo, buscaré examinar estas cuestiones en el ámbito de nuestro interés específico, indicando, cuando sea posible, algunas tentativas en el sentido de producir evidencias empíricas para el análisis de la situación de salud, sus efectos y sus determinantes a partir de estos abordajes. No es mi intención en este trabajo realizar una revisión exhaustiva de las iniciativas de construcción del nuevo paradigma en el campo de la Salud Colectiva. Por eso, las investigaciones que son presentadas más adelante constituyen tan solo ejemplos de líneas de investigación enroladas en la aplicación de formas de producción de conocimiento alternativas al paradigma dominante en este campo.

COMPLEJIDAD

Algunos de los que proponen ese nuevo enfoque (12, 13, 14, 15) privilegian componentes analíticos formales que podrían justificar la denominación genérica, para estas propuestas, de teoría del caos o de no linealidad. Lorenz (14), uno de los fundadores de esta perspectiva, sugiere que la teoría del caos constituye un supersistema teórico basado principalmente en los conceptos de no linealidad, complejidad y fractalidad. En sus explicaciones más aplicadas, tales propuestas se presentan casi como un "neosistemismo", actualizando y expandiendo algunas posiciones de la teoría de los sistemas generales que había alcanzado cierta influencia en el panorama científico de los años 50 y 60 (16, 17). Por ese motivo, la terminología "teoría de los sistemas dinámicos" ha sido empleada con bastante frecuencia para designar los modelos complejos generados en el contexto de propuestas de un paradigma científico alternativo (18, 19).

En el presente trabajo prefiero seguir principalmente a Morin (20, 21) y Lewin (22), autores que realzan los aspectos epistemológicos de tales propuestas, enfatizando las propiedades emergentes de los procesos complejos como elementos esenciales para la constitución del nuevo paradigma. De hecho, crece en el campo científico la conciencia de que la ciencia se configura cada vez más como una práctica epistemológica de construcción de modelos, de formulación y solución de problemas en un mundo en constante mutación (1, 23, 24). De cierto modo, el antropocentrismo típico del cientista de tradición cartesianas parece no tener más lugar en una ciencia que valoriza cada vez más la descentralización y la relatividad (25). La crisis resultante de ese cambio de valores de la ciencia ocurre porque la práctica científica está continuamente produciendo y reconociendo objetos nuevos (26). No solo nuevas formas para referenciar los mismos objetos viejos, sino, de hecho, objetos radicalmente nuevos, realmente emergentes.

En ese contexto, es ciertamente más adecuada la designación de la categoría "complejidad" para resumir el conjunto de propiedades de los objetos de conocimiento de efectivo interés para la ciencia contemporánea. La idea de complejidad puede ser así tomada como el eje principal que unificaría parcialmente diversas contribuciones en dirección a un paradigma científico alternativo. Se trata de una aplicación generalizada de la premisa que, al contrario del abordaje reduccionista del positivismo, que tiene como objetivo una simplificación de la realidad en busca de su esencialidad, la investigación científica dentro de un nuevo paradigma pretende respetar la complejidad inherente a los procesos concretos de la naturaleza, de la sociedad y de la historia (1, 15, 21, 22, 25, 27).

Varias posibilidades se presentan en el sentido de la definición de complejidad a partir de una perspectiva epistemológica más rigurosa (22, 28). Primero, podemos conceptualizar la complejidad como pluralidad y jerarquización de niveles de ocurrencia de procesos, tanto en el sentido ontológico como en el sentido cognitivo (26). En segundo lugar, el término complejidad se puede referir a la diversidad de las relaciones entre los elementos componentes de un dado objeto modelo. En este aspecto, es posible introducir una distinción

fundamental entre complicado y complejo (28). Complicado es un sistema que apenas multiplica nexos de la misma naturaleza (por ejemplo, causales) entre elementos del sistema de un mismo nivel jerárquico (8). En tercer lugar, la complejidad de un modelo puede ser entendida como su naturaleza no finalística o iterativa, correspondiendo en el lenguaje de la teoría de los sistemas a la propiedad de retroalimentación de modelos explicativos sistemáticos. Esta última definición corresponde a una de las acepciones restrictas del concepto de no linealidad, como veremos más adelante.

¿Qué es un objeto complejo? Para responder a esta pregunta debemos considerar que la atribución de complejidad puede asumir distintas manifestaciones (28). En primer lugar, el objeto complejo es mínimamente un objeto modelo sistémico, o sea, forma parte de un sistema de totalidades parciales y puede ser comprendido él mismo como un sistema, también incorporando totalidades parciales de nivel jerárquico inferior (26). En segundo lugar, podemos llamar objeto complejo a aquel que, en su forma de objeto heurístico (29), no puede ser explicado por modelos lineales de determinación. En otras palabras, se trata de un objeto modelo sometido a funciones de determinación no lineal. Por eso, el objeto complejo no posibilita la predicción, ni a partir de él se puede generar tecnología. En tercer lugar, metodológicamente, el objeto complejo es aquel que puede ser aprehendido en múltiples estados de existencia, dado que opera en distintos niveles de la realidad. Por último, el objeto complejo es multifacetedo, blanco de diversas miradas, fuente de múltiples discursos, extravasando los recortes disciplinares de la ciencia. De allí que para construirlo como referente es preciso operaciones transdisciplinarias de síntesis, produciendo modelos sintéticos, y para designarlo apropiadamente, es necesario recurrir a la polisemia resultante del cruzamiento de distintos discursos disciplinares (26).

CAOS Y NO LINEALIDAD

La característica más visible del llamado "nuevo paradigma" tal vez sea el rechazo de la doctrina del causalismo como principio

estructurante del abordaje convencional de la ciencia. El empleo del término "caos" (a), con la connotación de "desorden" en el sentido de la descripción general de sistemas regidos por relaciones no lineales, indica que esta perspectiva se abre a la consideración de otros principios estructurantes, más allá del orden causal predominante en la epistemología convencional, tales como las discontinuidades, las bifurcaciones, los ruidos, las contradicciones y las paradojas.

Como ejemplo de esta abertura esencial, tomemos la concepción de "orden a partir del caos" (18), que podríamos designar como la paradoja nº 1 del nuevo paradigma. Esta referencia particular incorpora un determinismo especial, a veces denominado como "caos determinístico", distinguiendo con claridad entre caos e indeterminación o aleatoriedad, conceptos correlacionados con el famoso principio de la incertezza que inaugura la crítica a la física relativista contemporánea (30). De todos modos, el uso de la expresión "teoría del caos" (31), consagrada en una jerga instituida por la práctica comunicativa aún incipiente de la "nueva ciencia", incorpora una expectativa de formas alternativas de determinación que emanarían de procesos aparentemente desordenados, o sea, "caóticos".

Un problema teórico fundamental de las diversas perspectivas paradigmáticas alternativas consiste en la posibilidad de pensar que la realidad concreta se estructura de modo discontinuo. Se trata de una manera nueva de lidiar con la cuestión de la determinación en general, abriendose la ciencia a la posibilidad de la "emergencia", o sea, a engendrar lo "radicalmente nuevo", en el sentido de algo que no estaría contenido en la síntesis de los determinantes en potencial (32). Nuevamente se admite la figura de la paradoja como parte integrante de la lógica científica, en lo que podemos designar como la paradoja nº 2 del nuevo paradigma: "lo nuevo a partir de lo existente".

Esta cuestión se vincula estrechamente al llamado "problema de la irreversibilidad", en que la dimensionalidad del tiempo es puesta en duda (33). Así, a la noción newtoniana del tiempo real se opone la concepción de un tiempo relativo a los procesos y al observador, de cierto modo presentado como un tiempo construido. El tratamiento de este problema en relación a la físico-química y a la

moderna biología, particularmente en la búsqueda de una definición de la vida en términos de la dialéctica organización-entropía, considerada como propiedad de "estructuras disipativas" (19), permitió la apertura del debate en torno de una biología sistémica basada en la noción de "caos dinámico" (33).

En términos analíticos, algunas nociones de base aparecen con frecuencia en tales propuestas de pretensión innovadora en la ciencia: "modelos no lineales", "atractores", y "efectos débiles". Para la descripción de las relaciones determinantes complejas de los sistemas dinámicos vienen siendo desarrollados modelos de predicción que se basan en modelos teóricos de distribución de eventos basados en funciones no lineales –rítmicas, discontinuas o críticas (catastróficas)– (34). En esta perspectiva, tres sentidos han sido en general agregados a la noción de no linealidad.

En primer lugar, la "no linealidad" se encuentra asociada a la propiedad de relaciones entre series de eventos que no siguen la lógica del efecto proporcional al estímulo causal específico que, en nuestra área, ha sido denominado de efecto dosis-respuesta. En ese sentido, no lineal implica directamente la cuestión de la discontinuidad, que ha recibido un tratamiento matemático bastante sofisticado desde la llamada teoría de las catástrofes, elaborada y difundida principalmente por Zeeman (35) y Thom (36, 37) en la década de 1970. Las catástrofes constituyen cambios abruptos y desproporcionales en respuesta a alteraciones suaves en el conjunto de variables de un sistema dado. Es interesante notar que una de las primeras tentativas de aplicación de la teoría de las catástrofes, realizada de modo pionero por el propio Zeeman (35), abordó un tema relativo a la salud, específicamente en el área de la neurofisiología. Se trata de la producción del impulso nervioso que desencadena los latidos cardíacos a partir de una concentración gradual de variación lenta de tres variables: el potencial de membrana, la permeabilidad a los iones de sodio y la permeabilidad a los iones de potasio. Veamos ahora algunos ejemplos de aplicación de esta primera concepción de la no linealidad como perturbación catastrófica específicamente en lo que concierne a problemas del campo de la Salud Colectiva. El modelo SEIR (Susceptibilidad-

Exposición-Infección-Recuperación) ya representaba una tentativa de describir la dinámica epidemiológica de las enfermedades infecciosas a través de un sistema de ecuaciones diferenciales, aún dentro de una expectativa de modelado lineal de la discontinuidad (38). Arnold (39) se refiere a las epidemias como ejemplo de una perturbación catastrófica que se propaga en un cierto medio del espacio-tiempo, que podría igualmente ser expresada a través de modelos de turbulencia. Philippe (40) estudió un brote de meningitis meningocócica en Montreal desde el punto de vista de esta aplicación particular de la teoría del caos, a partir de la concepción de umbral (*threshold*), sugiriendo finalmente que el modelo (lineal) de Anderson se aplica a sistemas estables como las endemias mientras que las epidemias pertenecerían al orden de los sistemas dinámicos caóticos. A partir de una perspectiva de análisis espacial, Daniels (41) analizó ondas epidémicas con velocidad finita con el auxilio de un modelo no lineal basado en el que se designó como "abordaje de perturbación estándar". Desde el punto de vista de la evaluación de intervenciones en salud, Struchiner et al. (42) desarrollaron abordajes no lineales y no normales con base en modelos de "estado-espacio" para la estimativa retrospectiva de parámetros de transmisión de infección a partir de datos corrientes de prevalencia e inmunoprotección.

En segundo lugar, el adjetivo no lineal ha sido usado para significar recursivo o iterativo, en el sentido de los efectos de sistemas dinámicos no convergentes y no finalísticos. La diferencia, en esta concepción particular de no linealidad, entre sistemas dinámicos lineales y no lineales se encuentra en la ocurrencia o no de flujos de retroalimentación del sistema, los famosos circuitos de *feed back*. En ese caso, la no linealidad constituye una propiedad de los sistemas dinámicos (y no de sus relaciones internas), implicando que éstos no constituyen meros productores de efectos (o *outputs*) y que sí son determinados por ellos. Con respecto a este caso específico, veamos algunos ejemplos en el área de la Salud Colectiva: Halloran & Struchiner (43) sistematizaron algunos modelos analíticos para efectos recurrentes en epidemiología, tales como los procesos de inmunización en poblaciones, señalando que la noción de "evento dependiente" propuesta

por Sir Ronald Ross en 1910 ya anticipaba la concepción de no linealidad como iteración de efectos en un sistema dinámico. Koopman & Longini (7) desarrollaron un modelo teórico de transmisión de enfermedad en el que con claridad definen a la no linealidad como recursividad, por referencia a los procesos iterativos de la dinámica epidemiológica. Estudiando la asociación entre niveles de exposición domiciliar al mosquito y riesgo de infección por dengue en México, estos autores produjeron una intrigante y poderosa demostración de la utilidad del modelado no lineal para evidenciar los efectos de los niveles de agregación sobre una asociación epidemiológica. Con base en un análisis epidemiológico convencional, lineal, de base individual, encontraron medidas relativamente estables de no asociación (OR hasta 1,1; Fracción Etiológica hasta 1,3%) que además no variaban con la proporción de la población expuesta al riesgo. Entretanto, cuando se consideró una definición ecológica para la variable de exposición y cuando se incorporó al modelo un factor de dependencia de la exposición como resultado de la incidencia (o sea, una tasa de "realimentación" de la epidemia), se observó un aumento acumulativo de la tasa de infección resultando en un OR de 12,7 y en una Fracción Etiológica de hasta 17,5% (7).

En tercer lugar, el concepto de "no linealidad" ha sido empleado para designar efectos potencializados de estímulos débiles en sistemas dinámicos complejos. La demostración más popular e interesante de esta modalidad de caos, en el campo de la meteorología, será tal vez el llamado Efecto Mariposa, descrito por Lorenz (14) en un trabajo curiosamente intitulado "*Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?*". La reducida predictibilidad de los modelos generados a partir de esta definición de no linealidad se debe a la "hipersensibilidad" del sistema en relación a procesos de interacción y sinergismo. Esta propiedad, técnicamente definida como "sensibilidad a las condiciones iniciales", fue prevista y matemáticamente formulada por Poincaré hace casi un siglo atrás (15). Se trata de una propiedad esencial de los sistemas dinámicos que abre camino a modelos explicativos basados en "determinaciones débiles" o efectos sensibles (interacciones), o sea, modelos con

menor grado de precisión y reducida estabilidad predictiva con base en configuraciones conocidas de factores o determinantes.

La importancia de los efectos potencializados o sinérgicos no puede ser negada de ningún modo. No obstante, en mi opinión, este elemento de la no linealidad ha sido relativamente sobreestimado en el proceso de construcción teórica de los paradigmas alternativos, en la medida en que algunos autores llegan a sugerir que la misma definición de "caos" consistiría en "fluctuaciones generadas por una dependencia sensible a las condiciones iniciales" (44).

Uno de los conceptos ya mencionados, el de "atractores extraños", puede ser inmediatamente correlacionado a esta definición particular de no linealidad como recurrencia, recursividad o iteratividad. Los "atractores extraños" constituyen una forma particular de expresión gráfica de las asociaciones de elementos de los sistemas dinámicos iterativos, por lo tanto apropiadas para la representación de relaciones no lineales en el llamado "espacio de fase" (b). Un ejemplo de atractor extraño se encuentra en la Figura 1 (Atractor de Lorenz), donde se puede notar una reducción de la capacidad de predicción de los ciclos y ritmos del modelo. Predicción es aquí referida en el sentido estricto convencional de anticipaciones posibles de puntos/valores singulares de un sistema dado, como por ejemplo, en el modelo predictivo $y = a + bx$,

donde el conocimiento de cualquier valor de x posibilita la predicción de un valor y correspondiente. En el caso de los atractores extraños, la pérdida de poder de predicción ocurre en paralelo a un aumento de la capacidad de previsión del modelo, donde "previsión" implica una anticipación del estado del sistema con base en la estabilidad relativa de las transformaciones de sus parámetros. De estas operaciones resultarían patrones de figuras dinámicas o formas de movimiento (los famosos fractales, como veremos a continuación), más que funciones de cálculo.

La consideración de los efectos "débiles" y de los factores de interacción posibilita finalmente la operacionalización de modelos de sistemas dinámicos bajo la forma de redes de puntos sensibles, a nuestro ver con un alto potencial para la construcción del objeto salud. En el campo de la Salud Colectiva, ya existen algunos interesantes ejemplos de aplicación de este enfoque específico de la teoría del caos, particularmente en relación a la epidemiología de enfermedades transmisibles. El estudio pionero de Schaffer & Kot (45), que identificó patrones de dinámica no lineal en una serie epidémica de sarampión, abrió camino para todo un programa de investigación dirigido al desarrollo de técnicas para la identificación de caos y no linealidad en procesos epidémicos. Olsen & Schaffer (46), analizando datos del sistema de vigilancia epidemiológica de la ciudad de Nueva York, encontraron

Figura 1. ATRACTOR DE LORENZ



atractores extraños con configuraciones bastante diferentes para sarampión y varicela, evidenciando que, a pesar de que ambos perfiles epidémicos ocurrieron en un ciclo anual, la dinámica de esta ocurrencia parece obedecer a parámetros completamente distintos, evidenciando el reducido grado de predictibilidad de los modelos explicativos de las epidemias infantiles. Finalmente, Grenfell, Bolker & Kleckowski (47), empleando técnicas de simulación parametrizada con atractores extraños, desarrollaron una interesante demostración de la ocurrencia de no linealidad en modelos SEIR sometidos a diferentes intervalos de temporalidad.

FRACTALIDAD

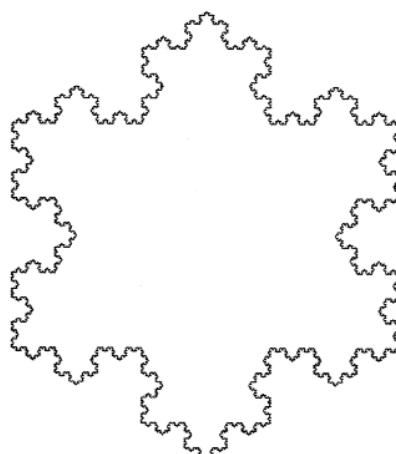
Dentro del conjunto de proposiciones que pretenden inaugurar un nuevo paradigma en la ciencia contemporánea, el concepto de "fractalidad" parece el más fascinante y de mayor utilidad para el desarrollo de modos alternativos de producción de conocimiento científico. El neologismo "fractal" fue acuñado por Mandelbrot (48), a partir del término *fractus* del latín, para designar figuras recurrentes resultantes de la infografía de patrones registrados por atractores extraños

diseñados por computador. En verdad, se delineó así el desarrollo de una nueva geometría, basada en la persistencia de formas, patrones y propiedades de los objetos en los diferentes niveles de su estructura jerárquica. En contraposición a la concepción convencional de infinito, elemento estructurante de la geometría euclíadiana clásica, la idea de fractalidad reposa sobre el concepto de "infinito interior". En palabras del propio Mandelbrot (49 p.123):

las formas euclidianas se muestran inútiles para el modelado del caos determinístico o de sistemas irregulares. Estos fenómenos precisan de geometrías bien distantes de triángulos o de círculos. Requieren estructuras no euclidianas, en particular, una nueva geometría llamada geometría fractal.

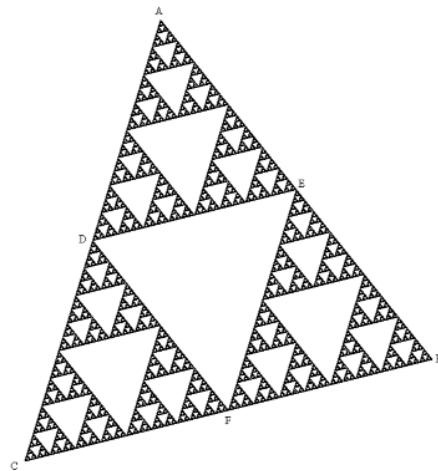
Un ejemplo primitivo de un fractal se encuentra en la posibilidad de dividir un segmento de línea en dos partes iguales, que podrán a su vez ser divididas, y así sucesivamente, manteniéndose siempre la forma original de un segmento de línea dividido por la mitad. De esta manera, se puede representar de un modo altamente sintético la constatación de la estabilidad de una propiedad dada a través de los diferentes niveles del sistema. En el campo matemático, cuna de esta ruptura en particular, diversas representaciones

Figura 2. COPO DE NIEVE DE KOCH



Fuente: Wikipedia. Copo de nieve de Koch.

Figura 3. TRENZADO DE SIERPINSKI



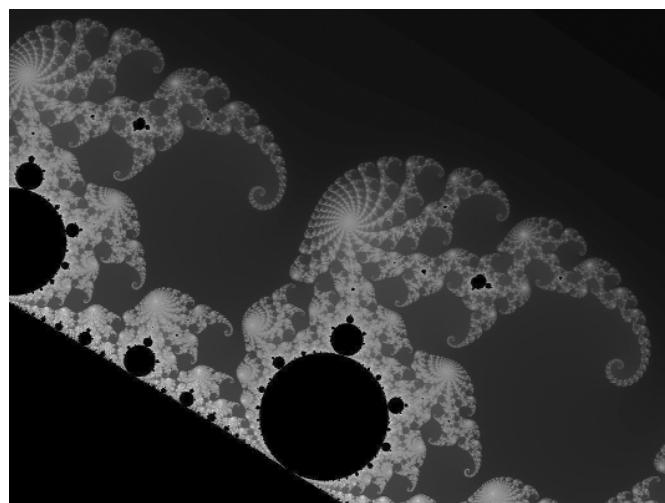
Fuente: Wikipedia. Triángulo de Sierpinski.

de la fractalidad se han tornado clásicas (50), como el copo de nieve de Koch (Figura 2), el trenzado de Sierpinski (Figura 3) y los conjuntos de Mandelbrot (Figura 4).

Diversos comunicadores del nuevo paradigma resaltan la ocurrencia de fractalidad en el campo físico y en el campo biológico, particularmente en la geofísica y en la botánica (31). La propia configuración helicoidal del modelo

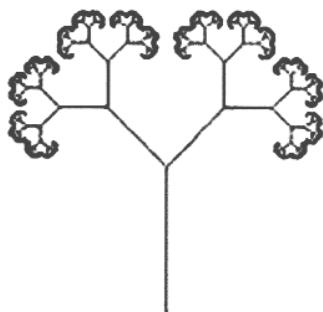
cuaternario del ADN constituye una manifestación fractal en el campo de la genética, siendo la técnica de PCR (*polymerase chain reaction*) una aplicación tecnológica del concepto de fractalidad con inmediatas repercusiones prácticas (51, 52). La Figura 5 muestra un árbol fractal, ilustración bastante sugestiva del tipo de fractalidad encontrada en las ciencias naturales. Con las debidas reservas, una variante de la noción de fractalidad puede ser

Figura 4. CONJUNTOS DE MANDELBROT



Fuente: Wikipedia. Benoît Mandelbrot.

Figura 5. EJEMPLO DE ÁRBOL FRACTAL



Fuente: University of Colorado, Molecular Cellular and Developmental Biology (MCDB).

identificada en la famosa cuestión local *versus* global, que ha alimentado una discusión de extrema actualidad en las ciencias sociales contemporáneas (53).

Desde el punto de vista teórico, tenemos algunos ejemplos de propuestas inspiradas en la idea de fractalidad que suponen la anunciaciόn de nuevos paradigmas en el área de la Salud Colectiva. La propuesta de los "modelos ecosociales" de Krieger (54) se fundamenta esencialmente en la aplicación de una perspectiva fractal al proceso de construcción del objeto de la Salud Colectiva, donde el elemento de fractalidad sería justamente la interpenetración entre lo biológico y lo social, repetida en todos los niveles, del subcelular al societario. Infelizmente, la autora no presenta ejemplos o tentativas de aplicación, avanzando poco allende la formulación preliminar de esta atrayente proposición, concientemente postulada como una metáfora teórica. Veo también la propuesta de Susser & Susser (55) de un "paradigma de las cajas chinas" para la epidemiología del futuro como una tentativa de expresión de la fractalidad de los sistemas complejos de la salud-enfermedad, a pesar de que los autores, haciendo referencia apenas *en passant* a los distintos grados de complejidad jerárquica de los sistemas, nada mencionaran de la teoría de los fractales.

En lo que se refiere a la operacionalización de estas propuestas, tanto Susser & Susser (55) cuanto Krieger (54) consideran críticamente la perspectiva de uso de la inferencia "a través de

niveles" (*cros-level inference*) como alternativa viable para la reducción de la llamada falacia ecológica, principal obstáculo potencial para el desarrollo analítico de los modelos ecosociales (56, 57). De todos modos, en ambas proposiciones, los procesos de la salud-enfermedad-cuidado pueden ser interpretados como parte de una dimensión fractal que atraviesa los diversos niveles del sistema, de las moléculas y de las células a los órganos, a los sistemas fisiológicos, a los cuerpos, a los grupos, a las poblaciones, a las sociedades.

En la investigación en salud, de modo general, son raros los usos del abordaje fractal. En una de las pocas excepciones, Lipsitz & Goldberger (58) analizaron el proceso de envejecimiento como una pérdida de la "complejidad" del organismo, resultando en un aumento de la fractalidad por la senescencia. En el campo de la Salud Colectiva, a pesar de las evidentes aplicaciones potenciales de la noción de fractalidad, infelizmente no encontré ningún ejemplo de modelado de los problemas de la Salud Colectiva basada en alguna forma de análisis fractal, excepto, una vez más, en el estudio de las epidemias de enfermedades transmisibles, como la propuesta de modelado espacial de ondas epidémicas presentada por Durrett (59).

No obstante la carencia de aplicaciones concretas de la noción de fractalidad en la Salud Colectiva, es evidente su utilidad potencial especialmente en el área de entrenamiento de recursos humanos, en busca de mayor eficiencia en un contexto de reducidos recursos

humanos y materiales (a través de estrategias de capacitación por multiplicación, por ejemplo). Más allá de eso, algunas propuestas de vigilancia en salud a través de áreas y eventos centinela (60, 61, 62) muestran una lógica inversa a la noción de representatividad estadística, postulando estrategias de muestreo por tipos seleccionados (63), que también emplean la lógica fractal para justificar la importante noción accesoria de "representatividad débil".

"BORROSIDAD"

Entre las concepciones menos conocidas de los nuevos abordajes paradigmáticos, se sitúa la "teoría de los conjuntos borrosos" (en inglés: "*fuzzy set theory*"), propuesta por Lofti Zadeh en el inicio de la década del '60 (64). Se trata de un abordaje crítico de las nociones de límite y de precisión, esenciales a la teoría de los conjuntos en la que se basa la analítica formal de la ciencia moderna.

Esta concepción lógica rompe con el convencionalismo aristotélico que define los fundamentos epistemológicos de la certeza con base en los principios de la identidad, de la no contradicción y del tercero excluido (65). Como corolario de la ruptura propuesta, habría tres modalidades de incerteza –la contradicción, la confusión y la ambigüedad– no pasibles de formalización lógica y matemática, por lo tanto fuera de los límites de la racionalidad científica clásica. A éstas se agrega la "borrosidad" (*fuzziness*), propiedad particular de los sistemas complejos en lo que se refiere a la naturaleza de los límites infrasistémicos impuestos a los eventos (unidades del sistema) y al propio sistema (66), arbitraria en sus relaciones con otros sistemas, con los supersistemas (contextos) y con los respectivos observadores.

En primer lugar, la teoría de los conjuntos borrosos implica una crítica radical a la noción de evento como fragmentación arbitraria de los procesos de transformación y de los elementos de los sistemas dinámicos. Algunos conceptos operativos del campo de la salud, como por ejemplo enfermedad y riesgo, son ejemplos de esta ontología conjuntista de la ciencia convencional, conforme tuve ocasión de discutir en otras oportunidades

(67, 68). De esta manera, se impone una delimitación precisa y de cierto modo arbitraria en lugares y momentos donde efectivamente existe fluidez en los límites espacio-temporales de los elementos de un sistema dado, que podemos denominar de Borrosidad 1.

Segundo, la consideración de la lógica borrosa implica una recuperación de la contextualización (o referencialidad) como etapa crucial del proceso de producción de conocimiento. En este caso, se borran los límites externos del sistema, o sea, la interfaz entre los sistemas entre sí y de éstos con el contexto, o los supersistemas que los incorporan, conformando lo que podemos llamar de Borrosidad 2. Esta modalidad de borrosidad *grosso modo* remite a lo que Maturana (69) denomina "acoplamiento estructural".

Por último, la crítica de la noción de límite implica también un cuestionamiento de la categoría epistemológica de la objetividad, retomando el clásico problema del observador como efecto de una Borrosidad 3. En este caso, es atractiva la referencia, por analogía simple, a la delimitación fluida, ambigua, contradictoria y confusa entre sujeto y objeto en el proceso de la investigación. Paradigmática de esta modalidad de borrosidad será ciertamente la cuestión fundamental de los límites de la percepción humana, como producto de "correlaciones senso-efectoras" de un organismo referido como observador enredado en espacios perceptuales compartidos con los objetos observados (70, 71).

Examinemos ahora dos tentativas de aplicación de la noción de borrosidad a distintas cuestiones de investigación en el área de la Salud Colectiva: el uso de modelos prototípicos en la investigación etnográfica en salud mental (72, 73) y la definición de estimadores epidemiológicos de riesgo a través de la lógica borrosa (74, 75).

La teoría de la categorización natural, propuesta por Rosch (76) y desarrollada por Lakoff (77) en el dominio de la lingüística, ha permitido el estudio de esquemas cognitivos complejos a partir del concepto de "prototipo". De acuerdo con la teoría, este concepto se refiere a elementos nucleares definidores de una categoría dada, considerando dos importantes presupuestos teóricos: (a) los trazos centrales prototípicos, y no aquellos periféricos, son semiológicamente cruciales para la construcción de las categorías, con base

en la noción wittgensteiniana de *family resemblances*; (b) las similaridades transculturales articulan el núcleo semántico de las categorías prototípicas por medio de analogías, paralelismos y continuidades de acuerdo con una variedad de criterios fuzzy (con mayor o menor grado de borrosidad). Por lo tanto, la categorización cognitiva que orienta la acción estaría más de acuerdo con un modelo de prototipos borrosos que con una clasificación jerárquica de categorías estables y mutuamente excluyentes (78).

Aplicando el concepto de borrosidad en la investigación en salud mental desde el punto de vista de la epidemiología, Mezzich & Almeida-Filho (72) propusieron comprender los cuadros diagnósticos de los sistemas nosológicos actuales como prototipos y no como tipos ideales de objetos únicos y precisamente definidos. Recientemente, este abordaje fue retomado por Johansen et al. (79) a fin de investigar la validez del prototipo *borderline personality disorder* (BPD) como un constructo del sistema diagnóstico DSM-IV. En el campo de la psiquiatría transcultural, Almeida-Filho, Bibeau & Corin (73) proponen que la teoría de los prototipos puede ser apropiada en la siguiente dirección: primero, las categorías prototípicas no pueden ser separadas de las acciones concretas de las personas; segundo, tales modelos de acción son incorporados (literalmente: almacenados en el cuerpo) en los sujetos tanto como configurados en la mente; y tercero, los modelos prototípicos son operados en la llamada interfaz entre los mundos individual y social. En el abordaje propuesto, los prototipos deben ser, por lo tanto, considerados como producto de una historia singular individual y de experiencias colectivas, integrando así procesos globales, escenarios locales y actos particulares. En ambos casos, el concepto de prototipo no solo implicaría borrosidad en las categorías cognitivas y en los objetos ontológicos sino también representaría una manifestación o efecto de fractalidad en sistemas simbólicos cognitivos, tanto nosológicos (en el primer caso) como culturales.

Veamos ahora un interesante ejemplo de aplicación de la idea de conjuntos borrosos proveniente de la epidemiología, la vertiente manifiestamente más cuantitativa de la Salud Colectiva. Massad & Struchiner (74) propusieron

traducir en los términos de la lógica de los conjuntos borrosos los indicadores epidemiológicos de asociación, aplicándolos principalmente al análisis de riesgo en estudios ambientales. Siguiendo rigurosamente una lógica formal, los estimadores de riesgo relativo más usuales de la epidemiología son definidos como una razón de probabilidades condicionales a la exposición a un supuesto factor de riesgo, $R = f(E)$, en que el estimador de riesgo R representa una probabilidad p de ocurrencia de una enfermedad D dada una exposición E , o sea, $p(D|E)$. Según estos autores, entretanto, en el escenario de una nueva lógica borrosa, estos indicadores deben ser expresados en términos de posibilidades condicionales, tanto en el sentido de niveles de exposición como de gravedad de la enfermedad. Para eso será necesario estimar funciones de distribución de posibilidades equivalentes a distintos grados de pertenencia asociados a cada subconjunto borroso, resultando en modelos lingüísticos de inferencia borrosa. En la formulación original de Zadeh, el creador de la *fuzzy logic*, como sabemos, la función F de pertenencia $R(x,y)$ de una relación R en un conjunto borroso A es dada por operadores de inferencia del tipo *max: V - min: Λ*, en que $F(y) = \max_x [A(x) \Lambda R(x,y)]$.

Aplicando estos parámetros, de acuerdo con Massad & Struchiner (74), es posible definir una

Fuzzy Odds Ratio, FOR, como la razón entre la posibilidad condicional de desarrollo de una cierta enfermedad cuya gravedad es d , dado que el individuo esté expuesto a un cierto nivel del factor ambiental e , y la posibilidad de que la misma enfermedad con gravedad d se desarrolle dado que el individuo no esté expuesto al factor ambiental, por lo tanto $\frac{F(d|e)}{F(d|\bar{e})}$. (...) un elemento que pertenezca a un conjunto A con grado de pertenencia a , puede pertenecer también a otro conjunto B , con grado de pertenencia b , donde B no es complementario de A , o sea $A \cup B \neq \emptyset$ y $A \cap B \neq \emptyset$. Entonces, en la exposición anterior e no es complementario de \bar{e} . La medida FOR es dada por

$$FOR = \frac{\max[r(e|d)] \max[r(\bar{e}|d)]}{\max[r(\bar{e}|d)] \max[r(e|d)]}$$

A pesar del estado de aplicación aún incipiente de la lógica borrosa en el campo de la salud, y más allá de los ejemplos aquí presentados, son evidentes los usos potenciales de este abordaje en los procesos de toma de decisión en

la subárea de gestión y administración en salud, o en los sistemas de producción estructurada de diagnósticos, principalmente para tratar la llamada comorbidad. Además de eso, existe un gran uso potencial de este abordaje en los casos de análisis de grados y superposición de exposición y gravedad diferenciada, según fue específicamente desarrollado en las propuestas que se encuentran en la reciente compilación de Massad y colaboradores (75).

TEORÍA DE REDES

Actualmente, el tema más en boga en la teoría de la complejidad es el concepto de redes. Los dos mayores best-sellers recientes de la literatura de divulgación científica en los EE.UU. tratan del concepto de redes. Ambos son de lectura agradable, informativos y tienen títulos sugestivos: uno (80) lleva como título *Linked*, o simplemente "conectado"; el otro (81) se intitula *Sync*, abreviatura en inglés para "sincronizado".

La teoría de redes aparece como una actualización crítica de la teoría general de los sistemas, influyente en la vanguardia científica de los años '50. Estructuralmente, el sistema es un modelo compuesto por partes, con una entrada o *input*, una estructura de procesamiento y una salida o *output*; la red, por su lado, no se compromete con ese tipo de organización orientada por finalidad. Noten en la Figura 6 que en un sistema todas y cada una de las relaciones se encuentran

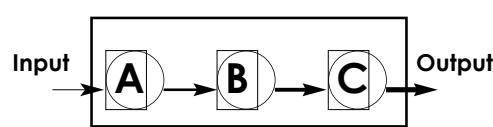
realmente orientadas en la misma dirección y que el sistema entero converge sobre ese elemento. Veamos en la Figura 7, por otro lado, ejemplos variados de redes, incluyendo una representación de red multiniveles con proyección.

La teoría de las redes constituye un importante capítulo de la matemática y de la física modernas, donde es denominada "teoría de los grafos". En las ciencias físicas, los sistemas y las redes son concebidos como informaciones organizadas en la forma de patrones topológicos distintos. En el lenguaje topológico, la red se llama grafo, los nodos son vértices y las conexiones son lados. El estudio de la topología de los grafos ha atraído mucho interés en la mecánica estadística de redes complejas. Watts (82), Albert & Barabási (83), Newman (84), Strogatz (81) y Barabási (80) ofrecen excelentes resúmenes de esta floreciente literatura sobre la topología de las redes.

Podemos usar los modelos de redes de dos maneras. Una implica extraer de un conjunto de observaciones una estructura de explicación, o sea, crear un dispositivo explicativo, bajo la forma de una red donde los eventos constituyen nodos y sus relaciones de determinación conforman conexiones. En ese caso, resulta muy eficiente representar a los sistemas complejos mediante modelos de red. Pero, por otro lado, también podemos usar los modelos de red como instrumentos de transformación de la realidad, configurando proyecciones articuladas de eventos como estrategias de planificación. Claro que las dos finalidades de la herramienta redes se pueden articular en algún momento.

Figura 6. CONTRASTE ENTRE "SISTEMA" Y "RED"

Sistema



Red

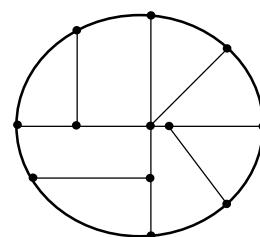
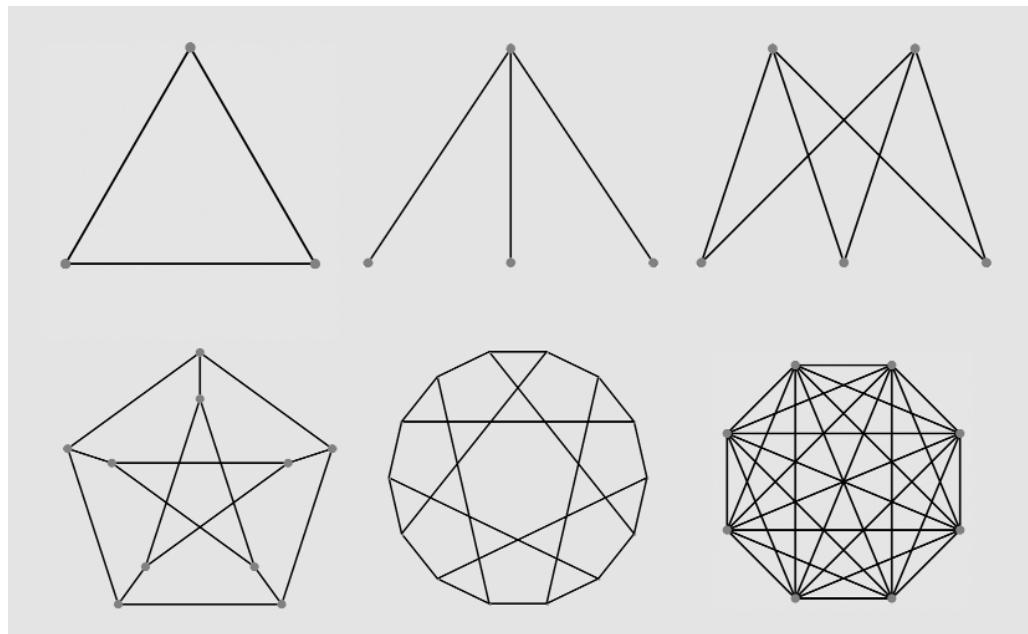


Figura 7. EJEMPLOS VARIADOS DE RED



Fuente: Elaboración propia en base a Wikipedia.

Las redes han sido clasificadas como redes virtuales y redes reales. Las redes virtuales tienen dos modalidades: redes randómicas y redes conceptuales. Las redes randómicas sirven como un patrón y son construidas respetándose parámetros aleatorios puros, concediéndose a cualquier conjunto de elementos de la red la misma chance de conectarse a los otros nodos. Por medio de procesos estocásticos, se crea una red que tiene sus vértices con todas las conexiones posibles regidas por el azar. La expresión estructural de las redes randómicas permite definir conexiones a través de patrones aleatorios puros a punto de dejar la red totalmente saturada. Por otro lado, la red puede ser montada con criterios propositivos o restrictivos, operacionalizando sus conexiones sin usar patrones aleatorios de definición, haciéndolo mediante elecciones arbitrarias intencionales basadas en conceptos formales o teóricos. Se trata aquí de redes conceptuales en sentido estricto.

Las redes reales son aquellas encontradas en la naturaleza, en la sociedad o construidas como obra humana, formando parte de algún proyecto tecnológico. Una cosa interesante es

que la matemática inicia su entrada en el paradigma de la complejidad con la teoría de los grafos basada en redes randómicas. De allí deriva un trabajo de investigación y exploración que comienza por evaluar si las redes randómicas de hecho existen y operan en otros campos de conocimiento, en la tecnología, en el lenguaje, en las sociedades, en las organizaciones; entonces se comienzan a descubrir interesantes propiedades de las redes reales que no estaban siendo consideradas en las formalizaciones teóricas.

Las redes tienen propiedades que van más allá de la simple integración de propiedades de sus componentes. Organización por nivel (*levelness*), agregabilidad (*clustering*), "mundo-pequeñedad" (*smallworldness*) y fractalidad son las propiedades más útiles para entender los casos especiales de grafos cognitivos y redes sociales. Existe una gran cantidad de investigaciones de redes sociales sobre cómo se forman los vínculos entre actores y cuáles son las consecuencias de tener una determinada posición en una red (85). La terminología es un poco diferente: nodos/vértices son actores y conexiones/lazos son vínculos. La mayoría de las investigaciones

sobre redes sociales han utilizado una perspectiva individual, perdiendo, así, la oportunidad de esclarecer la estructura de la acción colectiva.

Cuando los investigadores comenzaron a explorar las redes reales, encontraron en el capítulo de las redes sociales un intrigante fenómeno que permitió identificar una importante propiedad de las redes, que en inglés fue denominada *smallworldness*. Propongo llamarla "mundo-pequeñidad", como una traducción libre del término, que significa la propiedad de las redes de crear atajos o formas de acortar distancias entre vértices de su malla, tornándola así el "mundo pequeño". El descubrimiento de esa propiedad es atribuida a Milgram (86), al probar la hipótesis de que la red de relaciones sociales es un "mundo pequeño", donde las personas se conectan unas a las otras de modos más intensos y variados de los que estamos acostumbrados a reconocer. El experimento de Milgram fue simple y elegante: algunas personas seleccionadas en Kansas y Nebraska recibieron cartas destinadas (pero sin dirección) a una única persona en Boston, con la siguiente regla: la carta debía ser enviada para alguien de su círculo de conocidos que ellos (los seleccionados) pensaran que tendría alguna aproximación con esa dirección. Se descubrió lo siguiente: la mayoría de las cartas llegó a la dirección correcta, en un tiempo muy corto. Algunas cartas llegaron en apenas tres etapas, otras llegaron en nueve, ninguna pasó de dieciocho etapas y la media fue de seis etapas. Para explicar tales hallazgos, Milgram formuló entonces la célebre "teoría de los seis grados de separación".

Cuando ya en la década de 1990, los teóricos de la complejidad comenzaban a construir la teoría de las redes, avanzando en la formulación matemática de las reglas de conexión características de redes randómicas, descubrieron que los antiguos estudios de Milgram eran de suma importancia para comprender aquel problema. Actualmente, confirmado lo que Morin identificaba en la sociedad contemporánea como "conexión holográfica", Duncan Watts (82), Albert Barabási (80) y otros consideran la "mundo-pequeñidad" como una cuestión de base para toda la teoría de los grafos. Reconocida y estudiada inicialmente en redes sociales, esta propiedad está siendo matemáticamente demostrada como definidora de redes teóricas que se

constituyen entre lo determinístico y lo aleatorio. Los investigadores que exploran esa vía descubrieron, por ejemplo, que la Internet tiene una estructura inusitada, en ese punto de vista, pues no obedece a los modos conocidos de planeamiento y organización. Antes se pensaba que la Internet se organizaba de modo randómico, pero ahora se descubre que su autoorganización no es ni aleatoria ni planeada, pero sí basada en la "mundo-pequeñidad".

A pesar de la formalización reciente de tales avances en la teoría de redes, varios grupos de investigación e investigadores individuales ya adelantaron diversas aplicaciones de ese enfoque en el campo de la salud humana. En el nivel de los procesos biológicos de la salud, se destacan los usos de la teoría de redes en la investigación en proteómica (revisados en Grindrod & Kibble 2004) (87), tanto como los estudios de Promislow (88) sobre redes complejas de síntesis de proteínas implicadas en el proceso de senescencia, y el de Morton & Munakata (89) sobre redes neurales como matrices de variabilidad del desarrollo cognitivo. En el campo específico de las neurociencias, registramos la investigación de Lee *et al.* (90) sobre redes cerebrales como modelado de las esquizofrenias y la hipótesis de redes tipo "*small-world*" para la comprensión de los fenómenos de la memoria y de los sueños de Tsoris & Tsoris (91). A nivel poblacional, estudios epidemiológicos de enfermedades transmisibles han empleado la teoría de redes para proponer modelos dinámicos de difusión epidémica, especialmente en HIV/AIDS (92) y en la reciente epidemia de SARS. En este caso, se destacan los modelos de *forecast & control* producidos por Meyers *et al.* (93) y por el grupo de la Universidad de San Pablo, antes citado (94).

COMPLEJIDAD EN SALUD

Conforme pudimos verificar en este ensayo, caos y no linealidad, geometría fractal, emergencia y sistemas dinámicos, borrosidad y teoría de las redes constituyen ejes de renovación paradigmática que representan un enorme potencial de avance en la producción de conocimiento científico y desarrollo tecnológico en el área de la salud.

Mismo que aún no se observe un patrón de modelado teórico con aceptación general, las propuestas encaminadas valorizan la fragmentación fractal, el borramiento de los límites, la parcialidad o relatividad de los puntos de observación, el dinamismo sistémico y los ciclos/ritmos, la indeterminación o la contingencia del caos determinístico como características de la formulación alternativa perseguida. El presupuesto de base de estas perspectivas es que las teorías de los procesos irreversibles y de la entropía de la termodinámica, de la incertezza y de la causalidad probabilística de la física cuántica, de los sistemas dinámicos de la biología, en fin, los abordajes de la complejidad en general, serían capaces de producir nuevas metáforas útiles para comprender y superar el distanciamiento entre el mundo natural y el mundo histórico. Estas metáforas describen sistemas dinámicos complejos, autorregulados, mutantes, imprevisibles, productores de niveles emergentes de organización (22).

Epistemológicamente, tales propuestas de renovación paradigmática abren una discusión sobre el propio proceso de construcción de los objetos científicos. En otras palabras, ¿de qué manera se puede tomar este proceso como un modo de producción de objetos conceptuales capaz de instrumentalizar la propia práctica de la ciencia para repensar o reconstruir sus objetos? Se trata de desenvolver una filosofía de la ciencia que se pueda tomar irónicamente como "no epistemológica", una epistemología que se presenta con una naturaleza mucho más propositiva o normativa que constatativa (61). Al contrario de lo establecido por la epistemología heredada, el objeto del conocimiento no es una representación de la "cosa", un equivalente abstracto de objetos concretos, y, por consiguiente, no existe una determinación exclusiva del objeto del conocimiento por el objeto concreto, pero sí una relación de referencia (29). Se propone, se construye y se crea un objeto científico por referencia a eventos, procesos y fenómenos que se sitúan en el mundo concreto.

Lo que recapitulamos hasta ahora de la teoría de la complejidad, en sus principales elementos de no linealidad, sistemas dinámicos, borrosidad, fractalidad y teoría de las redes, permite la construcción de modelos que dan cuenta de aspectos parciales del problema, del proceso

o de los fenómenos de la salud-enfermedad. La cuestión es que, considerando la insuficiencia de cada una de ellas aisladamente, ninguno de esos abordajes parciales puede dar cuenta de la necesidad de una síntesis. Creo que éste es el desafío del momento, justamente el punto crucial que se espera tal vez superar con auxilio de la teoría de la complejidad.

Morin (21) propuso la expresión neutra "pensamiento complejo" en referencia a la capacidad del pensamiento de lidiar con la incertezza y la posibilidad de autoorganización, más allá de su dependencia de la noción de "unidad del conocimiento". Veamos esta cita del más reciente libro de Morin (95), síntesis de la reciente fase ético-política de su filosofía:

Necesitamos concebir la insustentable complejidad del mundo en el sentido de que es preciso considerar en un solo tiempo la unidad y la diversidad de los procesos planetarios, sus complementariedades al mismo tiempo que sus antagonismos.

Donde Morin escribió "procesos planetarios", propongo leer "procesos de salud". Pienso que con eso podemos aprender lo siguiente: la estrategia metodológica capaz de dar cuenta de la complejidad de los fenómenos de salud no se resume a miradas múltiples cohabitando o coexistiendo en un campo científico dado, sino que es preciso descubrir la unidad en esa inmensa diversidad compleja de objetos, miradores y miradas.

No es difícil demostrar que un mismo objeto puede ser visto en diferentes ángulos, pero eso no necesariamente contribuye para el conocimiento más completo y profundo de ese objeto. Tomemos como ejemplo una silla. Podemos tener el discurso del economista sobre la silla, a partir de los procesos económicos que producen este objeto; un ergonomista puede evaluar la silla desde el punto de vista del confort; un diseñador hablará sobre su estética y funcionalidad; el discurso de un antropólogo sobre objetos en las diferentes culturas que sirven para sentarse –y que aquí llamamos de silla– será ciertamente muy diferente de los anteriores; los historiadores podrán discurrir sobre aquellos lindos muebles encontrados en las tumbas de los faraones. En fin, cada uno de esos discursos tendrá un rigor propio

y puede tener función, finalidad y especialidad, aunque el conocimiento más integral y sintético sobre la silla no será la simple suma o yuxtaposición de los varios discursos sobre este objeto tan importante. Algo mayor que la mera suma de esas formulaciones tiene que ser construido a fin de viabilizar el entendimiento de esa unidad en la diversidad, lo que envuelve también la cuestión de los antagonismos que necesariamente caben en ese discurso.

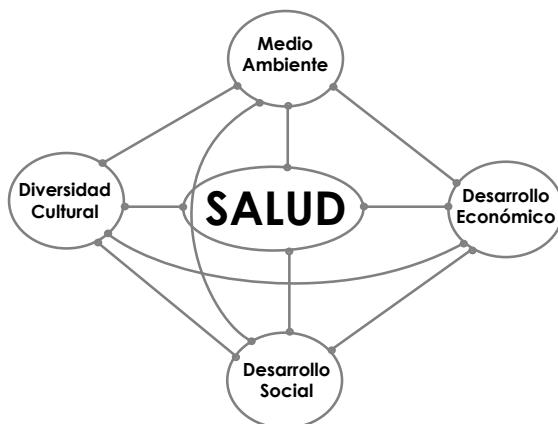
Para ayudarnos a superar la duda de si la diáada salud-enfermedad debe o no inscribirse en el registro de una disyunción o antagonismo, Morin contribuye con dos importantes propuestas: la noción de integralidad del conocimiento y el concepto de transdisciplinariedad. Por integralidad del conocimiento comprendemos la idea de que, en el paradigma de la complejidad, no es posible que exista conocimiento absoluto y aislado, porque el pensamiento complejo es, por definición, relativo y contextual. Más aún, el conocimiento científico es integral y uno, aunque mismo así (y por eso mismo) permite una multiplicidad de conocimientos parciales y fragmentarios. Por lo tanto, el pensamiento complejo implica unidad con multiplicidad y unidad en la diversidad.

Uno de los grandes problemas en el área de la salud es que algunos de sus subcampos toman modelos determinísticos causales como si fuese ésta la única manera de definir el

objeto salud-enfermedad. Más allá de los modelos típicos del paradigma de la simplicidad, como vimos antes, tenemos a nuestra disposición modelos fractales, modelos sistémicos, modelos borrosos, y precisamos avanzar en la dirección de modelos sintéticos, en el sentido moriniano. Cada uno de esos modelos se refiere a un tema o faceta específica de algo que no puede ser separado de un todo articulado. Por eso, me arriesgo a decir que el objeto salud-enfermedad es simultáneamente estructural, sistemático, prototípico, causal y probabilístico.

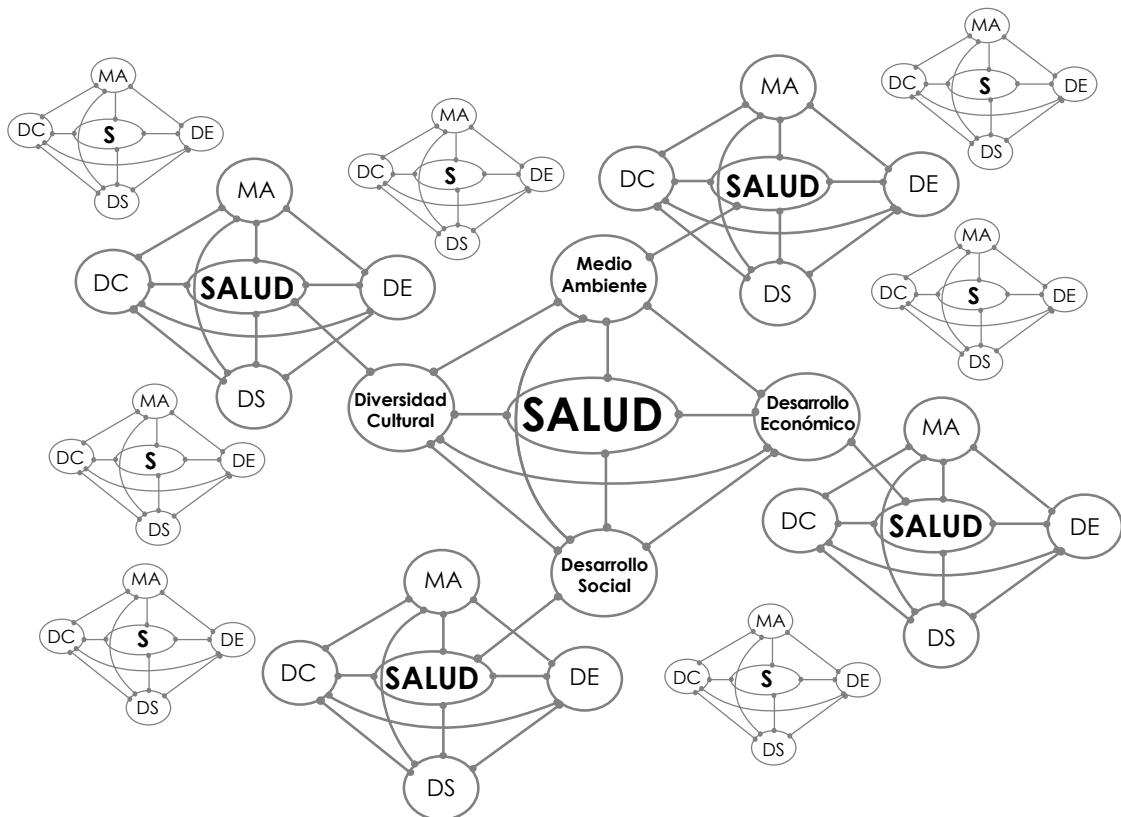
Según lo revisado en este ensayo, las tentativas de aplicación de las alternativas conceptuales y metodológicas típicas de abordajes de la complejidad sobre temas de salud-enfermedad han sido innegablemente dispersas y fragmentadas. De manera general, sin fundamentación epistemológica rigurosa y articulación teórica clara y eficiente no se puede reconocer en tales iniciativas evidencias de cambio paradigmático en el campo de la salud. En ese sentido, puede ser interesante considerar abordajes de la complejidad y de la teoría de las redes más como una exploración en el sentido de modelar el objeto salud/enfermedad, proponiendo una estructura fractal de red con base en una unidad fractal que, a cada punto, al ser desdoblada y ampliada, revela la misma forma. Veamos el ejemplo de la Figura 8, donde la noción de salud

Figura 8. SALUD COMO RED FRACTAL



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. ESTRUCTURA HOLOGRAMÁTICA DE RED FRACTAL DE SALUD



Fuente: Elaboración propia.

es representada como efecto de un conjunto de cuatro elementos: medio ambiente, desarrollo social, desarrollo económico y diversidad cultural. Podemos proponer que cada elemento reproduce un patrón general de arquitectura fractal con estructura de holograma. Noten en la Figura 9 que el elemento desarrollo económico tiene aquí una estructura fractal donde se articulan salud, medio ambiente, desarrollo social y diversidad cultural. O aún el elemento medio ambiente, que va a revelar otra faceta de la misma interacción, con una estructura fractal donde se articulan salud, desarrollo económico, desarrollo social y diversidad cultural.

TRANSDISCIPLINARIEDAD COMO ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE LA COMPLEJIDAD

Una lectura metodológica de las nuevas perspectivas paradigmáticas no encuentra una determinación de lo empírico sobre lo conceptual. Lo conceptual es construido, creado a través de una práctica cotidiana de investigación, como nos enseña Juan Samaja en su magistral obra *Epistemología y Metodología* (23), pero él no sobrevive sino por referencia a los objetos concretos. La mera existencia de un objeto concreto no garantiza, ni genera un objeto de conocimiento, aunque la producción de objetos de

conocimiento puede generar objetos concretos. Cada vez hay más ejemplos en la historia reciente de la ciencia de generación de objetos concretos, como verificamos en la física moderna (30) o mismo en todos los objetos en el mundo de la informática, que es un espacio cibernetico (el famoso *cyberspace*), un mundo creado y que ahora se constituye como realidad, en este caso como realidad virtual.

Resta la cuestión de cómo operacionalizar (o sea, realizar en la práctica) abordajes de complejidad en el campo de la salud. Para alcanzar la deseada "síntesis de la complejidad", es cierto que será necesario producir discursos capaces de atravesar fronteras disciplinarias. Para que una comunicación interdisciplinaria efectiva (interparadigmática, interétnica, etc.) se establezca, será imprescindible compartir lenguajes y estructuras lógicas y simbólicas (96). Paradojalmente, en el caso que eso ocurra, será porque las fronteras ya no tienen sentido. ¿Pero no es esta apertura de las fronteras disciplinarias justamente la demanda que se impone a la ciencia contemporánea? ¿No será exactamente ésta la vía privilegiada (quizás la única vía) de acceso a los objetos complejos de la vida, de la historia, de la salud? ¿Pero cómo operar estrategias de aprendizaje/aproximación introduciendo la complejidad en los procesos de producción del conocimiento?

Considerando este conjunto de cuestiones más allá que una síntesis intraparadigmática en el ámbito de cada campo científico, he defendido (68, 97, 98, 99, 100) la necesidad de síntesis transdisciplinarias construidas en la práctica transitiva de los agentes científicos particulares que operan en el campo de la salud. La síntesis paradigmática permite una participación interesada inclusive de los especialistas, que podrán tener su sesgo disciplinario enriquecido con aportes transdisciplinarios. Aunque solo una segunda síntesis será capaz de dar cuenta del objeto complejo por medio de totalizaciones provisorias, construidas a través de una práctica cotidiana "transversal" de los sujetos del conocimiento y operadas en lo concreto de sus aparatos cognitivos. Evaluando el potencial de aplicación de esa concepción alternativa de transdisciplinariedad al contexto contemporáneo de la salud, adelanté que la formación de esos agentes

sería esencialmente "anfibia", con etapas sucesivas de entrenamiento-socialización-culturización en los distintos campos científicos que estructuran el campo de las prácticas que llamamos Salud Colectiva.

Este posicionamiento ha sido objeto de intensos debates, lo que me ha traído más oportunidades de avanzar y profundizar algunos de sus puntos principales. Ayres (101) pone en duda mi optimismo propositivo, señalando que nada garantiza que del tránsito de los sujetos científicos resultará alguna transdisciplinariedad y que la naturaleza de mi acto de definir una transdisciplinariedad podría abortar una "promisoria vocación subversiva" de la propuesta. Encuentro que eso es posible, pero solo la práctica nos permitirá saber. Conuerdo que las síntesis paradigmáticas compartidas son una condición esencial para cualquier movimiento de síntesis transdisciplinaria. Sin embargo el movimiento de la transdisciplinariedad se debe iniciar con algún grado de concordancia de los estatutos de científicidad de los objetos en los respectivos campos. Las contribuciones de Sevalho (102) y Portocarrero (103) pusieron en danza objetos fronterizos, híbridos, complejos, cuasi objetos, objetos estructurados, semiestructurados y no estructurados revelados por los estudios sociales de las ciencias. A partir de esa plataforma, se podría avanzar en la propuesta de una nueva familia de objetos científicos simultáneamente fronterizos, híbridos, mestizos y complejos, los "transobjetos". En ese caso, en forma diferente a lo que señala Castiel (104), los "objetos complejos" no comprenden solo sistemas adaptativos con grados diferenciados de complejidad, sino también "productos culturales" resultantes de una práctica social. Constatando que la transdisciplinariedad se sitúa en el registro de una "doble ruptura epistemológica", Carvalheiro (105) hace una seria restricción (con la cual concuerdo integralmente) a la concepción de que la movilidad transdisciplinaria sería privilegio exclusivo de los campos de la ciencia.

Aceptando el debate (98), recurri a la distinción austiniiana entre acto locucionario (donde la palabra expresa algún sentido), acto ilocucionario (que trae una intención al decir algo) y acto perlocucionario (en que hablar produce ciertos efectos, deseados o no) para posicionarme en

relación a la cuestión central del debate: "¿será que la mera locución de la serie propositiva 'multi-pluri-inter-meta-trans-disciplina' en verdad no esconde un proyecto de construcción semántica y pragmática de un objeto en campo?" Ni como un formalismo ni como una propuesta doctrinaria más, mi acto ilocucionario vagamente pretendió cierta "subversión atenuada" de cuño ostensivamente pragmático. Pretendí inicialmente hacerlo por la deconstrucción del discurso convencional de la disciplinariedad, seguida de una propuesta de definición provisoria e interesada de la transdisciplinariedad como superación pragmática del esquema vigente.

Posteriormente, Vasconcelos (96) propuso la construcción de un proyecto interdisciplinario de práctica científica en una perspectiva que considero más crítica. Primero, amplía el objetivo de la cuestión para más allá de la disciplinariedad, incluyendo interacciones e interfaces no solo entre campos disciplinares, sino también conexiones interparadigmáticas, interteóricas, multiprofesionales, etc. Segundo, inspirado en propuestas de construcción de un nuevo sentido común emancipatorio correspondiente a la "segunda vuelta epistemológica" (1, 106), contextualiza la cuestión de las prácticas multi-pluri-inter-trans al concepto de "campos de saber/hacer" y la conecta al tema de los nuevos paradigmas. Finalmente, buscando una saludable apertura pragmática, Vasconcelos (96) articula una tipología descriptiva de sistemas equivalentes a cuatro modalidades de práctica (multi-, pluri-, pluri-auxiliar, inter-) y un campo (trans-). Coincidimos en lo que dice respecto a los dos primeros puntos, especialmente porque ya estaban ambos incluidos en la serie de críticas antes resumida. Aún así, y para mantener el debate vivo, diría con relación al tercer punto que no tiene sentido considerar la conexión *inter-* exclusivamente como práctica ni la modalidad *trans-* como campo. Por el contrario, creo que el dinamismo de los tránsitos, de las travesías, de las transiciones apuntan mucho más para procesos prácticos que para formas topológicas estructuradas tipo "campos".

De hecho, la noción de transdisciplinariedad había sido originalmente concebida por Jean Piaget (107) articulada a la proposición de una epistemología genética que, no obstante su

potencial, fue concebida como metaproyecto, un devenir inalcanzable, y no como concepto en sentido estricto. Las proposiciones posteriores de sus discípulos, principalmente en el campo de la filosofía de la educación, no consiguieron escapar del idealismo neokantiano y su evaluación optimista del potencial transformador de la praxis humana. Allí encuentro un primer elemento de crítica, cuando se propone que el sueño piagetiano (o más precisamente, el de sus herederos intelectuales) de la transdisciplinariedad hoy tendría dadas las condiciones de ser realidad.

La propuesta de articulación entre complejidad y transdisciplinariedad de Morin (21, 95, 108) implica una referencia a la capacidad del pensamiento complejo de lidiar con la incertidumbre y la posibilidad de autoorganización, más allá de su dependencia de la noción de "unidad del conocimiento". Es justamente en esa "utopía de la síntesis", que concentro el foco de mi crítica, desarrollada en los textos citados anteriormente, bajo tres aspectos: en primer lugar, el abstraccionismo de Morin, a pesar de expresar un pensamiento creativo, fascinante y seductor, se aparta cada vez más del rigor epistemológico necesario ante los embates por la consolidación de nuevas formas de práctica científica. En segundo lugar, creo que su definición casi estructuralista de transdisciplinariedad, con énfasis en disciplinas, superposiciones, intersticios y espacios vacíos, pierde la oportunidad de considerar el carácter transitivo, praxiológico y "sin ataduras" de aquel concepto. En tercer lugar, su tratamiento de las relaciones entre transdisciplinariedad y complejidad, proponiendo una dudosa equivalencia de nivel simultánea a una especificidad teórica, resulta en jerarquización y discriminación de los espacios de aplicación de los conceptos.

Realmente, conforme a lo correctamente señalado por Vasconcelos (96), las relaciones entre complejidad y transdisciplinariedad habían sido poco exploradas en los textos anteriores sobre el tema. Esto ocurrió porque me pareció más adecuado concentrar la discusión sobre el problema de los límites (a propósito, una de las vertientes de definición de la complejidad), porque no me agrada la noción de interfaz: se trata de una aceptación implícita de la inevitabilidad de las fronteras (o fases, o faces) disciplinares, justamente lo que la permeabilidad y la transitividad

de la idea/práctica de la transdisciplinariedad buscan superar. Más que definir o especificar una construcción doxológica con la idea de transdisciplinariedad, pretendí observar y registrar una potencialidad de desarrollo de objeto, método y campo científico, proponiendo formas de crítica y articulación lógica, epistemológica y praxiológica de un dado discurso/práctica.

Realmente no conseguí encontrar manera más apropiada de abordar la hermenéutica científica vigente que recurriendo a Samaja (23) y a su propuesta de uso de la noción kantiana de los juicios sintéticos que subyacen en la dualidad análisis/síntesis. No obstante, mantengo el argumento que, en una perspectiva de crítica histórica, toda operación de sintetización produce totalizaciones provisorias, a través de una práctica cotidiana de producción de "objetos práxicos". Más allá de eso, no me parece adecuado usar la categoría "complejidad" para resumir el conjunto de propiedades de los objetos concretos, realzando las raíces ontológicas de los procesos complejos como elementos esenciales para la constitución del nuevo paradigma. Este posicionamiento converge plenamente con Samaja (26) que, en una obra más reciente, propone una importante reflexión sobre aspectos ontológicos de la salud-enfermedad-atención y sobre las condiciones de producción de conocimiento transdisciplinario sobre objetos tan peculiares, en los planos semántico, sintáctico y pragmático.

En este sentido, Samaja y yo parecemos concordar con Boaventura Santos (24) sobre la necesidad de transformación radical del sistema de formación de los sujetos de la ciencia, en el contexto de un nuevo paradigma, capaz de construir síntesis y operar tránsitos no sólo interdisciplinas, sino interparadigmas y, más aún, entre los

saberes de la vida y los conocimientos de la ciencia. Conforme señala Morin (21 p.125-126), "precisamos pensar/repensar el saber, no sobre la base de una pequeña cantidad de conocimientos como en los siglos XVII y XVIII, sino considerando el estado actual de dispersión, proliferación, parcelamiento de los conocimientos". De acuerdo; sin embargo, no debemos procurar un enciclopedismo leonardiano con base en la genialidad de sujetos individuales, y sí una forma renovada de enciclopedismo construido colectivamente. Cada vez más el proceso de producción del conocimiento científico será social, político institucional, matricial, amplificado. En ese escenario, la producción competente de la ciencia hará viables abordajes totalizantes, a pesar de parciales y provisarios, síntesis transdisciplinarias de los objetos de la complejidad.

En suma, la proposición de transdisciplinariedad que defendemos se sustenta en la relación entre ciencia en cuanto red de instituciones del campo científico y ciencia como modo de producción de conocimiento, mediada en todas las instancias por el concepto de práctica científica (23, 26). Se trata de un abordaje materialista histórico de la ciencia, fundamentando una definición pragmática de la transdisciplinariedad como proceso, estrategia de acción, modalidad de práctica, y no como propiedad de objetos complejos o atributo de complejidad de relaciones modelo entre campos disciplinares. De esa manera, tendrá más sentido señalar el carácter instrumental de la transdisciplinariedad como práctica de transformación de la "ciencia normal" en ciencia "revolucionaria", para respetar la terminología kuhniana, en la emergencia de nuevos paradigmas en el campo científico y de nuevas estrategias de acción en el campo de la práctica social.

NOTAS FINALES

a. Del griego *khaòs*, que designa el estado desorganizado del mundo antes de tornarse en cosmos (término también originario del griego, que significa "mundo del orden"); según Rey (109).

b. El espacio de fase es un espacio hipotético con más dimensiones que las tres del espacio euclíadiano, capaz de aceptar representaciones gráficas

de un sistema dinámico dado con el auxilio de coordenadas que sintetizan valores simultáneos de las variables del sistema (14, 15). El dispositivo de las coordenadas cartesianas, adecuado para expresar gráficamente funciones binomiales lineales y apenas parcialmente capaz de representar funciones lineales trinomiales, no podría ser usado para el análisis de funciones polinomiales no lineales características de los sistemas dinámicos complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Santos BS. *Introdução a uma Ciência Pós-Moderna*. Rio de Janeiro: Graal; 1989.
2. Attinger EO. *Dynamic Modeling and Health Policy Research*. Technical Papers. Ginebra: WHO/RPD/SOC; 1985.
3. Castellanos PL. Avances metodológicos en epidemiología. En: *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Epidemiologia: epidemiología e desigualdade social, os desafios do final do século*. Campinas: Abrasco; 1990. p.201-216.
4. Almeida-Filho N. Paradigmas em Epidemiología. En: *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Epidemiología: epidemiología e desigualdade social, os desafios do final do século*. Campinas: Abrasco; 1990.
5. Schramm F, Castiel LD. Processo Saúde/Doença e Complexidade em Epidemiología. *Cadernos de Saúde Pública*. 1992;8(4):379-390.
6. Castiel LD. *O Buraco e o Avestruz - A singularidade do adoecer humano*. Campinas: Papirus; 1994.
7. Koopman J, Longini I. The Ecological Effects of Individual Exposures and Nonlinear Disease Dynamics in Populations. *American Journal of Public Health*. 1994;84:836-842.
8. Almeida-Filho N. The paradigm of complexity: applications in the field of public health. En: *Advisory Committee on Health Research. A Research Policy Agenda for Science and Technology to Support Global Health Development*. Ginebra: World Health Organization. 1997. p.1-15.
9. Chaves M. Complexidade e Transdisciplinariedad: Uma abordagem multidimensional do Setor Saúde. *Revista Brasileira de Educação Médica*. 1998;22(1):7-18.
10. Almeida-Filho N. *La Ciencia Tímida - Ensayos de deconstrucción de la epidemiología*. Buenos Aires: Lugar Editorial; 2000.
11. Breilh J. *Epidemiología Nueva*. Buenos Aires: Lugar Editorial; 2004.
12. Stewart I. Chaos. *Scientific American*. 1986;255(6):38.
13. Ruelle D. *Hasard et Chaos*. Paris: Odile Jacob; 1991.
14. Lorenz E. *The Essence of Chaos*. Chicago: University of Chicago Press; 1993.
15. Percival I. Chaos: a science for the real world. En: HALL N, editor. *Exploring Chaos*. New York: Norton; 1994. p.11-22.
16. Boulding K. General Systems Theory - The Skeleton of Science. *Management Science*. 1956; 2:197-208.
17. Von Bertalanffy L. General Systems Theory: A Critical Review. *General Systems*. 1962;7:1-20.
18. Atlan H. *Entre le Crystal et la Fumée*. París: Seuil; 1981.
19. Prigogine I, Stengers I. *La Nouvelle Alliance*. París: Gallimard; 1986.
20. Morin E. On the Definition of Complexity. En: Aida E, editor. *The Science and Praxis of Complexity*. Tokyo: United Nations University; 1984. p.62-68.
21. Morin E. *Introduction à la Pensée Complète*. París: Editions Sociales Françaises; 1990.
22. Lewin R. Complexity - Life at the edge of chaos. New York: McMillan; 1992.
23. Samaja J. *Epistemología y Metodología*. Buenos Aires: Eudeba; 1996.
24. Santos BS. Introdução. En: Santos BS, organizador. *Conhecimento Prudente para uma Vida Decente - Um Discurso sobre as Ciências*. San Pablo: Cortez; 2004.
25. Godfrey-Smith P. *Theory and Reality*. Chicago: University of Chicago Press; 2003.
26. Samaja J. *Epistemología de la Salud*. Buenos Aires: Lugar Editorial; 2004.
27. Robson C. *Real World Research*. Oxford: Blackwell; 1996.
28. Edmonds B. What is Complexity? En: Heylighen F, Aerts D, editores. *The Evolution of Complexity*. Dordrecht: Kluwer; 1996. p. 20-26.
29. Bunge M. *Nature des Objets Conceptuels* (Ch. 3). En: *Épistémologie*. París: Maloine; 1983.
30. Powers J. *Philosophy and the New Physics*. Londres: Methuen; 1982.
31. Gleick J. *Chaos - The Making of a New Science*. New York: Penguin; 1986.
32. Castoriadis C. *Science moderne et interroga-tion philosophique*. En: *Les Carrefours du Labyrinthe*. París: Seuil; 1978.
33. Coveney P. Chaos, entropy and the arrow of time. En: HALL N, editor. *Exploring Chaos*. New York: Norton; 1994. p.203-213.
34. Delattre P, Thellier M, editores. *Élaboration et justification des modèles*. París: Maloine; 1979.

35. Zeeman C. Differential equations for the heartbeat and nerve impulse. En: *Towards a Theoretical Biology*. Edinburgh: Edinburgh University Press; 1972.
36. Thom R. *La Théorie des Catastrophes et ses Applications*. En: *Reflexions sur des nouvelles approches dans l'étude des systèmes*. Chatenay: ECAM; 1975.
37. Thom R. *Paraboles et Catastrophes*. París: Flammarion; 1985.
38. Anderson R. *Population Dynamics of Infectious Disease: Theory and Application*. Londres: Chapman and Hall Press; 1982.
39. Arnold V. *Teoria das Catástrofes*. Campinas: Editora Unicamp; 1989.
40. Philippe P. *Chaos, Population Biology and Epidemiology: Some Research Implications*. Human Biology. 1993;65:525-546.
41. Daniels H. A perturbation approach to nonlinear deterministic epidemic waves. En: Mollison D, editor. *Epidemic Models: Their structure and relation to data*. Cambridge: Cambridge University Press; 1995. p.202-215.
42. Struchiner C, Brunet R, Halloran ME, Massad E, Azevedo-Neto R. On the use of state-space models for the evaluation of health interventions. *Journal of Biological Systems*. 1995;3(3):851-865.
43. Halloran ME, Struchiner C. Study designs for dependent happenings. *Epidemiology*. 1991;2: 331-338.
44. Eckman J-P, Ruelle D. Ergodic theory of chaos and strange attractors. *Reviews of Modern Physics*. 1985;57:617-656.
45. Schaffer W, Kot M. Nearly one-dimensional dynamics in an epidemic. *Journal of Theoretical Biology*. 1985;112:403-427.
46. Olsen L, Schaffer W. Chaos versus noise periodicity: alternative hypotheses for childhood epidemics. *Science*. 1990;249:499-504.
47. Grenfell B, Bolker B, Kleckowski A. Seasonality, Demography and the Dynamics of Measles in Developed Countries. En: Mollison D, editor. *Epidemic Models: Their structure and relation to data*. Cambridge: Cambridge University Press; 1995. p.248-268.
48. Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. New York: Freeman; 1982.
49. Mandelbrot B. *Fractals - a geometry of nature*. En: Hall N, editor. *Exploring Chaos*. New York: Norton; 1994. p.122-135.
50. Series C. *Fractals, reflections and distortions*. En: Hall N, editor. *Exploring Chaos*. New York: Norton; 1994. p.136-149.
51. Mullis K. The Unusual Origin of Polymerase Chain Reaction. *Scientific American*. 1990;262 (4):56-65.
52. Rabinow P. *Making PCR. A Story of Biotechnology*. Chicago: University of Chicago Press; 1996.
53. Hannerz U. *Cultural Complexity: Studies in the social organization of meaning*. New York: Columbia University Press; 1993.
54. Krieger N. Epidemiology and the Web of Causation: Has anyone seen the spider? *Social Sciences & Medicine*. 1994;39(7):887-903.
55. Susser M, Susser E. Choosing a future for epidemiology: II. From black box to Chinese boxes and eco-epidemiology. *American Journal of Public Health*. 1996;86:674-677.
56. Schwartz S. The Fallacy of the Ecological Fallacy: The potential misuse of a concept and its consequences. *American Journal of Public Health*. 1994;84(5):819-824.
57. Susser M. The Logic in Ecological: I. The Logic of Analysis. *American Journal of Public Health*. 1994;84(5):825-829.
58. Lipsitz LA, Goldberger A. Loss of "complexity" and aging: potential applications of fractals and chaos theory to senescence. *Journal of the American Medical Association*. 1992;267:1806-1809.
59. Durrett R. *Spatial Epidemic Models*. En: Mollison D, editor. *Epidemic Models: Their structure and relation to data*. Cambridge: Cambridge University Press; 1995. p.187-201.
60. Castellanos PL. *Sistemas Nacionales de Vigilancia de la Situación de Salud Según Condiciones de Vida y del Impacto de las Acciones de Salud y Bienestar*. Washington: OPS/OMS; 1991. p.53.
61. Samaja J. *Vigilancia Epidemiológica de los ambientes en que se desarrollan los procesos de la reproducción social*. En: *Memorias del 6º Congreso Latinoamericano y 8º Congreso Mundial de Medicina Social*. Guadalajara: Alames; 1994.
62. Levy BS. Editorial: Toward a Holistic Approach to Public Health Surveillance. *American Journal of Public Health*. 1996;86(5):624-625.
63. Desrosiers A. La partie pour le tout: Comment généraliser? La préhistoire de la contrainte de représentativité. *Journal de la Société de Statistique de Paris*. 1988;129(1-2):97-116.

64. Mcneill D, Freiberger P. Fuzzy Logic. New York: Simon & Schuster; 1993.
65. Costa N. Ensaio sobre os Fundamentos da Lógica. San Pablo: Hucitec-Edusp; 1980.
66. Zadeh L. Toward a Theory of Fuzzy Systems. En: Kalman R, Declaris N, editores. Aspects of Network and Systems Theory. New York: Holt, Rinehart & Winston. 1971. p. 469-490.
67. Almeida-Filho N. A Clínica e a Epidemiologia. Salvador, Rio de Janeiro: Apce, Abrasco; 1992.
68. Almeida Filho N. A Ciência da Saúde. San Pablo: Hucitec; 2000.
69. Maturana H. El sentido de lo humano. Santiago: Hachette; 1992.
70. Maturana H, Varela F. El árbol del conocimiento. Santiago: Editorial Universitaria; 1984.
71. Maturana H. Cognição, Ciéncia e Vida Cotidiana. Belo Horizonte: Editora UFMG; 2001.
72. Mezzich J, Almeida-Filho N. Epidemiology and Diagnostic Systems in Psychiatry. Acta Psychiatrica Scandinavica. 1994; 90 (suppl. 385):61-65.
73. Almeida-Filho N, Corin E, Bibeau G. Rethinking Transcultural Approaches to Mental Health Research. From Epistemology to Methodology. Transcultural Psychiatry [En prensa].
74. Massad E, Struchiner C. Fuzzy Logic and Risk Assessment in Environmental Studies. Procedente de Ecological Summit 96; 19-23 agosto 1996; Copenhague, Dinamarca.
75. Massad E, Menezes R, Silveira P, Ortega N, organizadores. Métodos Quantitativos em Medicina. San Pablo: Manole; 2004.
76. Rosch E. Natural Categories. Cognitive Psychology. 1973;4:328-350.
77. Lakoff G. Women, Fire and Dangerous Things. Berkeley: University of California Press; 1993.
78. Zadeh L. A Note on Prototype Theory and Fuzzy Sets. Cognition. 1982;12:291-297.
79. Johansen M, Karterud S, Pedersen G, Gude T, Falkum E. An investigation of the prototype validity of the borderline DSM-IV construct. Acta Psychiatrica Scandinavica. 2004; 109(4):289-98.
80. Barabási A-L. Linked. New York: Plume; 2003.
81. Strogatz S. Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order. New York: Theia; 2003.
82. Watts D. Small Worlds. Princeton NJ: Princeton University Press; 1999.
83. Albert R, Barabási A-L. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*. 2002;74(1):47-97.
84. Newman M. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*. 2003;45:167-256.
85. Gulati R, Gargiulo M. Where do interorganizational networks come from? *American Journal of Sociology*. 1998; 104(5): 1439-93.
86. Milgram S. The Small World Problem. *Psychology Today*. 1967;2:60-67.
87. Grindrod P, Kibble M. Review of uses of network and graph theory concepts within proteomics. *Expert Review of Proteomics*. 2004; 1(2):229-38.
88. Promislow DE. Protein networks, pleiotropy and the evolution of senescence. *Proceeding Biological Sciences*. 2004;271(1545):1225-1234.
89. Morton JB, Munakata Y. What's the difference? Contrasting modular and neural network approaches to understanding developmental variability. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*. 2005;26(2):128-39.
90. Lee KH, Farrow TF, Spence SA, Woodruff PW. Social cognition, brain networks and schizophrenia. *Psychological Medicine*. 2004; 34(3):391-400.
91. Tsonis PA, Tsonis AA. A "small-world" network hypothesis for memory and dreams. *Perspectives in Biology and Medicine*. 2004; 47(2):176-80.
92. Boily MC, Godin G, Hogben M, Sherr L, Bastos FI. The impact of the transmission dynamics of the HIV/AIDS epidemic on sexual behaviour: a new hypothesis to explain recent increases in risk taking-behaviour among men who have sex with men. *Medical Hypotheses*. 2005; 65(2):215-26.
93. Meyers LA, Pourbohloul B, Newman ME, Skowronski DM, Brunham RC. Network theory and SARS: predicting outbreak diversity. *Journal of Theoretical Biology*. 2005;232(1):71-81.
94. Massad E, Burattini MN, Lopez LF, Coutinho FA. Forecasting versus projection models in epidemiology: the case of the SARS epidemics. *Medical Hypotheses*. 2005;65(1):17-22.
95. Morin E. Os sete saberes necessários à educação do futuro. Brasilia: UNESCO; 2003.
96. Vasconcelos EM. Complexidade e Pesquisa Interdisciplinar - Epistemologia e Metodologia Operativa. Petrópolis: Vozes; 2002.
97. Almeida-Filho N. Transdisciplinaridade e Saúde Coletiva. Ciéncia & Saúde Coletiva. 1997; II(1/2):5-20.

98. Almeida-Filho N. Transdisciplinaridade em Saúde Coletiva: Formação ou Subversão (Ou um Barato?). *Ciência & Saúde Coletiva*. 1997; II(1/2): 49-52.
99. Almeida-Filho N. Sobre as Relações entre Complexidade e Transdisciplinaridade em saúde (Ensaio dedicado a Mario Chaves). *Revista da ABEM*. 1998;22(2/3):22-30.
100. Almeida-Filho N. Intersetorialidade, transdisciplinaridade e saúde coletiva: atualizando um debate em aberto. *Revista Brasileira de Administração Pública*. 2000;34(6):9-32.
101. Ayres JR. Deve-se definir transdisciplinaridade? *Ciência & Saúde Coletiva*. 1997;II(1/2):36-38.
102. Sevalho G. Contribuição ao debate do artigo de Naomar de Almeida-Filho. *Ciência & Saúde Coletiva*. 1997;II(1/2):24-26.
103. Portocarrero V. Transdisciplinaridade em Saúde Coletiva: Tópicos Filosóficos Complementares. *Ciência & Saúde Coletiva*. 1997;II(1/2):39-45.
104. Castiel LD. Debate sobre o artigo de Almeida-Filho "Transdisciplinaridade e Saúde Coletiva". *Ciência & Saúde Coletiva*. 1997;II(1/2):27-30
105. Carvalheiro JR. Transdisciplinaridade dá um barato. *Ciência & Saúde Coletiva*. 1997;II(1/2): 21-23.
106. Santos BS. Um Discurso sobre as Ciências. San Pablo: Cortez; 2003.
107. Piaget J. Biologie et connaissance. París: Gallimard; 1967.
108. Morin E. La Tête Bien Faite - Répenser la réforme, réformer la pensée. París: Éditions du Seuil; 1999.
109. Rey A. Dictionnaire Historique de la Langue Française. París: Dictionnaires Le Robert; 1993.

FORMA DE CITAR

Almeida-Filho N. Complejidad y Transdisciplinariedad en el Campo de la Salud Colectiva: Evaluación de Conceptos y Aplicaciones. *Salud Colectiva*. 2006;2(2):123-146.

Recibido el 15 de noviembre de 2005

Versión final presentada el 14 de febrero de 2006

Aprobado el 22 de marzo de 2006