



ARTÍCULO ESPECIAL

Caos, complejidad y cardiología

Manuel Martínez-Lavín

Departamento de Reumatología del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. México D.F., México.

Recibido el 9 de abril de 2010; aceptado el 29 de septiembre de 2011.

PALABRAS CLAVES

Caos; Complejidad; Sistema nervioso autónomo; Fibromialgia; Sistemas adaptativos complejos; México.

Resumen

La ciencia es una disciplina en constante evolución. La medicina moderna está basada en la ciencia. El paradigma médico vigente es lineal y reduccionista. Existe una nueva teoría general avalada por cálculos computacionales avanzados, la teoría del caos y la complejidad. Esta nueva visión probablemente modificará la práctica de la medicina. La cardiología fue una puerta de entrada de la complejidad, al campo de la medicina. El caos y los fractales son fenómenos frecuentes en la fisiología cardiovascular. Además, los análisis computacionales de los ritmos cardíacos han permitido conocer mejor enfermedades complejas, muy frecuentes en la práctica clínica, que no eran entendibles mediante acercamientos lineales y reduccionistas. Tal es el caso de las disautonomías, incluyendo los síndromes de intolerancia ortostática, el síndrome X cardíaco y la fibromialgia, entre otros. Desde la perspectiva de la complejidad, se desprende una diferente actitud diagnóstica y terapéutica, el holismo científico.

KEYWORDS

Chaos; Complexity; Autonomic nervous system; Fibromyalgia; Complex adaptive systems; Mexico.

Chaos, complexity and cardiology

Abstract

Science is an ever-changing discipline. Modern medical knowledge is based on science. Current medical paradigm is both linear and reductionist. There is a new general theory validated by computer's calculations named chaos and complexity theory. This new paradigm will probably have an impact on medical practice. Cardiovascular physiology may display fractal and/or chaotic behavior. Computerized heart rhythm analyses enhanced our understanding of complex diseases otherwise not explainable by current linear-reductionist paradigms. Cases in point are diverse dysautonomia including orthostatic intolerance, cardiac X syndrome and fibromyalgia. Derived from this, new knowledge is a different diagnostic and therapeutic stance: scientific holism.

Correspondencia: Manuel Martínez Lavín. Departamento de Reumatología. Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Juan Badiano No.1. Col. Sección XVI. C.P. 14080. México D.F. México. Correo electrónico: drmartinezlavin@gmail.com

Introducción

Los seres humanos han utilizado a la ciencia en un intento por mejorar la calidad de su vida, explicar su entorno y entender su propia trascendencia. La ciencia ha sido factor fundamental, en el avance del conocimiento médico. El paradigma utilizado por la medicina científica ha sido predominantemente lineal y reduccionista. Empero, hay un nuevo modelo científico derivado de la teoría del caos y la complejidad, que probablemente tendrá un fuerte impacto en la práctica de la medicina, incluyendo la cardiología. Este nuevo enfoque es el holismo científico.

Este ensayo intenta esbozar el desarrollo de la medicina, dentro de la ciencia. Discute también las intersecciones entre la teoría del caos - complejidad, el holismo científico y la cardiología. La cardiología ha sido una puerta de entrada de la teoría de la complejidad, al campo de la medicina. Los análisis de la variabilidad de los ritmos cardiacos, han permitido explicar enfermedades complejas no entendibles, mediante acercamientos lineales - reduccionistas.

La ciencia y el método científico

La ciencia es el conocimiento sistematizado, elaborado a partir de observaciones de patrones, sobre los que se pueden aplicar razonamientos, construir hipótesis y esquemas metódicamente organizados. La ciencia utiliza diferentes métodos y técnicas para adquirir y organizar conocimientos, los cuales se hacen accesibles a otros investigadores, mediante su escritura detallada. La aplicación de esos métodos conduce a la generación de más conocimientos, que pueden llegar a estructurarse como teorías o leyes generales.¹ La ciencia está basada en un criterio de verdad, pero también de corrección permanente. La verdadera ciencia no pretende ser perfecta, pero si demanda ser perfectible. La verdad científica es un concepto relativo, que no se aloja en el pasado, sino que se irá descubriendo de manera escalonada en el futuro.

El método científico se define como el conjunto de pasos fijados de antemano por una disciplina, con el fin de alcanzar conocimientos válidos, mediante instrumentos confiables. Dicho método científico está sustentado por dos pilares fundamentales. El primero de ellos es la reproducibilidad, es decir, la posibilidad de repetir un determinado experimento, en cualquier lugar y por cualquier persona. El segundo pilar es la falsabilidad, en otras palabras, la posibilidad de que un hallazgo sea sometido a pruebas y lo puedan refutar.¹ Estos dos pilares son aplicables solamente a las ciencias experimentales.

La medicina científica

El conocimiento médico actual está basado en gran parte en evidencias científicas. La historia de la medicina científica se remonta a Hipócrates, considerado el Padre de la Medicina, por postular que las enfermedades no eran castigo divino, sino que tenían explicaciones naturales. Después de un largo oscurantismo, el Renacimiento fue un terreno fértil para el desarrollo científico. Como lo señala el académico e historiador De Micheli,² la ciencia moderna

se desarrolla gradualmente en el posrenacimiento, en la senda del pensamiento físico-matemático de Galileo. En el campo de la medicina, se desplegó la anatomía con Andrés Vesalio (1514-1565), la fisiología con William Harvey (1578-1657), la microscopía con Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). Siglos después la bacteriología con Luis Pasteur (1822-1895) y Roberto Koch (1843-1910).³ En el siglo XX, la medicina científica eclosionó con el desarrollo de vacunas, medicamentos y con el perfeccionamiento de la anestesia. La tecnología introdujo la endoscopia, mejoró la imagenología y la analítica paraclínica, asimismo descubrió la biología molecular. Esta lista de avances médicos recientes, es obviamente incompleta.

La historia de la cardiología está integrada al desarrollo de la medicina, se encuentra compendiada y plasmada de manera enérgica en los murales de Diego Rivera del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez de México.⁴ En el siglo XX, la cardiología evolucionó de ser una disciplina clínica de estetoscopio, esfigmomanómetro y electrocardiograma, para volverse predominantemente una especialidad quirúrgica-tecnológica.

La medicina científica vigente es lineal y reduccionista

El método científico actual es lineal y reduccionista. Lineal porque busca una relación directa entre la causa y el efecto de un fenómeno. Su arquetipo es la segunda ley de Newton, en donde la intensidad del estímulo es proporcional a la magnitud de la respuesta. En medicina, esta "linealidad" está representada por la correlación anatómo-clínica. A un conjunto de síntomas y signos (el efecto), debe corresponder una lesión histica específica (la causa). De acuerdo a este paradigma, si el daño orgánico no se corrobora, significa que la enfermedad no existe o que pertenece al campo de la siquiatria. Las sesiones anatómo-clínicas fueron un ejemplo, de la predominancia de la medicina lineal a finales del siglo XX. Dichas sesiones, constituían el evento cardinal de los grandes hospitales y de las mejores revistas médicas.^{5,6}

El reduccionismo propone fragmentar el problema a estudiar en sus partes. Escudriñar cada parte de manera aislada, bajo la premisa que si se entienden los fragmentos, se entenderá el conjunto. Con una visión geométrica clásica, el reduccionismo propone que *todo es igual a la suma de sus partes*. En medicina, esta visión reduccionista está representada por el asombroso avance de la imagenología. Ahora es posible detectar cualquier lesión en el interior del cuerpo, sin necesidad de abrir la piel. Otra evidencia de reduccionismo en medicina es la existencia de especialidades y subespecialidades médicas. La oftalmología, la cardiología o la gastroenterología tienen una visión profunda, pero a veces parcelar del paciente y su sufrimiento.⁷ Ignacio Chávez señalaba ya con maestría, las ventajas y los peligros del reduccionismo en la especialización médica.⁸

Sin pretender hacer juicios de valor, algunos algoritmos cardiológicos se antojan profundamente reduccionistas. En ciertas circunstancias, se quiere explicar y reducir la enfermedad de una persona a una obstrucción del más del 90%, de alguna de sus arterias coronarias. En tales

casos, el tratamiento se basa en el emplazamiento de una prótesis endovascular para recanalizar la arteria obstruida. El modelo médico vigente lineal-reduccionista, propone que la lesión orgánica es la esencia de la enfermedad.

La teoría de la complejidad

Existe un nuevo paradigma científico derivado de la teoría del caos y la complejidad. Esta nueva visión probablemente tendrá un impacto importante en la práctica de la medicina. La cardiología participó en la génesis y desarrollo de esta nueva visión. Un antecedente de la teoría de la complejidad es la *cibernética*. Esto es el estudio interdisciplinario de los sistemas regulados, por medio de realimentaciones. Arturo Rosenblueth acercó la cibernética a la medicina y a la cardiología. Sus investigaciones desarrolladas en parte en el Instituto Nacional de Cardiología de México, profundizaron en los sistemas de homeostasis, en particular el sistema nervioso autónomo y también en los ritmos complejos del corazón.⁹⁻¹¹ Norbert Wiener escribió gran parte de su libro fundacional "Cybernetics or the Control and Communication in the Animal and the Machine", durante su estancia como investigador invitado en el Instituto Nacional de Cardiología de México.

El desarrollo de la teoría del caos y de la complejidad se dio gracias a la pasmosa habilidad de las computadoras, para llevar a cabo cálculos que rebasan con mucho, la capacidad del cerebro humano. El experimento clásico de Edward Lorenz formalizó su gestación. Lorenz introdujo variables atmosféricas en un programa computacional, intentando predecir los cambios climáticos. Observó que una minúscula modificación en una de las variables al inicio de los cálculos (en el rango de milésimas de unidad), daba como resultado un desenlace totalmente diferente.¹² Esta *sensibilidad a las condiciones de partida*, conocida popularmente como *el efecto mariposa*, es una manifestación de *caos*. Caos se define como el comportamiento imprevisible, de los sistemas complejos gobernados por leyes deterministas.¹³ Como lo adelantó Moragrega Adame en 1994 mediante estudios ingeniosos, los ritmos cardíacos pueden tener un comportamiento caótico.¹⁴

De estos hallazgos, se han derivado una serie de conceptos nuevos avalados por cálculos matemáticos computacionales, los cuales conforman la teoría de la complejidad. Dos de estos conceptos parecen tener aplicaciones directas en la medicina y la cardiología, los sistemas complejos y los fractales.⁵

Sistemas complejos, fractales y el holismo científico

Los sistemas complejos son colecciones de unidades en constante interacción. De tal interacción, surgen propiedades nuevas (*emergentes*) que no están presentes en dichas unidades. Los sistemas complejos no están gobernados, sino que su control es autónomo y depende de realimentaciones positivas y negativas. Mediante estas realimentaciones, los sistemas se adaptan al medio ambiente. De aquí el término *sistemas adaptativos complejos*. El universo está lleno de sistemas adaptativos complejos. Las sociedades democráticas, las bolsas de

valores, los cardúmenes y los sistemas adaptativos del cuerpo humano, en particular el sistema nervioso autónomo, son sistemas complejos.¹³

El pensamiento es un ejemplo extremo del fenómeno de *emergencia* de los sistemas complejos. El pensamiento es el resultado de la interacción de millones de neuronas. Sin embargo, si escudriñamos a una neurona de manera aislada no encontraremos ni indicios ni vestigios de pensamiento. Los sistemas complejos viables trabajan en aparente desorden (en los linderos del caos), si un sistema complejo se ordena, su funcionamiento se degrada y ultimadamente fenece.

Los acercamientos lineales o reduccionistas no pueden comprender a los sistemas complejos. Debido a la *sensibilidad a las condiciones de partida*, en dichos sistemas la magnitud de las respuestas no va de acuerdo a la intensidad de los estímulos. Por otro lado debido al fenómeno de *emergencia*, en ellos, el todo es diferente a la suma de sus partes. La única manera de entender el funcionamiento de un sistema complejo es con una visión *holística*, estudiando al sistema en su conjunto y observando la adaptación a su entorno.

Otro concepto novedoso derivado de la teoría de la complejidad es el *fractal*. Definido como un objeto semi-geométrico, cuya estructura básica se repite a diferentes escalas (autosimilitud). Muchas estructuras del cuerpo humano tienen configuración fractal. Es el caso de la circulación pulmonar y del sistema eléctrico cardíaco. Las estructuras fractales son muy eficientes en los procesos de distribución y de absorción.

El término fractal también se aplica a los fenómenos temporales, que muestran trazos similares al ser medidos en diferentes escalas (días, horas, minutos). En situaciones saludables, la variabilidad de los ritmos cardíacos tiene comportamiento fractal⁵. Los cálculos lineales son incapaces de entender el funcionamiento de un fractal. La belleza intrínseca de las imágenes fractales generadas por computadoras, es quizá el argumento más contundente a favor de su veracidad.

La teoría de la complejidad aplicada a la medicina

Las nuevas ciencias de la complejidad, probablemente tendrán un fuerte impacto en la práctica de la medicina. El cuerpo humano es un sistema adaptativo complejo. El acercamiento lineal y reduccionista transmite una visión parcelar y estática de las personas, y en caso de enfermedad, de su sufrimiento. Contrario a la visión vigente, la cual sugiere que el comportamiento ordenado de nuestro organismo es saludable, la complejidad sugiere lo opuesto, el desorden es sano y la uniformidad dañina⁵. Dos ejemplos. En el contexto del ritmo sinusal, mientras más desordenados están los latidos cardíacos, más sana será la persona. La pérdida de la variabilidad del ritmo cardíaco es un índice predictivo de muerte súbita. Una producción desordenada (policlonal) de inmunoglobulinas mantiene al individuo sano, al poder diferenciarse de su medio ambiente y rechazar infecciones. En contraste, la proliferación ordenada (monoclonal) de inmunoglobulinas, significa susceptibilidad a infecciones y desarrollo del letal mieloma múltiple.

El paradigma vigente, sugiere que la esencia de la enfermedad es el daño orgánico. Por ende, las pesquisas diagnósticas del médico se afanan por encontrar dicho daño. En cambio, la complejidad propone que la esencia de la enfermedad es la disfunción. Entonces, la enfermedad se puede definir como cualquier disfunción del organismo, que provoque sufrimiento o disminuya la longevidad.⁷

Caos y fractales en cardiología

En el contexto del ritmo sinusal, la variabilidad de la frecuencia cardíaca refleja el funcionamiento del sistema nervioso autónomo. La variabilidad del ritmo cardíaco puede ser caótica. Sin embargo, este comportamiento se atenúa mediante el bloqueo parasimpático con atropina. En condiciones normales, la variabilidad del ritmo cardíaco tiene rasgos fractales. La pérdida de la fractalidad refleja una degradación de la complejidad del sistema nervioso autónomo¹⁵. Mediante el estudio no lineal de los ritmos cardíacos, podemos apreciar la resiliencia de nuestro principal sistema adaptativo complejo. Ya se dejó asentado, que el sistema eléctrico cardíaco y la circulación pulmonar son fractales. Esta peculiaridad les otorga una gran capacidad de transmisión y distribución.

Las enfermedades por pérdida de la complejidad de los sistemas adaptativos (disautonomías)

Existe un grupo grande de padecimientos no entendibles con un acercamiento lineal y reduccionista. Originan aproximadamente la tercera parte de todas las consultas médicas. Legiones de pacientes que deambulan de médico en médico. Grupos de enfermos sometidos a toda clase de onerosos procedimientos diagnósticos lineales, sin que se encuentre una explicación satisfactoria de su sufrimiento. Motivo de frustración y desencuentro entre pacientes y médicos. Ejemplos abundan. En el ámbito de la cardiología están los síndromes de intolerancia ortostática incluyendo al síncope neurocardiogénico, la precordialgia no isquémica y el síndrome X. En reumatología, la fibromialgia. En gastroenterología, el intestino irritado. La lista es mucho más extensa. Son síndromes que se traslapan entre ellos. La multiplicidad de síntomas incluyendo el dolor, la fatiga y la ansiedad, son manifestaciones comunes a todos ellos. Los estudios de variabilidad del ritmo cardíaco han encontrado, que en estos padecimientos la disautonomía es la patogenia subyacente común. Desde un punto de vista filosófico, estos síndromes se pueden conceptualizar como una degradación de la complejidad de nuestros sistemas adaptativos, como un intento fallido de adaptación a un medio ambiente hostil.^{6,7} La alta prevalencia de este tipo de enfermedades en la actualidad probablemente refleja el hecho que los seres humanos hemos hostilizado al medio ambiente. Dos ejemplos de ello: con la industrialización se ha perdido la noche. Antes el anochecer se acompañaba de oscuridad, silencio y descanso. Ahora la noche es ruido, luz y actividad. Otro ejemplo, los estudios de variabilidad del ritmo cardíaco han encontrado que en los habitantes de las grandes ciudades, hay

correlación entre la exposición a partículas contaminantes del aire y datos de predominio simpático.¹⁶

La mejor manera de entender estas enfermedades es con un abordaje holístico, observando al paciente en su totalidad y su adaptación al entorno.

El holismo científico ¿Un oxímoron?

Muchos científicos desdeñan el concepto *holístico*, asociándolo a rituales primitivos extravagantes e inútiles. Para muchos, el término “holismo científico” es un oxímoron. Sin embargo, la complejidad le otorga bases científicas al acercamiento *holístico*. Es importante enfatizar que holismo y reduccionismo no son corrientes opuestas, sino más bien complementarias. El holismo científico es el estudio de los sistemas complejos y su adaptación al medio ambiente.¹⁷ Privilegia el entendimiento de los mecanismos de realimentación. En el ámbito de la medicina el holismo se opone a la dicotomía cartesiana mente-cuerpo y adopta el entendimiento bio-sico-social de los pacientes y sus enfermedades. En el campo de la terapéutica rebasa la vigente especialización de tratamientos basados en la ingestión de fármacos, en cambio propone la atención de estos pacientes en clínicas de enfermedades complejas. Tal terapéutica constaría primordialmente de técnicas y disciplinas encaminadas a recobrar la complejidad de los sistemas adaptativos.⁷

Conclusión

Existe un nuevo paradigma científico llamado complejidad, que está basado en la más sólida de las ciencias, las matemáticas. La cardiología fue una puerta de entrada de la complejidad a la medicina. Los análisis de variabilidad de los ritmos cardíacos permiten apreciar el funcionamiento de nuestro principal sistema adaptativo complejo, el sistema nervioso autónomo. La complejidad le otorga sustento científico al holismo médico. Mediante técnicas electrocardiográficas avanzadas, se ha mostrado que múltiples enfermedades cuya patogenia era antes oscura, se deben probablemente a una degradación funcional de los sistemas adaptativos complejos.

Referencias

1. Bunge M. La ciencia su método y su filosofía. Buenos Aires, Nueva Imagen. 1994.
2. De Micheli A. ¿Cuándo nació la ciencia moderna? Arch Inst Cardiol Mex 2000;70:513-519.
3. Lyons AS, Petrucelli RJ. Medicine: An Illustrated History. New York. Abrams INC Publishers. 1978.
4. Chávez I. Diego Rivera. Sus frescos en el Instituto Nacional de Cardiología. México. Sociedad Mexicana de Cardiología. 1946.
5. Goldberger AL. Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. Lancet 1996;347:1312-1314.
6. Martínez-Lavin M, Infante O, Lerma C. Hypothesis: the chaos and complexity theory may help our understanding of fibromyalgia and similar maladies. Semin Arthritis Rheum 2008;37:260-264.
7. Martínez-Lavin M. Fibromyalgia conundrum. Is scientific holism the answer? The Rheumatologist 2008;2:26-27.
8. Chávez I. Grandeza y miseria de la especialización médica. Aspiración a un nuevo humanismo. Volumen 7. México. Cuadernos Americanos. 1959.

9. Guzik RG. Relaciones de un científico mexicano con el extranjero. El caso de Arturo Rosenblueth. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* 2009;40:43-67.
10. Alanis J, Rodriguez C, Rosenblueth A. Automatism of the auriculoventricular node. II. Effects of adrenaline and of the stimulation of the sympathetic fibers. *Arch Inst Cardiol Mex* 1955;25:571-592.
11. De Micheli A, Infante O, Izaguirre Ávila R. Acerca de algunos avances científicos y sus influencias en cardiología. *Arch Cardiol Mex* 2008;78:355-359.
12. Lorenz EN. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci* 1963;20:130-141.
13. Glass L, Mackey MC. *From clocks to chaos, the rhythms of life*. Princeton, NJ. Princeton University Press. 1988.
14. Moragrega-Adame JL. La frecuencia cardiaca como un fenómeno caótico. *Rev Latina Cardiol* 1994;15:179-187.
15. Sharma V. Deterministic chaos and fractal complexity in the dynamics of cardiovascular behavior: perspectives on a new frontier. *Open Cardiovasc Med Journal* 2009;3:110-123.
16. Pope CA 3rd, Verrier RL, Lovett EG, et al. Heart rate variability associated with particulate air pollution. *Am Heart J* 1999;138:890-899.
17. Wilson T, Holt T, Greenhalgh T. Complexity science: Complexity and clinical care. *BMJ* 2001;323:685-688.