

Enrique Ruelas Barajas* y Ricardo Mansilla Corona**

La medicina y las ciencias de la complejidad

HACE ALGUNOS AÑOS, al físico S. Hawking le preguntaron su punto de vista acerca de la muy extendida opinión que describe al siglo XX como la centuria de la biología mientras que el siglo XXI se vaticina como el siglo de la física. Hawking replicó que en su opinión el siglo XXI sería la centuria de la complejidad.

Si bien algunas mentes privilegiadas como H. Poincaré (1892) o G. Julia (1918) lograron atisbar a finales del siglo XIX las intrincadas estructuras de ciertos sistemas matemáticos, los cuales se convirtieron andando el tiempo en ejemplos paradigmáticos de sistemas complejos, no es hasta el último tercio del siglo XX, con el advenimiento de las computadoras digitales, que se dan las condiciones para la investigación a fondo de sistemas cuya complejidad había desafiado a las herramientas disponibles hasta entonces. De igual forma que el telescopio de Galileo cambió el panorama de la astronomía y la propia concepción del mundo de sus contemporáneos, las computadoras digitales abrieron un universo nuevo al escrutinio de los científicos en los albores del siglo XXI (Pagels 1989). Hemos alcanzado la posibilidad de investigar las estructuras de la complejidad en los diferentes niveles de organización de la materia, desde los estratos moleculares hasta los conglomerados poblacionales.

Esto es muy palpable en el ámbito de las ciencias médicas. El cuerpo humano es sin duda un sistema de sistemas, visión paradigmática de la complejidad de las escalas. Sus sistemas nerviosos simpático y parasimpático, los sistemas endocrino, respiratorio, gastrointestinal, por sólo citar aquí los más conocidos, hacen de nuestro cuerpo tal vez una de las mayores acumulaciones de estructuras interconectadas y encajadas de toda la naturaleza, rivalizada escasamente por otros seres vivos. Nuestro organismo posee una estructura de tal complejidad que permite la aparición de la propiedad emergente que llamamos conciencia, hasta ahora patrimonio de nuestra especie en todo el universo. Es el sistema complejo por excelencia.

Algunos investigadores vislumbraron esta magna estructura con gran anticipación, pero sin los adecuados instrumentos era imposible capturar todos los

* Expresidente de la Academia Nacional de Medicina de México. Correo electrónico: eruelas@salud.gob.mx

** Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades-UNAM. Correo electrónico: mansy@unam.mx

detalles de tan colosal fresco. Uno de estos adelantados fue el científico francés C. Bernal, quien en su obra *Introducción a la Medicina Experimental* de 1865 introdujo el concepto de homeostasis, intentando capturar con el mismo la estabilidad del funcionamiento del cuerpo humano. La homeostasis puede ser vista como una resistencia al cambio y es una propiedad general de todos los sistemas altamente complejos. Es el método que la naturaleza ha desarrollado para mantener el estado interno del cuerpo humano y otros sistemas similares (Aréchiga 2000).

Sin embargo, durante siglos las ciencias médicas se balancearon entre el oscurantismo medieval, que apuntaba a considerar las enfermedades como castigos a los pecados de los seres humanos (Rosen 2014), y la ideología proveniente de la revolución industrial, que transfiguró los conceptos de las ciencias médicas y la percepción de la salud a meras mediciones cuantitativas, que deberían expresarse en intervalos bien establecidos, de la misma manera que las máquinas sostienen su funcionamiento con parámetros subyacentes en intervalos de tolerancia prefijados. La asunción de la linealidad entre causa y efecto se apoderó de las ciencias médicas y sus procedimientos (West 2006).

Los valores promedio reafirmaron su reinado

La temperatura promedio del cuerpo, la frecuencia respiratoria promedio y la frecuencia cardiaca promedio le indicaban al médico si el paciente estaba enfermo. No había lugar para las fluctuaciones en esta propuesta. Un modelo fundamentalmente lineal concluye que las fluctuaciones no contienen información útil. Esto se hizo patente en la obra de A. Quetelet (*Sur l'homme et le développement de ses facultés. Essai d'une physique sociale* (El hombre y el desarrollo de sus facultades. Un ensayo sobre física social, 1835)), quien utilizó la distribución gaussiana para explicar las desviaciones a partir del "hombre promedio", no sólo como una abstracción filosófica, sino como una realidad biológica, resultado de la genética y la evolución. Él interpretó la variabilidad humana como un error, de la misma manera que Gauss hizo con los errores de medición físicos. A este tipo de razonamiento no estuvieron ajenos los galenos de la época. Esto fue sin duda el inicio de la incompreensión de la complejidad en las ciencias médicas.

Las fronteras de este mundo ordenado comenzaron a derrumbarse a finales del siglo XIX, como ya hemos dicho, con los trabajos de H. Poincaré, quien descubrió las huellas del caos en medio del sincrónico mundo de la gravitación newtoniana. Esto, aunado a las observaciones hechas por R. Brown en 1827 acerca del movimiento de partículas microscópicas, y las investigaciones de H. Von Helmholtz, E. Weber, C. Ludwig y J. Müller en la década de 1840 en Alema-

nia, establecieron con claridad la idea de que el reduccionismo, que había servido con éxito en la construcción de máquinas, parecía no funcionar bien cuando se trataba de sistemas biológicos.

Nuevos paradigmas: la complejidad

La última etapa de esta revolución se inicia con el trabajo de E. Lorenz (1963) sobre los flujos periódicos no deterministas en la atmósfera. Por primera vez los “detalles” que habían sido desdeñados por los científicos y calificados de “ruido” o “perturbación” recibían la atención que realmente merecían en las formulaciones no lineales que, producto de la explosión en la potencia de las computadoras digitales, quedaban ahora accesibles al escrutinio y aplicación de los investigadores.

Uno de los más importantes descubrimientos de esa época fue hecho por M. Feigenbaum (1978). Por medio de simulaciones numéricas estableció las escalas en las que debían ocurrir los llamados “doblamiento de periodo”¹ en la ruta al caos. Es realmente notable que una de las primeras confirmaciones experimentales de este resultado teórico ocurriera en el área de la fisiología. En el año 1981, M. Guevara, L. Glass y A. Shrier (1981) mostraron que, estimulando con impulsos eléctricos células cardíacas de embriones de pollo, se observaban respuestas que seguían el escenario de doblamiento de periodo descubierto por Feigenbaum.

El incremento en el uso de equipos médicos que poseen interfaces con dispositivos digitales ha aumentado de forma explosiva la cantidad y la calidad de los datos fisiológicos. Esto sin duda ha redundado en una mejor comprensión de los sistemas del cuerpo humano. Por poner algunos ejemplos, los estudios relacionados con el funcionamiento del cerebro, el corazón y sus ritmos propios, así como la secuenciación y manipulación de largas cadenas de ADN, son logros de las ciencias modernas que sólo se pudieron alcanzar gracias a la accesibilidad de los dispositivos digitales, que han brindado un nivel de precisión en el estudio de estas estructuras nunca antes visto. Igualmente, la posibilidad de entender los fenómenos epidémicos ha dependido de nuestra capacidad de simularlos.

1 Existen tres formas de transitar los sistemas hacia un régimen caótico: la ruta de Ruelle-Takens relacionada con el surgimiento de la turbulencia, la ruta por medio de intermitencias y la tercera por doblamiento de periodos. Esta última ocurre cuando las trayectorias aumentan la longitud de su periodo doblándolo en cada ocasión, hasta llegar a una situación crítica a partir de la cual el sistema se vuelve caótico. Se ha detectado en una multitud de fenómenos distintos, tales como estimulación de células cardíacas, dinámica de poblaciones, turbulencia hidrodinámica, etc.

Los paradigmas de la teoría de los sistemas complejos han influido también en otros fenómenos que atañen a la transición entre salud y enfermedad y a la naturaleza de los sistemas de salud. El manejo de las instituciones de salud ha tenido, desde el punto de vista conceptual, las mismas limitaciones que el enfoque reduccionista en el estudio de las enfermedades.

Por ello, entre 2003 y 2004, en México, la Secretaría de Salud Federal inició un seminario continuo para analizar estos temas con la participación de expertos, unos en complejidad y los otros en sistemas de salud. Amplio fue el espectro de temas que se barrió en aquellos seminarios. Desde modelos audaces de la evolución de la dinámica del ADN hasta novedosas técnicas de estudio de las redes complejas, con todas sus implicaciones en varias áreas del quehacer científico médico y de la administración de los sistemas de salud.

Como resultado de aquellos esfuerzos, en el año 2005 se publicó el libro *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica* (Ruelas y Mansilla 2005). En el mismo aparecieron básicamente las contribuciones al seminario original, aunque también contenía las aportaciones de otros especialistas. Un año después vio la luz la obra *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica: Ensayos y modelos* (Ruelas, Mansilla y Rosado 2006). Éste era sin duda un intento más maduro en la dirección de aplicar los conceptos y paradigmas de la Teoría de los Sistemas Complejos a las distintas áreas de las ciencias médicas. No obstante, seguían siendo buenos propósitos e intenciones. Se imponía una rendición de cuentas de la efectividad del proceso. Una década después, y con motivo de la celebración de los ciento cincuenta años de la fundación de la Academia Nacional de Medicina de México, se impulsó un nuevo proyecto editorial desde diferentes planos de análisis: la enfermedad individual, las enfermedades desde una perspectiva epidemiológica, las organizaciones de atención médica y los sistemas de salud: *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica: Aplicaciones* (Ruelas y Mansilla 2015).

En el ámbito de la educación, el Diplomado en Medicina y Ciencias de la Complejidad inició sus sesiones en 2009. Es un esfuerzo conjunto del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, la Facultad de Medicina de la UNAM y otras instituciones. Se abordan temas básicos de la teoría de la complejidad y sus aplicaciones a diferentes ramas de las ciencias médicas. Orientado inicialmente a profesionales de la salud, ha contado también con la presencia de científicos sociales de un amplio espectro, así como físicos y matemáticos interesados en introducirse a la aplicación de los métodos de la teoría de la complejidad a las ciencias médicas.

En la actualidad parece imposible renunciar a los métodos de la teoría de la complejidad si se trata de ahondar en la comprensión de los procesos de salud y enfermedad. El éxito de las investigaciones médicas en el futuro estará ligado

al nivel de comprensión del personal de salud de los nuevos paradigmas de esta teoría. ■

Referencias

- Aréchiga, H. *Homeostasis*. México DF: Colección Conceptos, CEIICH-UNAM, 2000.
- Feigenbaum, M. «Quantitative Universality for a Class of Non-Linear Transformations.» *Journal of Statistical Physics* 19 (1978): 25-52.
- Guevara, M., L. Glass y A. Shrier. «Phase locking, period doubling bifurcations and irregular dynamics in periodically stimulated cardiac cells.» *Science* 214 (1981): 1350-1353.
- Julia, G. «Mémoire sur l'iteration des fonctions rationnelles.» *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* 4 (1918).
- Lorenz, E. «Deterministic nonperiodic flow.» *Journal of Atmospheric Sciences* 20 (1963): 130-141.
- Pagels, H. *The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity*. Simon & Schuster, 1989.
- Poincaré, H. *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. Gauthier-Villars, 1892.
- Rosen, W. *The third horseman. Climate change and the great famine of the 14th century*. Viking, Penguin Group, 2014.
- Ruelas B. E. y R. Mansilla. *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica: Aplicaciones*. Academia Nacional de Medicina de México, 2015.
- y R. Mansilla (coords.). *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica*. México DF: CEIICH-UNAM, Secretaría de Salud, México y Plaza y Valdés, 2005.
- , R. Mansilla y J. Rosado (coords.). *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica. Ensayos y modelos*. México DF: Secretaría de Salud, Instituto de Física y CEIICH-UNAM, 2006.
- West, B. «Where medicine went wrong.» En *Studies of Nonlinear Phenomena in Life Science*. World Scientific, 2006.