



Las Teorías de Caos y de Complejidad en Cirugía

PATIÑO J.F., MD., SCC (HON.), FACS (HON.).

En su libro *El Fin de las Certidumbres*, el Nobel Ilya Prigogine, se refiere al nacimiento, en el curso de los últimos decenios, de una nueva ciencia: la física de los procesos de no equilibrio, de la dinámica de los sistemas dinámicos inestables, y al surgimiento de conceptos nuevos como la auto-organización y las estructuras disipativas. “Hoy, los desarrollos de la física y las matemáticas del caos y la inestabilidad abren un nuevo capítulo...”

El avance espectacular de la física de no equilibrio, la de los procesos disipativos caracterizados por un tiempo unidireccional, asociados a la idea de *caos*, lleva a Prigogine a presentar en su libro la transformación de las leyes de la física y, por ende, de toda nuestra descripción de la naturaleza.

La noción del *caos*, término que hoy se utiliza para designar comportamiento no periódico, se ha popularizado e invade todos los ámbitos de la ciencia.

Caos se refiere a un restringido grupo de fenómenos que suceden de manera predeciblemente impredecible, de fluctuación e inestabilidad muy sensibles a las condiciones iniciales, de comportamiento no periódico (aperiódico) y de recurrencia de ciertos patrones a diferentes escalas espaciales y temporales.

En los sistemas dinámicos inestables, como el organismo vivo, se reconoce el papel primordial de las fluctuaciones y la inestabilidad.

El paciente quirúrgico, en su respuesta metabólica al trauma y a la injuria biológica, que es un fenómeno adaptativo no

periódico de reacciones emergentes de diferentes magnitudes y órdenes espaciales y temporales, y de evolución extremadamente sensible a las condiciones iniciales, representa un sistema complejo de comportamiento no periódico y altamente impredecible. Las condiciones iniciales, que significan la reserva funcional y la capacidad de adaptación, están representadas por la masa celular corporal del paciente, o sea su estado físico en términos del estado nutricional y de función orgánica. La teoría del caos y la nueva ciencia de la complejidad aportan una mejor descripción de ese fenómeno biológico de inestabilidad fluctuante que es la evolución clínica de la persona que ha sufrido trauma o que es sometido a una intervención quirúrgica mayor.

LAS NUEVAS CIENCIAS DE CAOS Y COMPLEJIDAD

Las ciencias exactas describen bien los sistemas que exhiben estabilidad, periodicidad y equilibrio, como los objetos inertes, pero tienen limitaciones para describir y explicar los organismos vivos, que son sistemas biológicos, estructuras adaptativas, sistemas dinámicos, disipativos y no lineales. En cuanto a sus estructuras fundamentales y funciones básicas, los sistemas biológicos obedecen a la física y la química, pero sus «propiedades emergentes» no son predecibles o comprensibles por la simple observación de sus partes. Los sistemas no lineales, o sistemas complejos, o sistemas de alta organización, se denominan también *sistemas caóticos* o *sistemas complejos de adaptación*.

Las nuevas ciencias del caos y la complejidad tratan de establecer una teoría unificada de los sistemas no lineales, y “reclaman ser tan trascendentes como la mecánica de Newton, la evolución de Darwin o la relatividad de Einstein. Buscan una teoría unificada de los sistemas complejos de adaptación basada en técnicas matemáticas como las involucradas en los algoritmos genéticos y digitales.” (Horgan 1996, pág. 195). En palabras de Briggs y Peat (1999, págs. 4 y 8), “el término científico «caos» se refiere a una interconexión subyacente que se manifiesta en acontecimientos aparentemente aleatorios. La ciencia del caos se centra en los modelos ocul-

Doctor **José Félix Patiño Restrepo**, Jefe Honorario del Departamento de Cirugía, Fundación Santa Fe de Bogotá. Profesor Honorario de Cirugía, Universidad Nacional de Colombia. Presidente, Academia Nacional de Medicina de Colombia. Bogotá D.C., Colombia

tos, en los matices, en la «sensibilidad» de las cosas y en las «reglas» sobre cómo lo impredecible conduce a lo nuevo... La cultura científica que desde hace cien años nos domina cada vez con mayor intensidad —algunos dirían que incluso somos sus prisioneros— ve el mundo en términos de análisis, cuantificación, simetría y mecanismos. El caos nos ayuda a liberarnos de esas limitaciones. Si sabemos apreciar el caos, podemos comenzar a ver el mundo como un flujo de modelos animados con giros repentinos... la idea se aplica, desde la medicina y la economía, hasta la guerra, las dinámicas sociales o las teorías de cómo se forman y cambian las organizaciones. El caos está dejando de ser una teoría científica para devenir una metáfora cultural. En cuanto a metáfora, el caos nos anima a cuestionar algunas de nuestras creencias más queridas y nos incita a formular preguntas acerca de la realidad.”

Caos es hoy el término convencional para designar comportamiento no periódico: en los sistemas que ahora se denominan *caóticos*, es característico que a los estados iniciales les siga un comportamiento no periódico y sólo unos pocos tienden a la periodicidad. Y esto es lo que tipifica a los organismos vivos.

Los sistemas caóticos pueden poseer estados de equilibrio, que son necesariamente inestables. Un estado de *equilibrio* es aquel que permanece sin cambio con el paso del tiempo. Un estado de *equilibrio inestable* es aquel en el cual el estado que difiere levemente del equilibrio, por ejemplo el que podríamos introducir moviéndolo un poco, termina por evolucionar enseguida a un estado ampliamente diferente: un lápiz puesto en pie, en estado vertical, cae al moverlo levemente; y caído, o sea en posición horizontal, se encuentra en un estado diferente. El equilibrio es *estable* si una ligera perturbación inicial no produce un gran efecto subsiguiente. El lápiz vertical es típico de los sistemas en equilibrio inestable... La diferencia de equilibrio inestable tiene mucho en común con la dependencia sensible: ambas suponen la amplificación de diferencias inicialmente pequeñas (Lorenz 1995).

El paciente en estado crítico es un ejemplo de equilibrio inestable, estado en el cual pequeñas variaciones pueden inducir grandes cambios. Tal ocurre, por ejemplo, con la sepsis que da lugar al síndrome de respuesta inflamatoria sistémica y a la disfunción orgánica multisistémica progresiva.

Caos trata de la *universalidad de la complejidad*. Sus creyentes consideran que están llevando a revertir una tendencia de la ciencia hacia el reduccionismo, hacia el análisis de los sistemas en términos de sus partes constitutivas: quarks, cromosomas, neuronas. Ellos creen que enfocan más bien el *todo* (Gleick 1987).

John Horgan acuña el término *caoplejidad* para significar tanto caos como su pariente cercano, complejidad. Cada término, pero caos en particular, ha sido definido de manera específica e individual, pero en forma tan coincidente, que los términos han llegado a ser virtualmente sinónimos. El caos se refiere a un restringido grupo de fenómenos que se desarrollan de manera predeciblemente impredecible, con extrema sensibilidad a las condiciones iniciales, comportamiento no periódico (aperiódico) y recurrencia de ciertos patrones a diferentes escalas espaciales y temporales.

El término caos, así entendido, puede dar lugar a confusión. Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química en 1977 por sus estudios sobre las *estructuras disipativas*, se refiere al caos como origen del orden del universo, pero siempre en el contexto del surgimiento de ascendentes niveles de organización, o sea de complejidad, como ocurre con el carácter de pluralidad de los seres vivos o de las organizaciones sociales y su comportamiento impredecible por los fenómenos de azar y su alta sensibilidad a las condiciones iniciales. En su libro *¿Tan Solo Una Ilusión? Una Exploración del Caos al Orden*, discute los conceptos de caos y orden (o sea de *complejidad*), el nacimiento de orden a partir del desorden y la nueva visión física de la naturaleza, del hombre y de la sociedad, y destaca como en nuestro tiempo “nos hallamos muy lejos de la visión monolítica de la física clásica. Ante nosotros se abre un universo del que apenas comenzamos a entrever las estructuras... Hoy en día, casi al final del siglo, seguimos siendo incapaces de prever a dónde nos llevará este nuevo capítulo de la historia humana, pero podemos estar seguros de que, con él, se abre un nuevo diálogo entre el hombre y la naturaleza... el universo en que vivimos posee un carácter plural y complejo. Desaparecen estructuras, como en los procesos de difusión, pero aparecen otras estructuras, como en biología y, con mayor claridad aun, en los fenómenos sociales... Lo *artificial* es determinista y reversible. Lo *natural* contiene elementos esenciales de azar e irreversibilidad. Esto llama a una nueva visión de la materia en la que ésta ya no sea pasiva como la descrita en el mundo del concepto mecánico, sino asociada a actividad espontánea... La tesis clásica centró su atención en la transición del caos al orden. Actualmente hallamos por todas partes transiciones del caos al orden, procesos que implican *autoorganización* de materia... nos hallamos tan solo al principio en la profundización de nuestros conocimientos sobre la naturaleza que nos rodea, y esto me parece de una importancia capital para la inserción de la *vida en la materia y del hombre en la vida*... la unificación de la dinámica y la termodinámica prepara el camino a una descripción radicalmente nueva de la evolución temporal de los sistemas físicos, una descripción que, para mí, insisto, es más próxima a lo que observamos a nivel macroscópico, ya sea en el mundo inanimado o en el viviente... Quizás el aspecto más inesperado es que, a todos los

niveles de orden, aparece la coherencia del caos para condiciones de no equilibrio: un mundo en equilibrio sería caótico, el mundo de no equilibrio alcanza un grado de coherencia que, para mí al menos, es sorprendente... El equilibrio termodinámico, expresado por el máximo de la función entrópica, es caótico. El no equilibrio es fuente de orden, de coherencia; entre las unidades surgen correlaciones. Concebido como la entropía máxima accesible a un sistema dado, el equilibrio se convierte en sinónimo de desorden, de caos... La materia vuelve finalmente a ser activa en un mundo de no equilibrio; la actividad es una propiedad interna y no un elemento impuesto desde fuera... Vivimos una doble revolución: a nivel de las relaciones del hombre con la naturaleza, pero también en las relaciones del hombre con el hombre.”

Fritjof Capra, en la obra *La Trama de la Vida* (1996), ha planteado una síntesis completa que integra los nuevos conceptos y teorías de las matemáticas de la complejidad y la teoría del caos en un contexto único, contemplando la nueva comprensión de la vida como la vanguardia científica del cambio de paradigmas, desde una concepción del mundo mecanicista hacia una concepción ecológica: es una síntesis de las teorías y los modelos de las nuevas ciencias de la complejidad y del caos que permite esbozar una emergente teoría de los sistemas vivos capaz de ofrecer una visión unificada de mente, materia y vida.

Los sistemas dinámicos, los sistemas de comportamiento caótico -comportamiento que no es aleatorio sino que exhibe un nivel profundo, pero aun desconocido, de orden pautado- son de extrema sensibilidad a las condiciones iniciales y por su característica de retroalimentación reforzadora, hacen que, a diferencia de los sistemas lineales donde pequeños cambios tienen pequeños efectos, cambios aun minúsculos pueden tener efectos espectacularmente magnificados. Tal es “efecto mariposa”, “por la afirmación medio en broma, de que una mariposa aleteando hoy en Pekín puede originar una tormenta en Nueva York el mes que viene.” (Capra 1996, p. 150).

En resumen, las nuevas matemáticas de la complejidad y la teoría del caos permiten comprender los objetos y los fenómenos de la naturaleza, los organismos vivos y sus organizaciones y manifestaciones sociales, cuya complejidad es de naturaleza no lineal, y hacen posible visualizar patrones de orden subyacente. Se trata de un verdadero cambio de paradigma, por cuanto la ciencia de los siglos XVIII y XIX desarrolló las leyes y ecuaciones deterministas y exactas de la gravedad y la termodinámica, e hizo creer que la totalidad de los fenómenos naturales podían ser descritos por ecuaciones lineales. El reduccionismo derivado de la física cuántica, y luego de la biología molecular, llevaron a pensar que era posible la comprensión de la complejidad total del organismo humano a nivel celular y molecular, en términos de la física y la química clásicas, sin darse cuenta, hasta ahora, de que las propiedades

esenciales de un sistema viviente son propiedades del todo que ninguna de sus partes individuales posee. Un organismo es más que la simple suma de sus partes, es función y no sólo estructura, es patrón y no sólo forma, y su función es cibernética, responde a los estímulos externos. Es un sistema organizado y homeostático de comportamiento caótico, no aleatorio (en el sentido de no ser errático) e impredecible.

Complejidad y caos se refieren a relaciones, a patrones, a conectividad, a contexto. Tratan de descubrir patrones ordenados en los sistemas caóticos no lineales y si bien no logran predicciones aunque las partes del sistema obedezcan a ecuaciones deterministas, sí pueden predecir aquello que se ajusta a las características cualitativas del comportamiento del sistema, aunque no a valores precisos en un momento determinado.

Muchos afirman, ya con certeza, que caos y complejidad serán las ciencias preponderantes y unificadoras del siglo XXI.

CAOS, COMPLEJIDAD Y CIRUGÍA

La medicina es un arte y una ciencia, una actividad intelectual, un sistema teórico con bases en las ciencias exactas, física y naturales. Pero, según William Osler, “la buena medicina clínica siempre sabe unir el arte de la incertidumbre con la ciencia de la probabilidad.” La cirugía es la más compleja de las actividades médicas, y la incertidumbre, la probabilidad, lo impredecible, son fenómenos especialmente acentuados en la práctica de la cirugía.

La condición de cualquier vida es la incertidumbre y la contingencia (Briggs y Peat 1999, págs. 10-11). Soñamos con la posibilidad de eliminar la incertidumbre mediante el control de la naturaleza, controlando los procesos vitales por medio de la tecnología. Pero la teoría caos nos enseña que esto es imposible. Los sistemas caóticos están más allá de nuestra capacidad de predecirlos, manipularlos o controlarlos, y que en vez de resistir las incertidumbres de la vida, más bien hay que aceptarlas, adaptándose a ellas.

En vez de la búsqueda e investigación de las más pequeñas partículas -lo que hace el reduccionismo tradicional-, la teoría caos se preocupa *del todo*, de la *complejidad*, investiga el *comportamiento*, el *flujo*, la *formación* y la *disolución*, la *transformación*, la *evolución*; reconoce que el mundo no es estable, sino que está pleno de *evolución*, de lo inesperado, de *incertidumbre*, de *cambio constante*.

Tal perspectiva implica una nueva teoría de los sistemas vivos, una nueva comprensión científica de la vida en todos los niveles de los sistemas vivientes:

- organismos
- sistemas sociales
- ecosistemas

La **teoría de los sistemas vivos**, según Capra (1996) se refiere a:

- **Patrón de Organización**
forma, orden, cualidad
- **Estructura**
substancia, materia, cantidad
- **Proceso**
vínculo entre Patrón y Estructura

Los organismos vivos, entre ellos el ser humano, como todo en el universo, tienden a degradarse, a desordenarse, a deteriorarse y desaparecer como sistemas de equilibrio dinámico inestable, o sea a aumentar su entropía.

La vida, su mantenimiento, es disminución o inversión de la entropía. Esto se logra por el fenómeno de la homeostasis. La vida es un fenómeno compuesto por sistemas abiertos o continuos capaces de reducir su entropía interna a expensas, bien de sustratos y sustancias nutrientes, o bien de energía libre que toman de su entorno, devolviéndolas a éste en forma degradada.

La medicina en general, y la cirugía en particular, con “su campo de actividad que es distinguido y distinguible como ciencia, arte y praxis”, “se fundamenta en una serie de conceptos que determina tanto su carácter -es decir, su método y práctica- como su *ethos*, ética e ideología (García Barreno 1997, pág. 25). Su objeto es el organismo humano, ese maravilloso sistema de muy alta complejidad, al cual atiende en un contexto de materialismo cientificista y de sobrecogedora capacidad tecnológica, pero, al mismo tiempo, de imposibilidad de predicción en cuanto a su comportamiento más allá de un ámbito de probabilidad estadística (Patíño 1996-2000).

Aunque los procesos biológicos obedecen a leyes de la física y la química bien establecidas, y aunque la biología molecular ha esclarecido los fenómenos básicos de la vida a nivel celular, todavía esto se limita a una concepción estructural y a una comprensión de funciones básicas. Las «propiedades emergentes» de los seres vivos, que son de carácter *adaptativo* y propias de los sistemas de alta organización, o sea de los sistemas no lineales, los ahora denominados *sistemas caóticos*, no pueden ser explicadas por la simple observación de los componentes estructurales y las funciones básicas de las partes que constituyen un organismo viviente. El organismo viviente es un sistema complejo de adaptación a condiciones externas, cuya supervivencia se debe a un conjunto de fenómenos que se desarrollan de manera impredecible dentro de sus altos niveles de organización funcional jerárquica, muy sensibles a las condiciones iniciales, a un comportamiento no periódico -o *aperiódico*- y a la recurrencia de ciertos patrones a diferentes escalas espaciales y temporales.

El paciente quirúrgico en su respuesta neuroendocrina y metabólica al trauma o a la agresión biológica mayor, es un modelo de *adaptación*, extremadamente sensible a las condiciones iniciales, adaptación que permite la supervivencia. El manejo del paciente quirúrgico significa la exploración y comprensión, el *entendimiento* en términos de John Locke o de G.W. Leibniz, del funcionamiento adaptativo cuando la capacidad y la reserva funcional de una estructura, de un sistema biológico, se altera por trauma o por enfermedad. Es la estabilidad de la misma estructura del sistema, la sintaxis de las operaciones que en ella se producen, lo que se explora y se entiende.

La adaptación es una secuencia de fenómenos integrados e integradores que suceden a diferentes escalas, tanto en el espacio como en el tiempo.

El concepto de *estrés como fenómeno adaptativo* fue planteado originalmente por el Nobel Hans Selyé en su obra clásica *The Physiology and Pathology to Stress. A Treatise Based on the Concepts of the General Adaptation Syndrome and the Diseases of Adaptation* (*Fisiología y Patología del Estrés. Un Tratado Sobre los Conceptos del Síndrome de Adaptación General y las Enfermedades de la Adaptación*, 1950).

En tal contexto conceptual del *estrés como síndrome de adaptación*, se ha planteado una nueva visión de la respuesta metabólica en el estado crítico prolongado artificialmente con el soporte vital en las unidades de cuidado intensivo, lo que se llama la “fase crónica”: con anterioridad a la medicina moderna, el organismo habría sobrevivido o habría muerto ante un trauma o una injuria biológica mayor y, por lo tanto, no existió presión para la evolución de una *fase crónica*. La fase crónica (definida como la permanencia en la unidad de cuidado intensivo por más de 10 días) que vemos hoy puede, por lo tanto, representar un estado fisiológico que reacciona a circunstancias para las cuales no ha habido adaptación evolutiva, y las respuestas pueden ser inapropiadas o aun deletéreas para la supervivencia (Jenkins & Ross 1999. Pág. 1). En la fase aguda del estado crítico (definida como la de las primeras horas o días en la unidad de cuidado intensivo), la actividad secretoria de la hipófisis anterior aparece amplificada, o por lo menos sostenida, en tanto que las hormonas anabólicas que actúan sobre órganos blanco (*target organs*) pronto resultan inactivadas. Los niveles plasmáticos de cortisol están elevados, acorde con la secreción de ACTH. En la fase crónica del estado crítico (los pacientes dependientes por semanas de la unidad de cuidado intensivo), la actividad secretoria de la hipófisis anterior está deprimida y los niveles circulantes de las hormonas anabólicas quedan reducidos a valores subnormales. Sólo el cortisol se mantiene elevado, bajo estímulos de carácter periférico, aunque esto, con el tiempo, también puede fallar. El comienzo de la recuperación se mani-

fiesta por restauración de la sensibilidad secretoria de la hipófisis anterior a los mecanismos de retroalimentación (Van den Berghe *et al* 1999).

Todo lo anterior corresponde a una *concepción cibernética* del ser humano como un *sistema organizado para la adaptación*, donde la aplicación de la teoría de los sistemas vivos y la visión de sus niveles de organización, o sea de *complejidad*, determinan no sólo la estructura y función del cuerpo, la homeostasis, sino su estado de bienestar o de enfermedad. Es la percepción cibernética de Foss y Rothenberg (1987), la concepción informática que plantea una *transición conceptual de la biomedicina a la infomedicina*, una variación de una estrategia de ingeniería a una estrategia claramente cibernética, de un modelo de ingeniería celular a un modelo de comunicaciones, a un modelo informático (Foss y Rothenberg 1987; Patiño 1994, 1999).

Cibernética se refiere a la teoría del control aplicada a los sistemas complejos.

La *teoría de la complejidad*, aplicada a la medicina y, en forma muy particular a la cirugía, plantea que en la raíz de la totalidad de los sistemas complejos, o sea de los *sistemas caóticos*, desde el comportamiento de las moléculas hasta la acción integradora que mantiene el equilibrio de la vida en su hábitat y en sociedad, se encuentra un cuerpo de reglas todavía no identificadas, las cuales darán lugar a una teoría unificada de los sistemas no lineales, y que serán tan trascendentes como la ciencias "duras" -las ciencias físicas, químicas y matemáticas- que explican bien los fenómenos adaptativos y de comportamiento de los sistemas lineales.

Esta es la base para el planteamiento de toda una nueva teoría quirúrgica.

BIBLIOGRAFÍA Y LECTURAS RECOMENDADAS

- Alonso M (Editor): Organization and Change in Complex Systems. Paragon House. New York, 1990
- Briggs J. Peat FD: Las Siete Leyes del Caos. Las Ventajas de una Vida Caótica. Grijalbo Barcelona, 1999; (Edición en castellano de: Seven Life Lessons. Timeless Wisdom from the Science of Change. Harper-Collins Publishers Inc. New York, 1999)
- Capra F: La Trama de la Vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. Editorial Anagrama. Barcelona, 1996
- Foss L, Rothenberg K: The Second Medical Revolution. From Biomedicine to Infomedicine. New Science Library. Shambhala. Boston & London, 1987
- García Barreno P: Medicina Virtual. En los bordes de lo real. Editorial Debate, SA. Madrid, 1997.
- Gleick J: Chaos. Making a New Science. Penguin Books. New York, 1987
- Horgan J: The End of Science. Broadway Books. New York, 1996.
- Jenkins RC, Ross RJM: The Endocrine Response to Acute Illness. Karger, Basel, 1999
- Lewin R: Complejidad. El Caos como Generador del Orden. Metatemas 41. Tusquets Editores SA. Barcelona, 1995
- Lorenz EN: La Esencia del Caos. Un campo de conocimiento que se ha convertido en parte importante del mundo que nos rodea. Editorial Debate SA. Madrid, 1995
- Mandelbrot BB: La Geometría Fractal de la Naturaleza. Tusquets Editores SA. Barcelona, 1997
- Mendoza-Vega J: La Salud, un "fractal" abstracto. Bases para una propuesta de definición. Academia Nacional de Medicina de Colombia, 1998; (en proceso de publicación).
- Patiño Restrepo JF: La medicina del futuro: paradigmas y dilemas. Rev Fac Med U Nal 1994; 42:52.
- Patiño JF: El computador, la cibernética y la teoría de la información: de la biomedicina a la infomedicina. Medicina 1996; 68(44): 5
- Patiño Restrepo JF. El computador, la cibernética y la teoría de la información. De la biomedicina a la infomedicina. La Tadeo 1997; No. 54 (Jul-Sep): 14-25
- Patiño JF: Infomedicina: el nuevo paradigma. Rev Fac Med U Nal 1999; 47 (1): 1
- Patiño JF: Caos y complejidad: las ciencias del siglo XXI. Lecturas de Nutrición 2000; 6 (3):35-42
- Patiño JF: *El Computador, la Cibernética y la Teoría de la Información: de la Biomedicina a la Infomedicina*. En proceso de impresión, 2000
- Prigogine I: ¿Tan Solo Una Ilusión? Una exploración del Caos al Orden. Tusquets Editores SA. Barcelona, 1993
- Prigogine I: El Fin de las certidumbres. Editorial Andrés Bello. Santaigo, 1997
- Selyé H: Stress. General-Adaptation-Syndrome and the Diseases of Adaptation. Acta Inc Medical Publishers. Montreal, 1950
- Van den Berghe G, de Zegher F, Bouillon R: Acute and prolonged illness as different neuroendocrine paradigms. J Clin Endocrinol Metab 1998; 83:1827.

Correspondencia:

Doctor **José Félix Patiño Restrepo**, Carrera 9 No. 117-20. Consultorio 812. Bogotá, D.C.