



**Título: Las ciencias de la complejidad y la innovación médica. Ensayos y Modelos.**

Coordinadores: Enrique Ruelas Barajas, Ricardo Mansilla, Javier Rosado.

Secretaría de Salud e Instituto de Física del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, Grama Editora, S.A.  
 ISBN: 968-719-107-4  
 © 2006, Secretaría de Salud e Instituto de Física del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México  
 © 2006, Grama Editora, S.A.

**INTRODUCCIÓN**

Dr. Javier Rosado([Nota 1](#))

Este texto es la continuación del libro *Las Ciencias de la Complejidad y la Innovación Médica*, que publicaron, en el año 2005, la Secretaría de Salud, el Instituto de Física y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Al igual que su predecesor incluye ensayos sobre temas innovadores de relevancia para la ciencia médica, los cuales tienen como hilo conductor la aplicación de conceptos y técnicas inherentes a la teoría de la complejidad. Además, expone el desarrollo de modelos específicos relacionados con la investigación biológica y la salud humana. Los autores de los capítulos tienen el mérito de que lograron que los temas aquí

tratados, altamente especializados, quedaran al alcance del lector con estudios profesionales que no posee conocimientos profundos de matemáticas.

Viene a cuento señalar que las herramientas derivadas de las llamadas “ciencias de la complejidad” son paradigmas en construcción, por lo cual las aproximaciones que hasta ahora se han alcanzado permiten vislumbrar soluciones promisorias para problemas que ahora parecen irresolubles en el campo de la medicina y en otras disciplinas.

En el primer decenio del siglo XXI, la sociedad humana enfrenta una situación diversa y complicada, que en gran parte es resultado de un capitalismo caracterizado por “crisis globalizadas”, con secuelas de pobreza, hambre, contaminación, conflictos sociopolíticos y demográficos, que, desde luego, tienen repercusiones en los sistemas de salud.

Precisamente en lo que atañe a estos sistemas, los problemas relevantes se manifiestan en diferentes escalas. Con el objeto de proceder de lo general a lo particular se puede mencionar, en primer lugar, su organización, un tema que abordan en el capítulo 1 los Dres. Enrique Ruelas, Germinal Cocho y Moisés Villegas, quienes desarrollan conceptos generales desde una perspectiva que, en cierto sentido es inédita e innovadora. Los instrumentos a los que hacen referencia constituyen una nueva metodología para investigar y estudiar los sistemas complejos en el campo médico, con posibles extrapolaciones a otras áreas del conocimiento. Después se refieren a la lucha que se libra en contra de las epidemias y enfermedades infecciosas que, en otros países, desde hace tiempo dejaron de ser problemas primarios; la exposición general nos lleva, de manera lógica, a los retos de índole intelectual, referidos al genoma humano, el cual, como expone el Dr. Mansilla en su capítulo, plantea esenciales dilemas éticos para nuestra especie. Sin duda la clonación de seres vivos, la manipulación genética de alimentos y el uso social que se dé al pronóstico de enfermedades degenerativas hacen que la humanidad se enfrente a disyuntivas de alcances éticos, jurídicos y filosóficos nunca antes vistos.

Se exponen, así mismo, los retos relacionados con los problemas estructurales de los organismos vivos, que tienen múltiples causas, y para los cuales aún no tenemos respuestas satisfactorias: enfermedades como la diabetes y cardiopatías. En lo que respecta al corazón, el Dr. Arce comenta en su capítulo que la comprensión cabal del funcionamiento de este músculo aún está lejos de alcanzarse. No obstante, se han logrado éxitos notables a partir de la aplicación de modelos basados en sistemas dinámicos caóticos, lo cual abre un promisorio campo a la investigación interdisciplinaria. En esta misma línea el Dr. Sánchez describe los modelos morfogenéticos, de manera por demás lúcida y amena, los cuales constituyen una bella síntesis de ecuaciones de reacción-difusión y procesos bioquímicos que nos aproximan a la formación de patrones en los seres vivos. También se abordan temas de interés social, en particular las redes complejas de interacción, las cuales constituyen una importante herramienta para comprender los fenómenos colectivos de salud, como las epidemias y otros procesos infecciosos. Los Dres. Mateos y Miramontes, en sus respectivos capítulos, nos ofrecen una panorámica general de las mismas, desde la perspectiva de los sistemas complejos. Es importante mencionar que los planteamientos anteriores han surgido como consecuencia de una crisis metodológica derivada del agotamiento de los paradigmas de la linealidad y del reduccionismo. Esta crisis tiene su principal manifestación en los instrumentos del pensamiento que en el pasado fueron útiles para investigar y enfrentar múltiples problemas, pero que ahora muestran, de manera evidente, sus limitaciones. Se debe enfatizar esta afirmación, ya que en la actualidad contamos con nuevos y potentes instrumentos que son productos de una revolución del pensamiento que abre nuevas posibilidades para resolver problemas añejos y nuevos.

En la actualidad no es raro escuchar que el ser humano enfrenta las llamadas "paradojas de la salud", según las cuales a pesar del gran desarrollo tecnológico no ha sido posible solucionar problemas que pudieran y debieran resolverse, y que son fuente de insatisfacción, colectiva e individual, con respecto a la salud y bienestar, y que dan la impresión de que se amplía más la brecha entre salud y enfermedad.

Los problemas que agobian a la humanidad son muy diversos y complejos, amén de que comprenden múltiples variables que interactúan entre sí, y cuyas manifestaciones en las diversas escalas es necesario conocer, con el fin de proponer soluciones congruentes.

Resulta en este punto pertinente plantear algunas interrogantes en relación a dicha problemática: ¿tiene limitaciones el método clínico actual?, ¿a qué se debe el deterioro de la relación médico—paciente?, ¿qué estado guardan las relaciones entre la población y los sistemas de salud?, ¿es adecuada la cobertura que brindan los servicios de salud?, ¿se puede mejorar la organización de los sistemas de salud?, ¿se debe profundizar y ampliar la cooperación interdisciplinaria? y ¿qué importancia tiene la organización burocrática en la prestación de los servicios de salud? Al respecto cabe afirmar que los temas incluidos en este libro hacen aportaciones detalladas para dar respuesta a estas preguntas.

El intelecto humano ha recorrido un camino largo para llegar a esta nueva dimensión del pensamiento. En medicina se intentó abordar la problemática de la salud con las herramientas del pensamiento sistémico hasta el decenio de 1940, no sólo en lo que respecta a la organización de los servicios, sino al método clínico. Entonces se propagó una noción más holística del proceso salud-enfermedad, que reforzó el concepto del paciente como un ente integrado por cuerpo y mente e inmerso en un contexto social, a la vez se incorporó el concepto de salud *no sólo como la ausencia de enfermedad, sino, además, se amplió al bienestar biopsicosocial completo*. Se tomó conciencia también del concepto de estilo de vida, que hizo énfasis en la relevancia de las condicionantes económicas, políticas y socioculturales para poder estar “verdaderamente sano”.

A pesar de todo el esfuerzo llevado a cabo, en clínica, y en el resto de las disciplinas científicas clásicas, aún predomina el método reduccionista y mecanicista basado en el método hipotético deductivo, que ocasionalmente ha servido para elaborar “paradigmas” como el infeccioso, biomolecular y genetista, el cual, si bien ha permitido grandes avances, no ha considerado de manera plena las diferentes escalas del movimiento de la materia, ni observar el comportamiento colectivo de las

variables y las propiedades emergentes que se generan en los procesos que realiza el organismo humano. Hasta ahora ha predominado un enfoque que tiene como fundamento la linealidad para estudiar la dinámica de los organismos vivos; debido a esto algunos procesos resultan inexplicables dado que comprenden una multitud de variables y comportamientos en apariencia catastróficos, porque no responden a una simple suma ni a la proporcionalidad de sus componentes. Lo anterior ocasiona que las conclusiones sobre dichos fenómenos no sean correctas. En la medida en que se observan los problemas médicos en su manifestación más complicada, se percibe la necesidad de trascender el pensamiento clásico, para dar continuidad a lo útil y examinar lo que de manera intuitiva percibimos que sólo con nuevas herramientas lo podremos comprender. "Algo especial ha de estar pasando con la ciencia ahora que nos encontramos al borde del milenio" escribieron a finales del siglo pasado, los notables físicos Germinal Cocho y Gustavo Martínez Meckler en su trabajo intitulado «Al borde del milenio: caos, crisis y complejidad» (Fondo de Cultura Económica) en el que nos aproximan a una nueva forma de hacer ciencia, de una manera novedosa que no se divorcia de la filosofía natural de otros tiempos. En ese documento destacan como característica fundamental la participación interdisciplinaria en calidad de una de las puntas de lanza de la investigación más promisorias. La nueva forma de hacer ciencia poco a poco construye un marco conceptual que remueve el sustrato de las diferentes disciplinas. Así el nuevo planteamiento consiste en pasar de la noción según la cual el todo se puede explicar si se divide en sus partes, a una concepción en la que el todo es más que la simple suma de sus partes. Lo antes expuesto implica una condición cualitativa que resulta clara conforme se conocen, a partir de sus diferentes escalas, las propiedades que emergen y se perciben en su comportamiento. Los avances en los campos de la física, la matemática y la computación nos conducen a un mundo en donde la inestabilidad, los sistemas no equilibrados y la irreversibilidad de los procesos, pueden ser estudiados con éxito, en el cual será

factible profundizar en el conocimiento de las dinámicas de los sistemas, sus propiedades emergentes y sus parámetros de orden y control para comprender los procesos.

El nuevo planteamiento es más la regla que la excepción, como afirma el físico Octavio Miramontes: "En la naturaleza hay un sinnúmero de ejemplos de sistemas complejos que van desde las reacciones químicas autocatalíticas hasta procesos de índole social y cultural. La naturaleza posee una notable tendencia a estructurarse en elementos discretos excitables que interactúan y se organizan en niveles jerárquicos de creciente complejidad; por ello, los sistemas complejos de ninguna manera son casos raros ni curiosidades, sino que dominan la estructura y el funcionamiento del universo. En síntesis, los sistemas complejos poseen propiedades genéricas independientemente de los detalles específicos de cada sistema o de sus bases naturales.

En la naturaleza existen estos sistemas y sus procesos pueden o no presentar comportamientos complejos. Éstos se ven asociados con el nivel de descripción y con los aspectos estructurales, dinámicos y funcionales en los que se enfoca la atención, de lo que se colige que la contradicción dialéctica holismo-reduccionismo puede solucionarse mediante una síntesis complementaria.

Como lo expresa Murray Gell-Man: "Una de las características de los sistemas complejos no lineales es que no pueden, en general, ser analizados exitosamente determinando con antelación un conjunto de propiedades o aspectos estudiados por separado, para luego combinar esos tratamientos parciales en un intento de formar una imagen del todo".

Yanner Bam Yam dice que uno de los puntos clave consiste en comprender cómo se relaciona el concepto de la complejidad con su emergencia (aparición) y la simplicidad emergente. Sólo podremos entender la complejidad a partir de los informes relacionados con la descripción de los elementos y la manera en que su comportamiento incrementa la complejidad colectiva del sistema en su totalidad. Por ende, para entender la complejidad que emerge de un sistema es necesario tener en mente "un nuevo marco conceptual".

El físico José Luis Mateos plantea: "En primer lugar es fundamental que el sistema sea no lineal; en el campo de la física la no linealidad comprende el estudio del movimiento de los elementos que integran un sistema con relación a las fuerzas internas y externas no lineales que inciden en él; en estos sistemas la relación no es proporcional al aumento o disminución del valor de una variable con relación a otra. Así, el todo no debe entenderse meramente como la suma de los componentes más simples. El todo es más que la suma de sus partes. En segundo lugar es necesario que el sistema se encuentre fuera del equilibrio termodinámico, es decir, que sea abierto e interactúe con el exterior. Ambas condiciones pueden dar lugar a fenómenos emergentes como la formación de patrones, la sincronización o la vida misma".

Pero además José Luis Mateos precisa que si bien estas dos condiciones del sistema (la no linealidad y el que se encuentre fuera equilibrio), aun cuando sean necesarias para que emerjan las propiedades en un sistema complejo resultan insuficientes. Vale la pena reiterarlo: estos sistemas por lo regular tienen un gran número de variables que interactúan entre sí, y estas interacciones locales son suficientes para producir propiedades emergentes globales en virtud de la arquitectura o la geometría de la red que conforman. Los sistemas complejos se manifiestan de disímiles maneras; en ocasiones son "disipativos", pues intercambian energía, materia e información con su entorno. Sus procesos se mantienen lejos del equilibrio, en una zona entre el orden y el desorden, que en algunas ocasiones es llamada *borde de caos* o *transición de fase*, que da cabida a la aparición de estructuras espaciales y temporales con la funcionalidad correspondiente, en la que aparecen las ya mencionadas propiedades emergentes tales como el aprendizaje y la autoorganización. Con frecuencia sus respuestas no lineales se deben a la interacción microscópica de sus componentes, la peculiaridad de sus estructuras y sus correlaciones de largo alcance. Así, un sistema dinámico, por entero determinista, adopta un comportamiento en apariencia azaroso que se denomina caótico (en la literatura científica se aborda como parte de la teoría del caos determinista).

Otros sistemas complejos básicamente se hallan estructurados en redes. Se pueden citar como ejemplos las redes bioquímicas y sociales. Su robustez depende de su conectividad, es decir, de los nodos, atajos, conexiones que tengan. A partir del estudio de las redes de un sistema es posible advertir la relevancia de sus nodos así como sus propiedades más notables. Vale la pena enfatizar que las matemáticas ofrecen también técnicas cualitativas relevantes para la comprensión y el análisis de los sistemas. No obstante, buena parte de sus propiedades novedosas se han obtenido por medio de simulaciones computacionales. Es importante señalar que en la actualidad el estudio de los sistemas complejos no puede llevarse a efecto sin el poderoso instrumento de la computación, y que el progreso alcanzado en este campo está vinculado estrechamente a ésta. En resumen, el marco conceptual sobre el que descansa esta nueva forma más sólida y avanzada de explorar los sistemas (que se basa en las aportaciones recientes de la física y la matemática) es el que corresponde a la dinámica no lineal y a los sistemas complejos. La medicina no escapa al "signo de los tiempos", por ello a partir del conocimiento de éstos, es posible concebir a los organismos vivos como los sistemas complejos por excelencia, lo que obliga a realizar una revisión epistémica de los principios que la rigen.

Si los organismos vivos son sistemas complejos y, por lo tanto, poseen la característica de ser disipativos y alejados del equilibrio, es necesario revisar el concepto de homeostasis, que ya el Dr. Rosenblueth definía como el equilibrio inestable.

Acorde con lo anterior y si además se considera que las dinámicas predominantes del organismo son no lineales, es conveniente superar la visión reduccionista de la suma de las partes para entender el todo y la proporcionalidad de las respuestas, sobre todo en la actitud terapéutica. Pero también identificar las transiciones de fase que en ocasiones se pueden interpretar de manera equivocada como enfermedad. En consecuencia resulta más que apropiado revisar nuestros conceptos de salud y

enfermedad para vislumbrarlos a la luz del nuevo conocimiento. Aunque en medicina aún no se ha establecido como una tendencia universalmente admitida la aplicación de los métodos derivados de la teoría de los sistemas complejos, se han hecho ya acercamientos exitosos a problemas concretos desde este nuevo paradigma, como lo demuestra el hecho de que León Glass y un equipo interdisciplinario en Canadá hayan emprendido el estudio de las dinámicas de los ritmos fisiológicos del organismo humano. Estos investigadores han enfocado el estudio de las dinámicas de las enfermedades con herramientas no lineales. Por su parte Andrew J.E. Serly y Nicholas V. Christian, de los departamentos de cirugía y cirugía crítica del Centro Médico de la Universidad de Mc Gill en Montreal, Canadá, exploran este paradigma para estudiar la Disfunción Orgánica Múltiple en el paciente en estado crítico. John Marshal en el Hospital General de Toronto, Canadá, y Tim Wilson, en Inglaterra, enfocan el análisis de los pacientes en terapia intensiva a la luz del paradigma de los sistemas complejos. A la vez en Honduras y Colombia se llevan a cabo los primeros trabajos de análisis conceptual que empiezan a estudiar el ritmo cardiaco y el ritmo respiratorio del feto mediante series de tiempo y la reconstrucción de atractores para ahondar en el conocimiento de su dinámica. La búsqueda de un conocimiento más preciso de los ritmos normales ha impulsado estudios e investigaciones en cardiología, neurología, psiquiatría, rehabilitación física y, sobre todo, en epidemiología. En la actualidad se comienzan a aplicar modelos basados en los agentes de contagio y el diseño de redes complejas con el fin de analizar y controlar la diseminación de las enfermedades infecto-contagiosas. En neurología y psiquiatría la profundización en el conocimiento de los procesos del pensamiento hace posible disponer de elementos teóricos y prácticos que permitan superar la dicotomía entre la mente y el cuerpo. Esta tendencia internacional ha trascendido al Instituto de Sistemas Complejos de Nueva Inglaterra, que ya creó un departamento para el estudio de problemas en salud.

En México, el Departamento de Sistemas Complejos del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, pionero en la investigación de este paradigma, inició su difusión en medicina con el apoyo decidido de la Subsecretaría de Innovación y Calidad de la Secretaría de Salud Federal, y desde hace cuatro años se analiza la aplicación del nuevo paradigma en la actividad médica, en sus diferentes áreas de acción, por medio de una serie de seminarios, sin importar que se trate de tópicos tan diversos como el estudio del genoma humano, la prevención y promoción de la salud, el control de las epidemias, la atención, rehabilitación, organización y administración de los sistemas de salud. De hecho, este libro es, en alguna medida, el fruto de ese esfuerzo. Como punto de partida de esta nueva teoría se busca la aproximación a la forma en que pueden abordarse los problemas médicos a partir del nuevo paradigma y sus herramientas metodológicas, bajo la premisa de que el organismo integral es un sistema complejo, que posee una dinámica propia en diferentes escalas, entre ellas la social. El conocimiento preciso de las respuestas y propiedades emergentes permitirá elaborar planes de acción para el control de enfermedades complejas y su manejo clínico, así como para promover el autocuidado y el desarrollo integral de salud en sus diferentes niveles de acción: prevención, atención clínica, rehabilitación, enseñanza e investigación, con la esperanza de que todo sirva de estímulo al lector para que penetre en este mundo formidable que le ofrece sólidas esperanzas de encontrar respuestas efectivas para resolver los problemas que enfrentan los sistemas de salud. Finalmente, como complemento de esta obra, se incluye un *software* elaborado por el Dr. García Barrios, el cual permite que el lector profano tenga una idea más clara de lo que son los diferentes sistemas complejos, a partir de sus simulaciones computacionales. Gracias a este disco compacto, el lector podrá relacionarse con los conceptos de sincronización, autoorganización, atractor extraño, generación de fractales, procesos emergentes y en general, la no-linealidad en los sistemas.

(Nota 1) Médico Pediatra; Doctor en Administración de Organización de la Facultad de la Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de México