

La investigación en medicina: un nuevo enfoque basado en Sistemas Complejos [\(NOTA 1\)](#)

Dr. José Luis Mateos [\(NOTA 2\)](#)

[Agradecemos a los doctores Enrique Ruelas Barajas, Ricardo Mansilla, Javier Rosado, coordinadores del libro, así como al autor del artículo la autorización para su publicación.]

En años recientes el estudio de los sistemas complejos ha tenido un auge muy importante, no obstante, queda aún mucho por investigar, ya que se trata de una teoría muy vasta, variada y altamente interdisciplinaria. Dado que nuestro campo de acción es la medicina, este capítulo aborda en su primera parte algunas nociones sobre los sistemas complejos y en la segunda se centra en el análisis de ciertas aplicaciones de las Ciencias de la Complejidad a la disciplina médica y a los sistemas de salud.

Sistemas complejos

Los seres humanos vivimos en un mundo complejo, si miramos a nuestro alrededor podemos advertir la enorme complejidad de nuestro entorno, la cual se manifiesta de muchas maneras: la variabilidad climática, el carácter impredecible de los terremotos, la increíble organización interna de los seres vivos, desde los unicelulares hasta los multicelulares, las estructuras sociales de algunos insectos, la

diversidad de las especies en nuestro planeta y los sistemas económicos en la sociedad humana, por mencionar sólo unos cuantos. Hasta hace poco tiempo las ciencias exactas, como la física, no habían logrado determinar de manera clara el origen de dicha complejidad, ya que se habían enfocado, en gran medida, al estudio de sistemas más simples, o bien, a simplificar los sistemas complejos conforme al esquema reduccionista. Sin embargo, desde hace unas tres décadas ha surgido un enorme interés por ampliar los conocimientos sobre los sistemas complejos, desde el punto de vista de la física.

Puede afirmarse que el reduccionismo en la ciencia ha sido muy exitoso y ha permitido dilucidar en buena medida muchos fenómenos. Su idea central consiste en descomponer el sistema de estudio en sus elementos más simples, con la finalidad de entender en detalle dichos componentes (o ladrillos fundamentales) y con la esperanza de que a partir de estas piezas, sea posible comprender al sistema en su conjunto. En algunas ocasiones este programa funciona adecuadamente, como sucede con la física del estado sólido o la física de materiales, por ejemplo, áreas de estudio en las que se descompone un material en los átomos o moléculas que lo conforman, y una vez entendidos éstos, se procede a deducir las propiedades macroscópicas con base en dichos elementos microscópicos. Este esquema funciona gracias al hecho de que la mecánica cuántica, que explica el mundo microscópico, es una teoría lineal y permite entender al sistema en su totalidad a partir de la superposición de los elementos que lo integran.

Sin embargo, en el caso de los sistemas complejos, este programa reduccionista no funciona de manera adecuada, ya que en general se caracterizan por tener una dinámica no lineal, y, por ende, la totalidad no puede ser representada como la suma de las partes. Pensemos, por ejemplo, en lo siguiente: toda la materia está formada por átomos; en el universo hay un centenar de átomos diferentes, y con ellos se forma todo tipo de cosas: el aire que respiramos, el agua, los metales, las rocas, las montañas, los océanos, las bacterias, las plantas y los animales. Cabe entonces preguntar: ¿cuál es la diferencia entre un

trozo de roca y un ser vivo, si ambos están hechos esencialmente con los mismos ladrillos fundamentales? Por lógica, la respuesta a esta pregunta no puede provenir sólo de la física atómica o la química, sino que es necesario recurrir a un nuevo paradigma según el cual *la totalidad es más que la suma de las partes*

. Este paradigma holístico también nos dice que en un sistema complejo surgen propiedades emergentes. Por ejemplo, un ser vivo es más que la suma de sus átomos, y el cerebro humano es más que la suma de sus neuronas. En el primer caso la propiedad emergente es la vida misma, y en el segundo, la inteligencia y la conciencia.

A pesar de que aún estamos lejos de entender bien este paradigma, recientemente ha surgido un enorme interés en estudiar los sistemas complejos a partir de un marco conceptual común, que podríamos denominar: *ciencia no lineal o ciencia de la complejidad*, que abarca nociones como la teoría del caos, la geometría fractal, los autómatas celulares, los sistemas dinámicos no lineales, la sincronización, la autoorganización, la computación emergente, las redes complejas, etc. Este nuevo campo de la ciencia surgió al mismo tiempo en la matemática, la física, la biología, la ecología y otras ciencias en la década de 1970, y es, por tanto, una ciencia esencialmente interdisciplinaria.

En el libro *Las Ciencias de la Complejidad y la Innovación Médica*, coordinado por Enrique Ruelas Barajas y Ricardo Mansilla, y editado por el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM, la Secretaría de Salud y Plaza y Valdés, que fue publicado en 2005, escribí un ensayo titulado *Caos y Complejidad*

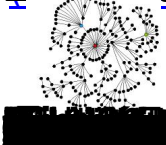
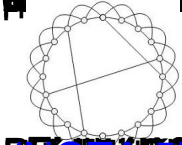
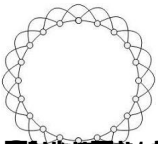
, en el cual expongo con cierto detalle los siguientes temas: fenómenos no lineales, sistemas complejos, caos y sus aplicaciones a biología, fisiología y medicina, sincronización, ruido, procesos estocásticos y la economía como un sistema complejo.

[\(NOTA 3\)](#)

En este capítulo me enfocaré a describir un campo muy reciente y dinámico: el que se refiere al estudio de las llamadas redes complejas.

Redes de mundo pequeño y redes complejas

Imaginemos la sociedad como una red; en matemáticas ésta se define como un conjunto de puntos o nodos, unidos entre sí por enlaces. Si hay un conjunto de puntos, es posible unirlos de diferentes maneras: enlazar todos con todos, o bien relacionar sólo un punto con sus vecinos más cercanos o unir los puntos al azar. Todas estas posibilidades dan como resultado diferentes tipos de redes. Por ejemplo, en la figura 1 se muestra una red integrada por 20 nodos que forman un círculo. Cada nodo está unido por medio de enlaces a sus cuatro vecinos más cercanos: dos a la derecha y dos a la izquierda; se trata de una red muy regular y ordenada, la cual puede representar diversos sistemas físicos, biológicos o sociales. Pongamos por caso: podría representar a personas que están interconectadas entre sí a través de conocidos o amigos. Entonces el esquema ilustrado en la figura 1 representaría a una sociedad de 20 individuos, cada uno con cuatro amigos. Si uno quisiera conectar dos nodos distantes con el número mínimo de enlaces, digamos el nodo 1 con el nodo 10, tendría que usar 5 enlaces: 1-3-5-7-9-10. También es posible saltar de dos en dos, gracias a la conectividad de la red ilustrada en dicha figura. Partimos de la suposición de que el nodo 1 es el más alto en la figura, y el 10 se encuentra diez sitios a la derecha. Si hubiera otra red en donde cada nodo estuviera conectado únicamente con sus dos vecinos cercanos (uno a la izquierda y otro a la derecha), entonces para enlazar el nodo 1 y el nodo 10, se requerirían 9 enlaces: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10.



[REDACTED]

(NOTA 5) (NOTA 6) (NOTA 7)

[REDACTED]

(al texto) [REDACTED] (NOTA 8) (NOTA 9) (NOTA 10)