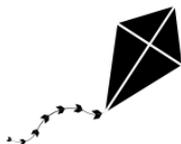


José Félix Patiño Restrepo

LA MEDICINA Y  
LA ÉPOCA DE LAS  
CIENCIAS DE LA  
COMPLEJIDAD Y  
LA INFORMACIÓN

▲  
Número 19





## CIENCIA AL VIENTO

### *Comité editorial:*

Xavier Marquínez	<i>Departamento de Biología</i>
Diana Farías	<i>Departamento de Química</i>
Gregorio Portilla	<i>Observatorio Astronómico Nacional</i>
J. Robel Arenas-Salazar	<i>Observatorio Astronómico Nacional</i>

### *Universidad Nacional De Colombia*

Facultad De Ciencias

#### *Decano*

Jaime Aguirre-Ceballos

#### *Vicedecano académico*

Giovanny Garavito

#### *Vicedecano de investigación y extensión*

Alvaro Mariño Camargo

#### *Asistente coordinación de Publicaciones*

Helena Sarmiento

#### *Ciencia al Viento*

##### *Coordinador:*

Germán Amat-García

*Diseño de portada:* Valentina Nieto Fernández

*Diagramación:* Liliana Aguilar

**Ciencia al Viento**, es una publicación trimestral de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Comprende títulos de ciencia, pedagogía de la ciencia, filosofía de la ciencia y otros tópicos que relacionan el rol de esta importante área del conocimiento humano con la sociedad. La colección presenta dos modalidades de documentos:

- Transcripción de textos ya publicados y que conservan un sello de excelencia académica e investigativa en sus respectivas disciplinas del conocimiento científico.
- Ensayos científicos de investigadores de la Facultad de Ciencias que, desde el quehacer cotidiano de su trabajo científico, enmarcan importantes temáticas con elementos conceptuales, metodológicos y epistemológicos de gran interés en la actualidad.

El objetivo de la colección es ofrecer al lector un espacio de conocimiento, de difusión y de inspiración sobre la incidencia de la prácticas científicas en la sociedad.

*Texto de circulación restringida y distribución gratuita, editado con fines exclusivamente académicos, para uso en las aulas de la Universidad Nacional de Colombia.*

*Prohibida su venta.*

*cienciaalviento@unal.edu.co*  
*www.cienciaalviento.unal.edu.co*



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **CIENCIA AL VIENTO**

La medicina y la época de las ciencias  
de la complejidad y la información

José Félix Patiño Restrepo

Número 19

Octubre, 2017

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional de Colombia



## **Editorial**

En abril de 2011 la Universidad Nacional de Colombia, a través de su editorial, publicó en la colección *Obra Selecta* el libro *Humanismo, Medicina y Ciencia*, una interesante obra del destacado académico Dr. José Félix Patiño, quien fuera rector del Alma Mater en 1964. Esta obra reúne en cinco capítulos el producto de ensayos, estudios, conferencias y reflexiones del autor en torno a la medicina. En su conjunto, *Humanismo, Medicina y Ciencia* describe una biografía de la medicina desde las perspectivas de la ciencia, la historia, la academia, la pedagogía y la ética médica; en síntesis, esta importante contribución es una radiografía de la medicina actual en la que el Dr. Patiño integra magistralmente Ciencia y Humanística.

Este número de *Ciencia al Viento* está dedicado al capítulo cuatro de la citada obra, donde el Dr. Patiño hace una retrospectiva a los esfuerzos humanos por la comprensión del orden cósmico, desde la antigüedad, pasando por momentos claves de la revolución científica. El autor se centra en importantes teorías que marcaron la ciencia y la medicina del siglo XX y lo transcurrido del siglo XXI. Este escrito es una oportunidad de acercamiento con la teoría de sistemas aplicada a los seres vivos, la cibernética, la teoría del Caos, las leyes de la Complejidad, la biología organísmica de Fritjof Capra, la neurofisiología de Arturo Rosenblueth y la teoría de la información de Norbert Wiener, entre otros.

*Ciencia al Viento* agradece al profesor Jaime Aguirre, decano de la Facultad de Ciencias, por propiciar esta importante adquisición editorial y por supuesto al Dr. Patiño su autorización en la transcripción editorial del escrito.

## **Equipo editorial**

*Ciencia al Viento*



## La medicina y la época de las ciencias de la complejidad y la información

### Caos y complejidad: ciencias del siglo XXI\*

*Aunque los seres humanos tendemos a aborrecer el caos y a evitarlo siempre que nos sea posible, la naturaleza lo utiliza como medio adecuado para crear nuevas entidades, conformar acontecimientos y mantener la cohesión del Universo.*

J. Briggs y F.D. Peat. *Las Siete Leyes del Caos* (1999).

El cosmos ha sido motivo de estudio a través de los tiempos. En el espacio infinito hay galaxias, ocurren fenómenos como supernovas y en nuestro pequeño planeta, que los astronautas de la Misión Apolo contemplaron desde la Luna, existe una grandiosa biodiversidad, resultado de un proceso evolutivo de miles de millones de años. En este proceso evolutivo se han desarrollado sistemas autopoiéticos<sup>1</sup>, autoorganizadores, complejos y adaptativos con un dinamismo particular que les da características diferentes de los objetos inertes y de los sistemas simples.

En la antigüedad los científicos estudiaron el cosmos. Euclides, el gran matemático y astrónomo, floreció en Alejandría en el siglo III a.C., bajo los reinados de Tolomeo I y Tolomeo II, como figura destacada del legendario Museo. Un cierto día, Euclides partió hacia un destino desconocido. Su más distinguido y audaz discípulo fue el as-

---

\* El presente texto fue extractado, con la debida autorización del autor, del libro *Humanismo, Medicina y Ciencia*. Colección Obra Selecta- Editorial Universidad Nacional de Colombia (2011).

1 Autopoiesis: concepto y término definidos por Humberto Maturana y Francisco Varela (1980) de la Universidad de Chile para significar el fenómeno de la autoconstrucción a partir de los propios materiales de un organismo o sistema vivo. Quiere decir <<hacerse a sí mismo>> (Capra, 1996).

trónomo Aristarco de Samos. Los astrónomos de Alejandría usaban el astrolabio, antiguo instrumento inventado por Hiparco (fl., siglo II a.C.) para medir la posición de las estrellas (Luminet, 2003).

Pitágoras (c. 582-507 a.C.), con su escuela pitagórica, planteó la teoría de los números: los números constituyen la verdadera naturaleza de las cosas, y todas las relaciones, incluso conceptos éticos abstractos como la justicia, pueden ser expresados en números. El símbolo de los pitagóricos es una estrella de cinco puntas dentro de una figura pentagonal, en el cual hay otro pentágono y dentro de este la misma estrella de cinco puntas, y así sucesivamente hasta el infinito Aczel, 2002. Su concepción numérica ya planteaba la visión de un mundo geométrico.

En Alejandría Euclides, el más importante matemático de la antigüedad, creó la geometría que todavía hoy, en buena parte, usamos. Su obra magna fue *Los elementos*, compuesta por 13 libros. Euclides impartía lecciones dibujando, con su famoso bastón, sobre la arena de la playa.

Sir Isaac Newton (1642-1727), ilustre matemático, físico, astrónomo y filósofo inglés, estudió en la Universidad de Cambridge, donde fue profesor entre 1669 y 1701. En el bienio 1665-1666 realizó sus más trascendentales descubrimientos científicos: comenzó a desarrollar el cálculo y formuló la teoría de la gravitación universal y las leyes del movimiento, y con ello cambió totalmente la visión del cosmos. Newton, una de las más prominentes figuras de la era de la Ilustración, introdujo en el panorama intelectual la visión mecanicista del mundo y la naturaleza. En las postrimerías del siglo XVII se visualizaba un universo gobernado por las ecuaciones deterministas<sup>2</sup> de Newton, y ya en el siglo XVIII los científicos consideraban que tales ecuaciones tenían la

---

2 Una secuencia determinista es aquella en la que el siguiente suceso solo puede ser uno concreto; es decir, que su evolución está gobernada por leyes precisas (Lorenz, 1995).

capacidad de predecir el estado futuro del mundo. Pierre Simón Marqués de Laplace (1749-1827), matemático y astrónomo francés, planteó que para un hombre con suficiente inteligencia “nada será incierto y el futuro, como el pasado, estará presente ante sus ojos” Laplace 1961; Russell 1995. El triunfo de la mecánica newtoniana llevó a considerar al mundo como mecánico, determinista y predecible (Edwards, 1995).

Por ello en 1794 el pintor William Blake, en su cuadro *The Ancient Days*, plantea a Dios como un geómetra creando el universo (Stewart y Golubitsky, 1992, 1995).

Pero el mundo no es simétrico ni geométrico. Como dice Benoît B. Mandelbort (1997), las nubes no son esferas, las costas no son circulares, el rayo no cae en línea recta.

De la concepción mecanicista y geométrica del mundo se deducía una relación directa entre el determinismo newtoniano y la capacidad de predicción. Pero el mundo y la naturaleza son variados y variables.

Según Briggs y Peat (2001),

El mundo definido por la ciencia ha sido tradicionalmente un mundo de pureza casi platónica. Las ecuaciones y teorías que describen la rotación de los planetas, la elevación de agua en un tubo, la trayectoria de una pelota o la estructura del código genético contienen una regularidad y un orden, una certidumbre mecánica que hemos terminado por asociar con las leyes naturales. Los científicos por cierto, han admitido hace tiempo que el mundo rara vez es tan euclidiano como aparenta ser en el espejo de esas leyes que atribuimos a la naturaleza. La turbulencia, la irregularidad y la imprevisibilidad se encuentran por doquier, pero siempre pareció justo entender que esto era <<ruido>>, una confusión resultante de la manera en que se apiñan las cosas de la realidad. Dicho de otro modo, se pensaba que el caos era el resultado de una complejidad que teóricamente se podía desnudar hasta sus ordenados cimientos. Ahora los científicos están descubriendo que este supuesto era erróneo.

A través del tiempo, la ciencia se ha planteado *de dónde proviene el orden del mundo que habitamos*, un mundo que no es de componentes físicos que interaccionan al azar ni una mezcla desordenada de entidades, sino un medio donde la energía y la materia están dispuestas según una compleja y progresiva organización jerárquica, un mundo en movimiento y en evolución en el cual la materia aparece organizada a diferentes y variados niveles.

La evolución cósmica se caracteriza por un creciente orden y organización: el primer orden a partir del *Big bang*, o caos original, quedó establecido con la dispersión de enormes cantidades de energía primigenia y la “creación” de las fuerzas primordiales que la gobiernan; luego vino el segundo nivel de orden, la transformación de energía en materia, y luego la aparición de las estrellas y las galaxias. Ya formado el planeta Tierra, apareció el orden de la química inorgánica primordial, que luego dio paso al orden de la química orgánica, y este al orden la biología, a la aparición de la materia viva. La vida evolucionó para dar lugar a la vida inteligente, y esta a la conformación de organizaciones sociales, o sea al orden social, cuyo progreso en gran parte está determinado por la tecnología.

A partir del *Big Bang*, que es el momento de la creación, hace 15 ó 16 mil millones de años, en el universo ha sucedido un proceso de evolución, entendida esta como una secuencia de órdenes de existencia de creciente complejidad, organización y orden.

¿De dónde proviene el orden en el mundo que habitamos? ¿Cuáles son las fuentes del sobrecogedor y magnífico orden que gobierna el reino viviente? En el libro *The origins of order* (Los orígenes del orden, 1993), Kauffman, de la Universidad de Pensilvania y uno de los cofundadores del Instituto Santa Fe de Nuevo México, propone una reconceptualización de la teoría evolucionaria, una especie de síntesis neodarwiniana. Los biólogos no han hecho a un lado enteramente la emergencia espon-

tánea del orden, el fenómeno de la autoorganización y plantea que la tarea de amplificar la teoría de la evolución quedaría incompleta aunque pudiéramos demostrar que los aspectos fundamentales de la evolución y la ontogenia<sup>3</sup> de alguna manera reflejan las propiedades de autoorganización de los sistemas subyacentes. En el prefacio de su más reciente obra, *Investigations* (2000), Kauffman se refiere a la autoorganización, así como a la manipulación del entorno que realizan los *agentes autónomos*, que son todas las células independientes y todos los seres vivos, y se pregunta: ¿habría una cuarta ley de la termodinámica para los sistemas abiertos, autoconstructores, tales como las bioesferas? En cuanto a los candidatos a leyes para la co-construcción del universo, en el capítulo 8 de su libro considera cuatro candidatos a leyes generales para cualquier biosfera, con base en el planteamiento de que comunidades coevolucionarias de agentes autónomos pueden desarrollarse a cuatro fases de transición, entre ellas la número 1, la frontera dinámica del caos, lo que se conoce como “el borde del caos.”

En los últimos años se ha avanzado en el estudio científico del *orden como concepto abstracto*, lo cual ha permitido una visión racional de cómo ha surgido el *orden a partir del caos*, y también sobre los principios que controlan el crecimiento y la desintegración del orden. En palabras de Paul Davies, “la culminación del orden del mundo se encuentra en la tecnología y la sociedad humanas”, lo cual quiere decir que la tecnología representa el nivel máximo de actividad organizada, y que la sociedad humana es el ejemplo supremo de orden (Davies, 1985).

Humberto Maturana y Francisco Varela, de la Universidad de Chile, acuñaron el término *autopoiesis* para definir el concepto sobre la capacidad que tienen los organismos vivos para la autoorganización, o

---

3 Ontogenia: formación y desarrollo del individuo considerado con independencia de la especie.

sea, para establecer el *patrón de organización* de lo vivo. Se refiere, primordialmente, al fenómeno de la autoconstrucción a través de la dinámica propia, a partir de sus propios materiales.

El *patrón de organización* de un sistema, vivo o no, es la configuración de las *relaciones* entre sus componentes, que determina las características esenciales del sistema, y la *estructura* es la corporeización (sic) física del sistema. La configuración completa de las relaciones funcionales constituye el patrón de organización del sistema (Capra, 1996, p. 172).

En su obra *La trama de la vida*, F. Capra (1996) propone el entendimiento de la *autopoiesis*, tal como es definida por Maturana y Varela (1980), como el patrón de la vida, o sea, el patrón de organización de los sistemas; *la estructura disipativa*, tal como es definida por Prigogine (1997), como la estructura de los sistemas vivos; y la *cognición*, tal como es definida inicialmente por Gregory Bateson (1979), y más plenamente por Maturana y Varela (1980), como el proceso vital. Es el patrón de organización el que determina las características esenciales de un sistema y, en particular, define si es vivo o no vivo.

## ¿Qué es caos y qué es complejidad?

Caos es la novel teoría -muchos ya la denominan ciencia- que ofrece una perspectiva de orden y de patrones donde previamente se observaba solo lo aleatorio, lo errático y lo impredecible, es decir lo caótico.

El vocablo <<caos>> ha sido entendido como la carencia de forma o de organización sistemática, o sea, la aleatoriedad. Hoy se usa para indicar la ausencia de un cierto orden que debería estar presente en un sistema, pero cuyo comportamiento es determinista. Es el término

convencional para designar comportamiento no periódico, no lineal. Los sistemas caóticos pueden poseer estados de equilibrio, que son necesariamente inestables. Los conceptos de caos y complejidad se aplican también más allá de la dimensión biológica o fisiológica de la medicina. Su dimensión social, o sea, la económica, y su dimensión estructural, o sea, la administrativa, también están sujetas a las todavía no definidas leyes del caos y la complejidad, y en estos campos se abren amplias perspectivas (Patiño, 1998a).

El *caos*, o la ciencia de los *sistemas no lineales, dinámicos y complejos*; toma su nombre de la palabra griega que significa desorden, y ello puede generar importantes confusiones porque recientemente los investigadores han descubierto la sutil y compleja estructura que yace bajo el caos de la turbulencia y otras conductas impredecibles de la naturaleza, (Monroy, 1998, Prefacio de *Teoría del caos*).

Lorenz, profesor emérito de meteorología del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), a quien se considera el padre del caos, escribe en el Prefacio de *La esencia del caos* (1995):

Aproximadamente treinta años antes y mientras llevaba a cabo una extensa experimentación sobre la teoría de la predicción meteorológica, me había topado con un fenómeno que luego dio en llamarse <<caos>>: en apariencia, un comportamiento aleatorio e impredecible que, pese a ello, ocurre de acuerdo con reglas precisas y, a menudo fácilmente formulables [...] definía el caos, ilustrando sus propiedades básicas mediante algunos ejemplos sencillos, para terminar describiendo algunos fenómenos relacionados (no linealidad, complejidad y fractalidad) que también habían llegado a denominarse <<caos>> [...] mi convicción de que el caos, junto con todos sus conceptos asociados (atractores extraños, fronteras de cuenca, bifurcaciones duplicadoras del periodo y otros semejantes), pueden entenderlo fácilmente y disfrutarlo los lectores sin especial formulación matemática o científica, pese a las ocasionales referencias al caos como rama de la matemática o como una nueva ciencia.

El instrumento por excelencia que hizo avanzar las ciencias biomédicas es el microscopio. El computador es el microscopio de quienes se adentran en estas nuevas ciencias que tratan de la dinámica de los sistemas no lineales, y los investigadores dedicados al estudio de la *complejidad* (Lewin, 1992, 1995), una nueva ciencia, que es diferente de *caos* (Gleick, 1987), entre ellos el grupo del Instituto Santa Fe de Nuevo México, EUA (Gell-Mann, 1998; Waldrop, 1992), los llamados “complejólogos”, pueden estar en desacuerdo sobre lo que están estudiando, pero concuerdan en cómo lo hacen: mediante computadores.

Así se expresa Horgan, escritor senior de *Scientific American*, en un ameno artículo titulado “De la complejidad a la perplejidad”. El autor toca el tema de la vida artificial, al plantear que la fe en los computadores es epitomizada por la vida artificial, un campo derivado de la *complejidad*, algo que, de por sí, ha llamado poderosamente la atención (Horgan, 1995).

Los sistemas lineales obedecen a la física gravitacional y cuántica, y son enteramente predecibles. Los no lineales, como el clima, por ejemplo, son impredecibles. Así lo son también los ecosistemas, la economía, los embriones en desarrollo y, sobre todo, el cerebro. Todos son ejemplos de una complejidad dinámica que desafía el análisis matemático y la simulación (Lewin, 1992). La vida, tanto a nivel del funcionamiento de un organismo individual, como de su existencia en sociedad, es el ejemplo de sistemas complejos más pertinente para el médico moderno.

Jiménez y Jaramillo (2002), de la Universidad de Antioquia, en una reciente publicación sobre la biología molecular de la falla cardíaca en el contexto de la perspectiva de la teoría del caos, señalan cómo a partir de la década de los sesenta, los sistemas complejos que habitan

la naturaleza han sido observados desde una perspectiva nueva e integradora. Procesos como el clima exhiben una notoria imposibilidad de predicción a largo plazo por razón de las múltiples variables que actúan sobre el fenómeno; sin embargo, se puede apreciar que el fenómeno es determinista pero que por su complejidad aparece cómo un fenómeno puramente aleatorio. A esto se le llama hoy caos.

Dice Farbiarz (2001), también de la Universidad de Antioquia:

El caos no significa desorden absoluto, significa un comportamiento regido por factores determinísticos, pero con un nivel significativo de incertidumbre en la evolución de su comportamiento. La teoría de caos pretende, entre otras cosas, dar herramientas cuantitativas para poder hacer un trabajo fundamental en el método científico.

Hoy reconocemos que los sistemas biológicos, y también los sistemas sociales, son de carácter no lineal, discontinuos, irregulares e impredecibles.

Entonces, ¿qué es esta pretendida y controvertida ciencia emergente, la *complejidad*? La teoría de la complejidad plantea que en la raíz de la totalidad de los sistemas complejos, desde el comportamiento de las moléculas hasta la acción de las naciones y los estados y el equilibrio de la naturaleza, se encuentra un cuerpo de reglas que cuando puedan ser identificadas darán lugar a la gran unificación de las ciencias naturales (Lewin, 1992).

Como el término *caos*, el término *complejidad* tiene muchas definiciones. Y así como hay centros dedicados a la investigación del *caos* y la *no linealidad*, hay otros, en número creciente, dedicados al estudio de la *complejidad*. En los primeros se estudia también la complejidad, y en los segundos también el caos, por cuanto los dos conceptos son muy cercanos el uno del otro.

Maldonado (1999), profesor de filosofía en la Universidad El Bosque de Bogotá, aborda la complejidad como una forma específica y nueva de racionalidad, en el dominio de la filosofía de la ciencia y la caracterización de lo que llama la lógica de la complejidad.

Mientras lo simple y la simplicidad -o lo que quiera que sea simple- es por definición singular y en cada caso único, en el caso de la complejidad nos la vemos de entrada con pluralidad, diversidad, y ciertamente con una no-univocidad. Ni del término ni del problema [...] La complejidad representa el modo de comprender y explicar la realidad en términos dinámicos, no únicamente fijos y regulares, y no lineales.

Lo cual lleva a ver el mundo constituido en patrones de inestabilidad y fluctuaciones. Al plantear la complejidad como una forma específica y nueva de racionalidad, la discute en términos de método, de cosmología y también de una ciencia cuyas categorías son ya bastante conocidas. La complejidad no trata de todos los fenómenos del mundo, sino se restringe a una fracción bien determinada: la de los sistemas dinámicos, cuya realidad es más amplia que la de los sistemas estables o estáticos. La historia y la ciencia clásica nos enseñaron que el universo y la realidad natural, pero también la social o humana, eran inmóviles y fijos y que, correlativamente, sus “revoluciones” (por ejemplo las revoluciones celestes) eran periódicas o regulares.

El siglo XX nos ha enseñado, desde diversos ángulos, el tiempo, la irreversibilidad, la relatividad, la incertidumbre, la existencia de más de una explicación posible para los problemas con los mismos valores y con los mismos parámetros, la importancia de las inconsistencias no triviales, la inestabilidad del movimiento y las bifurcaciones, en fin, el valor de la vaguedad (*fuzziness*), por ejemplo. Pero, adicionalmente, hicimos el aprendizaje de que podíamos referirnos al mundo de una manera perfectamente distinta gracias a esa herramienta conceptual maravillosa que es el ordenador, y aprendimos la simulación de la realidad y de los procesos y fenómenos del caso (Maldonado, 1999).

Para Binder (1999), profesor de física en la Universidad de los Andes de Bogotá, definir la complejidad es un problema y cita el libro de Horgan (*The end of science*, 1996) donde se presenta una lista de no menos de treinta definiciones que propone el investigador Lloyd; cada vez que se abre una nueva institución dedicada a la complejidad, el significado del término es motivo de debate. Binder (1999) plantea algunos marcos teóricos para el estudio de la complejidad: lenguajes, información, complejidad y postmodernismo y complejidad y el mundo real, con un denominador común: el énfasis en la información.

Según Gell-Mann, Nobel de Física en 1969 y uno de los científicos de planta y cofundador del Instituto Santa Fe en 1984, en el Postfacio de su obra *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo* (1998), la idea de la interacción entre las leyes fundamentales de la naturaleza y la intervención del azar está siempre presente. El azar entra necesariamente en escena porque las leyes fundamentales son mecánico-cuánticas, y la mecánica cuántica proporciona solo probabilidades para las historias alternativas no detalladas del universo. La indeterminación de la mecánica cuántica va, pues, mucho más allá del famoso principio de incertidumbre de Heisenberg. También anota cómo en los sistemas no lineales esta indeterminación puede amplificarse en virtud del fenómeno del caos, lo que significa que el resultado de un proceso es arbitrariamente sensible a las condiciones iniciales. Es lo que se observa a menudo, por ejemplo, en la meteorología.

Virgilio Niño, Director del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia, reconoce el éxito de la nueva ciencia de la complejidad, cuya estrategia es holística o sintética en contraposición a las estrategias analítica y reduccionista, en la comprensión de la naturaleza. En virtud del fenómeno del rompimiento de la simetría y las propiedades emergentes de la complejidad, los sistemas complejos son esencialmente no reducibles en el sentido de que las propiedades que se quisieran estudiar desaparecen al reducirlo. Esta es la diferencia entre

un sistema complejo y uno “simplemente” complicado. Se denomina comportamiento emergente a la propiedad del sistema complejo derivada del cooperativismo e interacciones entre sus partes y componentes. Las propiedades emergentes no se hallan presentes en los elementos más simples que conforman el sistema. Así, el mundo ha evolucionado desde una gran simplicidad y simetría, la del universo hace miles de millones de años, hasta alcanzar estados asimétricos y complejos. En los sistemas complejos existe cierto balance entre caos y regularidad, entre predecibilidad e impredecibilidad, entre desorden y orden (Niño, 1999).

La teoría del caos ha creado técnicas especiales para el uso de los computadores y formas específicas de graficar imágenes, imágenes que capturan una fantástica estructura subyacente a la complejidad (Capra, 1996). Para los físicos Caos es una ciencia de *proceso*, más que de *estado*; de *transformación*, más que de *existencia*. El Caos está expresado en el comportamiento del clima, en el de un avión en pleno vuelo, en el de los automóviles que se concentran en una autopista, en el del petróleo que fluye por los oleoductos. Y, ciertamente, en la vida, considerada tanto individualmente como en sociedad.

La más excitante aplicación de la teoría del caos y la dinámica no lineal ha sido en biología y en las ciencias biomédicas. Se pensaba que tal vez no en salud pública y epidemiología, pero este se ve ahora en forma radicalmente diferente. Es de particular utilidad en la comprensión de las epidemias; y aquí tal vez el factor más importante es en lo relativo a la interacción entre las ideas dirigidas por modelos desarrolladas en los años sesenta y las ideas basadas en datos de la actualidad (Stark y Hardy, 2003).

Las ciencias del caos y de la complejidad han permeado disciplinas sociales como la economía, campo en el cual tienen especial aplicación. Peters (1996), autor de *Chaos and order in the capital markets*, presenta una perspectiva enteramente nueva del problema que es de máxima preocupación para la sociedad: lo impredecible de los mer-

cados financieros, los cuales dependen de un gran número de agentes independientes, que se adaptan a cambios ambientales, y que en forma espontánea llegan a organizarse como sistemas coherentes.

También en este campo, el economista Bernstein, en su popular obra *Against the Gods. The remarkable story of risk* (1998) se refiere a cómo a través de la historia, el hombre ha realizado esfuerzos prometeicos para manejar el riesgo. Es una verdadera aventura intelectual que liberó a la humanidad de los oráculos y adivinos gracias al advenimiento de poderosos instrumentos de manejo del riesgo que están hoy a nuestra disposición. Manejo del riesgo no suena particularmente poético. Pero como dice Bernstein (2008), es algo esencial para el desarrollo de nuestra sociedad. ¿Cómo descubrir los métodos adecuados para calcular, por ejemplo, el precio de las pólizas? Son interrogantes como este que Bernstein, autor de numerosos libros sobre economía, discute en esta obra. El manejo del riesgo, por definición, tiene que ver con la maximización de aquellas áreas en las cuales se puede tener control sobre el resultado, al tiempo que se minimizaban las áreas en las cuales no tenemos control alguno sobre el resultado y donde la relación entre el efecto y la causa permanece oculta y desconocida. Pero al final, ¿cuánto vale la intuición en la toma de decisiones? Bernstein se refiere al manejo del riesgo en la economía, pero sus planteamientos son totalmente aplicables al campo de la medicina, y específicamente de la cirugía, como tuve ocasión de exponerlo en el pasado Congreso Clínico del Colegio Americano de Cirujanos en la ciudad de Chicago (Patiño, 2003). Lo anterior es un buen ejemplo de cuán necesario es adelantar y aplicar el conocimiento del caos y la complejidad en la economía, o en la medicina y la cirugía, para mencionar solo estas áreas del saber y el quehacer humanos.

La medicina, y especialmente la cirugía, es una disciplina de manejo de riesgo. Es un proceso racional de enfrentamiento del riesgo, es el estudio de la naturaleza y la magnitud del riesgo y es el arte de la toma de decisiones. La información es un elemento indispensable en el proceso

de la toma de decisiones, pero no está claro si la abundancia de la información facilita el manejo del riesgo: ¿Cuánto más información mejor es el proceso? Bernstein afirma que no es cierto, porque hay circunstancias en las que la información adicional causa interferencia y distorsiona el proceso. Por lo demás, con razón Bernstein afirma que la teoría de la probabilidad es un instrumento serio para la predecibilidad, pero que el diablo, como popularmente se dice, está en los detalles y en la calidad de la información que sustentan las estimaciones de probabilidad.

## **Información y evidencia externas**

La dinámica no lineal de los sistemas caóticos de gran complejidad, como son los organismos vivos y las sociedades, y las expresiones sociales como la economía, plantean problemas con la aplicación de la evidencia externa a la toma de decisiones. La evidencia externa, o sea, el conocimiento estadístico, que ahora consideran mucho el *conocimiento duro* que debe reemplazar al *conocimiento blando* representado por la experiencia y el buen juicio personal, está enfrentada a ocupar, a la luz del caos y la complejidad, su debido lugar en el manejo del riesgo en medicina y economía.

Usamos los términos planteados por el Nobel Sir Meter Medawar: *pensamiento duro* es aquel que expresa o discurre en términos o lenguaje que conllevan un significado claro y preciso, que plantea ideas que pueden ser comprobadas y que tiene un atractivo intelectual. *Pensamiento blando* es el pensamiento que atrae a través de las emociones, que intenta persuadir sobre lo que deben ser verdades intelectuales mediante métodos no intelectuales.

La evidencia externa en medicina lo denominamos “medicina basada en la evidencia”. Muchos creímos, yo el primero, que la medicina basada en la evidencia constituía pensamiento y conocimiento duros,

y que la experiencia, la erudición, el juicio razonado y fundamento en la fisiopatología, eran pensamiento y conocimiento blandos. La medicina basada en la evidencia, el conocimiento estadístico, los estudios clínicos aleatorizados y los meta-análisis suplantarían el juicio clínico en la toma de decisiones frente al paciente individual.

Pero hoy estamos aprendiendo que la medicina basada en la evidencia, el conocimiento estadístico, debe ser *interpretado* más que *aplicado* en el proceso de manejo diagnóstico y terapéutico del *paciente individual* (Patiño, 2003).

Es que al confrontar sistemas caóticos de gran complejidad, por ejemplo el paciente en medicina, o la economía en las ciencias sociales, no hay certidumbres, solo hay posibilidades.

## **El fin de las certidumbres**

El Nobel Ilya Prigogine concibió una nueva termodinámica para los sistemas vivos que expresa muy bien en su obra *El fin de las certidumbres* (1997). La ciencia clásica se encuentra inmersa en una concepción de orden y estabilidad, mientras en todos los órdenes de observación se registran fluctuaciones e inestabilidad, la característica de los sistemas caóticos. Así como en la termodinámica clásica y la física cuántica, ahora las leyes fundamentales de la naturaleza expresan posibilidades, no certidumbres. Las leyes de la física clásica que describen un mundo idealizado, un mundo estable, pero no el mundo evolutivo inestable e irreversible en el cual vivimos. La vida solo es posible en un mundo alejado del equilibrio termodinámico, donde los irreversibles fenómenos asociados con la flecha del tiempo juegan el papel constructor de la naturaleza. Todo esto lleva a una nueva formulación de las leyes naturales, las cuales no se pueden basar en certidumbres -como lo son las leyes deterministas-, sino en posibilidades.

Feinstein, reconocido como el padre de la epidemiología clínica, y Horwitz, de Yale, han señalado las limitaciones de la “mejor evidencia externa” en el cuidado de pacientes individuales (Feinstein y Horwitz, 1997). Los resultados de los estudios clínicos aleatorizados y los meta-análisis demuestran cierta eficacia comparativa en el tratamiento de un paciente aleatorizado “promedio”, pero no en subgrupos pertinentes conformados por características clínicas tales como la severidad de los síntomas, enfermedad primaria, comorbilidad y otras apreciaciones. Estas constituyen información blanda que los médicos utilizan en el proceso de toma de decisiones. Aquí la decisión tiene que estar fundamentada en juicio razonado, utilizando información que no está disponible en la evidencia estadística. Refiriéndose a la propuesta práctica de la medicina basada en la evidencia, los distinguidos autores de Yale dicen: “Una nueva forma de autoritarismo dogmático puede ser revivido en el ejercicio de la medicina, pero sus pronunciamientos vendrán ahora del cochranoismo oxfordiano en vez del galenismo romano.”

Feinstein ha titulado un importante artículo “Meta-analysis: alchemy for the 21<sup>st</sup> century” (1995) (Meta-análisis: la alquimia para el siglo XXI), refiriéndose a los meta-análisis, que tienen la capacidad de convertir lo existente en algo mejor. Feinstein escribió:

La principal desventaja de los meta-análisis [...] es la eliminación o destrucción de los requerimientos científicos que fueron tan meticulosamente desarrollados y establecidos en los siglos XIX y XX. En las mezclas que conforman la mayoría de los meta-análisis, se pierden o eliminan los requisitos científicos de reproducibilidad y precisión para una adecuada extrapolación y aun para comparación. La idea de lograr algo a partir de nada, al tiempo que se ignoran principios científicos establecidos, plantea una inmediata analogía con la alquimia que precedió a la química moderna.

Aún aceptando las limitaciones de los meta-análisis, que por razón de la heterogeneidad de los estudios que lo componen ven minado su poder estadístico, el comportamiento impredecible, caótico, del

paciente individual y de las poblaciones de pacientes, lleva a una incertidumbre que puede llegar a ser amplificada por la reunión y la síntesis de los resultados.

Volviendo a mi campo profesional, la cirugía, tradicionalmente el proceso de toma de decisiones ha sido un acto fundamentalmente subjetivo, basado en conocimiento personal, experiencia, habilidad clínica e intuición. En su constante búsqueda de la perfección y seguridad, algunos exponentes de la moderna cirugía buscan transformarla en un proceso basado en un agregado de información sistematizada de resultados disponibles en tiempo real. Pero, como hemos visto, según la teoría del caos y las leyes de la complejidad, los métodos de la medicina basada en la evidencia, específicamente los estudios clínicos aleatorizados y los meta-análisis, no alcanzan a tener la capacidad de proveer la certeza predictiva que es tan necesaria en el proceso de la toma de decisiones quirúrgicas. Los cirujanos tenemos que seguir principalmente confiados en el conocimiento, el buen juicio y, con frecuencia, la intuición, teniendo a la mano la mejor evidencia externa posible a la manera de un valioso elemento coadyuvante.

## **Dimensión fraccionaria: fractales**

Lorenz (2000) describe bien cómo desde finales del siglo XIX los matemáticos habían descubierto que algunos conjuntos de puntos tenían dimensiones fraccionarias: varias estructuras carecen de algunas de las propiedades asociadas con objetos simétricos simples de una, dos o más dimensiones. Esos matemáticos de hace más de 100 años trabajaron con dimensiones fraccionarias, pero correspondió a Mandelbrot, a mediados del siglo XX, comprobar que los conjuntos de dimensiones fraccionarias no tienen por qué ser misteriosos y que, en realidad, muchos de los sistemas que se encuentran en la naturaleza

tienen dimensión fraccionaria: los árboles, con sus troncos, ramas y brotes, las montañas, las costas. Uno de sus primeros escritos lo tituló ¿Cómo es de larga la costa de la Gran Bretaña?, en el cual resaltaba que si uno mide la longitud sobre mapas sucesivamente mayores que ofrezcan creciente resolución y detalle en los rasgos más pequeños, la respuesta es: <<cada vez más larga>>.

Si uno contempla la costa occidental de Colombia desde una nave espacial, la costa parece tener curvas bastante regulares. Pero si ahora la contemplamos sobre un mapa, vemos que la costa es irregular, y en un mapa de mayor detalle, las irregularidades son prominentes: a mayor escala, la longitud parece ser mayor. Evidentemente la costa posee una dimensión fractal.

El término *fractal* (del latín *fractus*, fragmentado o quebrado), que se refiere a algo de naturaleza fracturada o rota, fue acuñado por Mandelbrot, profesor de matemáticas en Yale, en su libro *La geometría fractal de la naturaleza* (1997). Es un concepto geométrico relacionado con el caos, aunque no sinónimo.

En el organismo humano se encuentran variados ejemplos de anatomía fractal, tales como el árbol bronquial, el sistema nervioso periférico o el sistema vascular; pero también de procesos complejos de dinámica fractal, como la frecuencia cardíaca, la respiración, la presión arterial, la marcha o el recuento de leucocitos. Tales procesos carecen de una escala única de tiempo. Por consiguiente, los procesos fisiológicos, contrario a la creencia ortodoxa, no son periódicos. La complejidad y las estructuras no lineales solo pueden ser medidas por sus dimensiones fractales y por la entropía del sistema (Lipsitz y Goldberger 1992; Goldberger, 1996).

En un popular artículo, publicado en Lancet en 1996, Goldberger ha expresado que los hallazgos de la dinámica no lineal plantean un desafío a los mecanismos convencionales de control fisiológico basado

en la homeostasis clásica, la cual señala que los sistemas saludables buscan alcanzar un estado estable (*steady state*). En contraste con esta visión, los sistemas no lineales con dinámica fractal (tales como los mecanismos neuroautonómicos que regulan la variabilidad de la frecuencia cardíaca) se comportan como si fueran gobernados lejos del equilibrio en condiciones basales. Esta clase de variabilidad compleja, en vez de un único estado estable, para ser lo que regula la libre función de los organismos vivos.

### **Atractores extraños**

Los sistemas más complejos exhiben lo que los matemáticos llaman atractores, estados en los que el sistema acaba estabilizándose, en función de sus propiedades”, dice Roger Lewin en su popular y ameno libro *Complejidad. El caos como generador de orden* (1995). Los atractores extraños son comunes para todos los fenómenos caóticos. Giraldo y Jaramillo (2002) citan la siguiente definición de atractor extraño: “punto que ejerce una fuerza de atracción radial de manera no literal y genera una cuenca orbital que produce trayectorias aperiódicas e irregulares en los objetos que caen dentro del horizonte de su influencia”.

Los atractores extraños hacen posible diferenciar el comportamiento de un sistema caótico, en el nuevo concepto científico del vocablo, del movimiento aleatorio o errático. Los atractores extraños también permiten distinguir entre la aleatoriedad o <<ruido>> y el caos. Y fue, mientras se exploraban los atractores extraños, en las décadas de los sesenta y setenta, que Mandelbrot, en forma independiente de la teoría del caos, inventó la nueva geometría llamada <<geometría fractal>>, un lenguaje matemático para describir y analizar la complejidad del mundo que nos rodea (Capra, 1996).

En realidad el atractor extraño se refiere a la retroalimentación interactiva entre las escalas o partes. Al graficar los cambios de un sistema caótico se puede ver cómo el sistema repite un modelo: el sistema es atraído hacia ese modelo de conducta. Esto se ve bien en las gráficas de los ritmos del corazón, por Goldberger, incluidas por Briggs y Peat en un libro *Las siete leyes del caos* (1999).

## **Dinámica no lineal y complejidad en medicina**

Goldberger (1996) ha escrito en forma didáctica sobre la dinámica no lineal, el caos, los fractales y la complejidad para médicos que ejercen especialidades clínicas. En medicina se perfilan noveles aplicaciones de las teorías del caos y complejidad en la comprensión de ciertas entidades.

En su obra *Psicoanálisis y la teoría de la complejidad. Una metáfora* (2002), para la cual escribió el Prólogo, Sánchez Medina profundiza en la teoría de la complejidad y del caos y hace una erudita analogía entre esta teoría de los sistemas complejos y del pensamiento sistémico y determinados conceptos psicoanalíticos. En la teoría del caos y complejidad, que algunos ya ven como la *teoría del todo*, encuentra un mecanismo intelectual de conexión con el psicoanálisis. El modelo de la complejidad y el caos es extensible a lo psíquico y a lo social. El caos nace de los órdenes psicológicos y físicos que conocemos, que se desordenan e interactúan unos con otros para crear alternativamente zonas de colapso. En tal contexto epistemológico, Sánchez Medina (2002) procede a ubicar el psicoanálisis desde la perspectiva del pensamiento complejo, en la cual:

El funcionamiento psíquico pertenece a un sistema complejo no lineal con tendencial desorden y caos (en sus partes, en sus asociaciones libres y atención flotante), y luego al orden, y, con semejanzas en la interpretación transferencial, para formar un conjunto que no ofrece certeza o certidumbre, sino solo probabilidades.

El autor presenta analogías que se refieren en primer término a las estructuras disipativas de Ilya Prigogine, tratando de encontrar nuevas relaciones entre el conocimiento físico-biológico y el psicológico. Es de especial pertinencia su interés en demostrar “puntos fijos” en los síntomas psíquicos que, a la manera de los *atractores* en la teoría del caos, sirven como puntos de organización y de ordenamiento de los campos del pensamiento. Así es como afirma que el caos es y forma parte del proceso y fenómeno de la naturaleza en la que opera el consciente y el inconsciente, pero siempre hay algo que actúa como atractor (fijo o periódico), como un punto referencial, que permite salir de las posiciones caóticas ambiguas o ambivalentes (Patiño, 2002c).

El organismo humano mantiene un equilibrio inestable correspondiente a su naturaleza de sistema caótico de alta complejidad. Las enfermedades, el trauma y, especialmente, el cáncer, producen impactos sobre la estructura y las funciones orgánicas, y las correspondientes alteraciones exhiben repercusiones amplificadas.

## **Caos y complejidad**

Hoy reconocemos que el mundo no es determinista en el sentido de causalidad unidireccional (como lo plantea el mecanismo [Andrade, 2000]), ni estable ni reversible, sino más bien de naturaleza evolutiva tanto en su estructura como en su función, no algorítmico, pleno de reacciones irreversibles, donde la inestabilidad y lo aleatorio son la regla, mucho más allá de nuestra capacidad de predicción mediante las leyes clásicas de la física y la termodinámica. El organismo humano, las sociedades y las expresiones sociales -como la economía, la cultura o la política-, que están en el tope del proceso evolutivo, constituyen complejas estructuras cibernéticas.

La teoría del caos y la ciencia de la complejidad, aunque no libres de controversia, ofrecen una perspectiva de orden y de patrones de organización donde antes solo se veía el azar y lo impredecible. El caos se refiere a comportamiento no periódico. Los sistemas caóticos exhiben condiciones de equilibrio (*steady states*) que son fundamentalmente inestables. En el organismo humano el estado de equilibrio es mantenido por la homeostasis, y en las sociedades por los mecanismos de gobierno y de justicia.

En plena era de la revolución de las tecnologías de la información y del surgimiento del concepto de la “metafísica de la informática” (Patiño, 2002b), la medicina busca en los estudios clínicos aleatorizados y en la investigación de resultados las certezas, el rigor estadístico y la objetividad que hagan posible un mejor ejercicio clínico. Pero la medicina sigue siendo, y más aún la cirugía, un acto humano. A diferencia de las aplicaciones de la física clásica en la industria, que tiene que ver con máquinas y con la producción de objetos inanimados, en la medicina, según la teoría del caos, nos tenemos que entender con organismos complejos disipativos y adaptativos de alto nivel de impredecibilidad. Los métodos de la medicina basada en la evidencia proveen información valiosa que puede dar soporte, pero no reemplazar el conocimiento científico, el razonamiento inteligente y la intuición, al confrontar la incertidumbre que acompaña a la toma de decisiones en circunstancias individuales.

Las nuevas ciencias del caos y la complejidad tratan de establecer una teoría unificada de los sistemas no lineales y se perfilan tan trascendentales como la mecánica de Newton, la evolución de Darwin o la relatividad de Einstein. Buscan esa teoría unificada de los sistemas complejos adaptativos basada en técnicas matemáticas como las involucradas en los algoritmos genéticos y digitales (Horgan, 1996).

## Cibernética

*Cibernética* es la ciencia que estudia los mecanismos automáticos de comunicación y de control de los seres vivos, de las máquinas y de las organizaciones. Es:

la nueva ciencia desarrollada por N. Wiener y colegas del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), la cual ha tenido enorme influencia sobre las teorías de la comunicación y el control, no solo sobre las matemáticas, la ingeniería y la electrónica, donde tuvo sus orígenes, sino también en áreas tales como la psiquiatría y la psicoterapia, la neurología, la física y aun ciertas ciencias sociales.

Así se reza la leyenda en la cubierta posterior de la edición revisada de *The human use of human beings. Cybernetics and society* (Wiener, 1948).

Wiener, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), acuñó el término y estableció la cibernética como ciencia. Wiener nació el 26 de noviembre de 1894 en Columbia, Missouri, USA, y murió, durante uno de sus viajes, en Estocolmo el 18 de marzo de 1964. Pocas semanas antes, el presidente Lyndon B. Johnson le había conferido la National Medal of Science. Fue un niño prodigio que leía y escribía a la edad de tres años, y se graduó en matemáticas en Tufts a los 14 años. Inicialmente estudió biología en Harvard, pero luego de un año, siguiendo el consejo de su padre, profesor de literatura en Harvard, inició estudios de filosofía y en 1913 obtuvo su Ph.D., a la edad de 18 años. En Cambridge, Inglaterra, Wiener estudió lógica matemática y, bajo la guía de Bertrand Russell, matemática general, estudios que continuó en la Universidad de Göttingen, Alemania. Luego de enseñar en la Universidad de Maine, USA, en 1919 fue contratado como instructor por MIT, la época en que el Instituto comenzaba a desarrollarse como el máximo centro de ciencia y tecnología. Desde allí ejecutó su vasta obra científica como profesor de Matemáticas.

Wiener, filósofo, matemático e intelectual apasionado, desarrolló la teoría estadística de la comunicación, una teoría matemática general elaborada durante la segunda guerra mundial, que habría de inspirar el diseño de toda clase de sistemas de comunicación, desde líneas telefónicas a transmisiones por satélite y redes informáticas. La teoría matemática de Wiener permitió separar y filtrar el ruido no deseado que se genera en las líneas de comunicación electrónica. Tras la segunda guerra mundial, Wiener trabajó en el diseño de prótesis con sensibilidad táctil para reemplazar miembros amputados, y estableció criterios que más tarde han sido utilizados con éxito, por ejemplo en la construcción del *Boston Arm*, un brazo artificial. Su obra clásica es *Cybernetics: Or control and communication in the animal and the machine*, que a pesar del empleo de matemáticas avanzadas y de un estilo discursivo y desordenado, tuvo un éxito insospechado (Heims, 1995). Este libro es reconocido como una de las obras más influyentes sobre el desarrollo de la ciencia en el siglo XX, una verdadera obra seminal comparable, ha dicho John R. Platt del *New York Times*, a las obras de Galileo, Malthus, Rousseau o Mill. Existe acuerdo en que la obra de Wiener ha modificado en forma significativa la dirección de la sociedad y de la civilización modernas.

En 1950 Wiener publicó *The human use of human beings*, una adaptación de *Cybernetics* para el público general, y en 1954 concibió *Invention. The Care and Feeding of Ideas*, cuyo manuscrito fue descubierto después de su muerte, y que solo vino a ser publicado en 19993. La versión en español apareció en 1995.

Wiener abre su libro clásico *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, publicada en 1948, con el párrafo siguiente, en mi traducción al castellano:

Este libro representa el resultado, luego de más de un decenio, de un programa de trabajo conjunto con el Dr. Arturo Rosenbleuth, por esa época de la Facultad de Medicina de Harvard y actualmente del Instituto Nacio-

nal de Cardiología de México. En aquellos días el Dr. Rosenbleuth, quien fuera colega y colaborador del fallecido Dr. Walter B. Cannon, realizaba una serie de reuniones mensuales de discusión sobre el método científico. Los participantes eran principalmente científicos jóvenes de la Facultad de Medicina de Harvard, y solíamos cenar en una mesa redonda en el Vandervilt Hall [...] No todos los participantes eran médicos o científicos médicos. Uno de nosotros, muy cumplido en su asistencia y de gran valor en nuestras discusiones, era el Dr. Manuel Sandoval Vallarte, un mexicano con el Dr. Rosenbleuth y Profesor de Física en el Massachusetts Institute of Technology, quien había sido uno de mis primeros estudiantes cuando yo llegué al Instituto, pasada la Primera Guerra Mundial [...] Yo había estado interesado en el método científico por largo tiempo y había participado en un seminario de Josiah Royce en Harvard sobre el tema en 1911-1913. Por lo demás, aparecía esencial con la presencia de alguien que pudiera analizar en forma crítica los interrogantes matemáticos. Por ello me convertí en un miembro activo del grupo hasta cuando el Dr. Rosenbleuth fue llamado a México en 1944 y la confusión general resultante de la guerra dio fin a tal serie de reuniones.

Es fascinante la lectura de la Introducción en el libro de Wiener (1948). Allí se refiere cómo a lo largo de muchos años el Dr. Rosenbleuth y él compartían la convicción de que las áreas más ricas para el crecimiento de las ciencias son las *tierras de nadie*, aquellas que permanecen descuidadas en medio de campos bien establecidos. Es en estas regiones limítrofes donde se encuentran las mejores oportunidades para un investigador calificado. Pero al mismo tiempo, son las más refractarias al ataque mediante técnicas de abordaje masivo y a la división del trabajo.

Wiener (1948) relata el origen de su trabajo en el problema que, en la guerra mundial, planteaba el gran desarrollo de la aviación alemana y la necesidad de una defensa efectiva por parte de Inglaterra. Se requería desarrollar algún método que permitiera predecir el curso curvilíneo y zigzagueante de un avión bombardero en vuelo para lograr eficacia de la artillería antiaérea. Wiener y su colaborador, Julian H. Bigelow, ya

enfascados en la investigación de la teoría de la predicción y en la construcción de sistemas electromecánicos capaces de simular funciones de cálculo y de reacción humanas, llegaron pronto a la conclusión de que un factor de extrema importancia en la actividad voluntaria es lo que los ingenieros de control denominan retroalimentación. En el ser humano las sensaciones propioceptivas determinan el cumplimiento de la acción que obedece a un propósito. Una acción voluntaria elemental, como coger un lápiz, obedece a un propósito mental que ordena y a un mecanismo propioceptivo de retroalimentación y de acción que lo ejecuta. La función integral del sistema nervioso significaba la confirmación de su hipótesis sobre la naturaleza de la actividad voluntaria. En efecto, así el sistema nervioso ya no aparecía como un órgano encerrado que recibe estímulos de los sentidos y los descarga en los músculos, sino que algunas de sus características más importantes solo pueden explicarse como procesos circulares que emergen del sistema nervioso hacia los músculos y que reingresan al sistema nervioso a través de los órganos de los sentidos, sean estos propioceptores u órganos de sentidos especiales. Ello parecía representar un nuevo paso en el estudio de la parte de la neurofisiología concerniente no únicamente a los procesos elementales de los nervios y sinopsis, sino al funcionamiento del sistema nervioso como una integridad global. Los tres investigadores consideraron que tal punto de vista merecía un escrito, el cual fue elaborado y publicado con el título de *Comportamiento, propósito y teleología* (Rosenbleuth *et al.*, 1943), el cual vino a representar el planteamiento de un programa para un voluminoso trabajo de experimentación. En el plano de la ingeniería de la comunicación, aparecía claro para Bigelow y Wiener que los problemas de la ingeniería del control y de la ingeniería de la comunicación eran inseparables y que se contaban no alrededor de la técnica de la ingeniería eléctrica, sino alrededor de la noción más fundamental del mensaje, fuera de este de transmisión eléctrica, mecánica o nerviosa, entendido el mensaje como una secuencia definida o continua de eventos medibles en el tiempo; lo que los matemáticos denominan serie cronológica.

Haciendo del diseño de la ingeniería de la comunicación una ciencia estadística, una rama de la mecánica estadística, los investigadores desarrollaron una teoría estadística del *volumen de la información*, en la cual el volumen de la información era aquel transmitido como una simple decisión entre alternativas probables. La información debería ser depurada de artefactos y “ruido del trasfondo”.

El concepto del volumen de información se liga en forma muy natural a una noción clásica de la mecánica estadística: la entropía. Así como el volumen de información en un sistema es una medida de su grado de desorganización; y la una es simplemente la negación de la otra. Este punto de vista los llevó a una variedad de consideraciones pertinentes a la segunda ley de la termodinámica y al estudio de la posibilidad de los llamados “demonios de Maxwell”.

Tales interrogantes surgen en forma independiente en el estudio de las enzimas y de otros agentes catalíticos y su estudio resulta esencial para la debida comprensión de fenómenos de la materia viva tan fundamentales como el metabolismo y la reproducción. El tercer fenómeno fundamental de la vida, que es la irritabilidad (o excitabilidad), pertenece al terreno de la teoría de la comunicación y se ubica en el grupo de las ideas que hemos venido discutiendo (Schrödinger, 1947).

Wiener (1948), describe magistralmente las consideraciones que tuvo que acoger el grupo de científicos encabezado por el Dr. Rosenbleuth para bautizar la nueva teoría:

... el grupo de científicos congregados alrededor del Dr. Rosenbleuth y de mi mismo, ya se había percatado de la unidad esencial del grupo de problemas centrados en comunicación, control y estadística mecánica, sea en la máquina o en los tejidos vivos. Por otra parte, nos veíamos seriamente impedidos por la carencia de unidad en la literatura pertinente a tales problemas y por la ausencia de una termi-

nología común, o de un término para denominar el campo. Luego de mucho considerar, hemos llegado a la conclusión de que la totalidad de la terminología existente se halla fuertemente sesgada hacia uno u otro lado para ser tan útil al desarrollo futuro del campo como debiera; y tal como ocurre frecuentemente a los científicos, nos vimos forzados a acuñar por lo menos un término neo-griego artificial que pudiera llenar el vacío. Hemos decidido denominar la totalidad del campo de la teoría del control y la comunicación, sea en la máquina o en el animal, con el término cibernética, que conformamos a partir del griego *cuberthnhz* o *timonel*. Al escoger tal vocablo queremos reconocer que el primer escrito de importancia sobre mecanismos de retroalimentación es un artículo sobre *governors*, publicado por Clark Maxwell en 1863 (Proceeding of the Royal Society [London], 16:270-283, 1868), y que *governors* se deriva de una aberración latina de *cuberthnhz*. También hacemos referencia al hecho que los mecanismos de dirección (timonel) de un buque en realidad son una de las primeras y mejor desarrolladas formas de mecanismos de retroalimentación.

La comunicación es el intercambio de expresiones entre individuos mediante un sistema común de símbolos.

El interés en la comunicación se ha disparado como consecuencia del avance de la ciencia y el vertiginoso proceso de la tecnología. El hombre, por naturaleza, es una criatura comunicativa. La comunicación constituye un área de primordial interés en todos los campos de la ciencia y hoy la comunicación masiva gobierna el comportamiento de las sociedades. En todo ello sobresalen los principios establecidos por Wiener, junto al planteamiento original de Shannon sobre la teoría matemática de la comunicación, publicado en el *Bell System Technical Journal* en 1948, y que han sido reimpresos en libros y en revistas recientes (Shannon, 1963, 1997 a, b; Slack, 1997).

## Teoría del caos, incertidumbre y cirugía

En su libro *El fin de las certidumbres* (1997), 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 autoorganización y las estructuras disipativas. “Hoy, los desarrollos de la física y las matemáticas del caos y la inestabilidad abren un nuevo capítulo” (Prigogine, 1997).

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 viviente, 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.

## **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 (1985), “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). 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 del 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 del caos se ocupa *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: sustancia, 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 esta 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). Su objeto es el organismo humano, ese maravilloso sistema de muy alta complejidad, el 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 (Patiño, 1996 a, 2000 b).

Aunque los procesos biológicos obedecen a las 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 Locke o de 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 extiende.

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 base 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 consiguiente, 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 y Ross, 1999). 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. Solo el cortisol se mantiene elevado, bajo estímulos de

carácter periférico, aunque esto, con el tiempo, también puede fallar. El comienzo de la recuperación se manifiesta por restauración de la sensibilidad secretoria de la hipófisis anterior a los mecanismos de retroalimentación (Van den Berghe *et al.*, 1998).

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 solo 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, 1999a).

*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 las 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.

## Oncología, caos, sistemas adaptativos complejos y estructuras disipativas\*

El organismo humano, de alto nivel de complejidad en su organización estructural y funcional, es un claro ejemplo de un equilibrio dinámico, homeostático y de autoorganización, intrincado y tremendamente interdependiente, en el cual pequeñas alteraciones pueden causar desastres fisiológicos o la muerte. Es un equilibrio inestable, de evolución adaptativa, correspondiente a un sistema caótico de alta complejidad. Las enfermedades, el trauma y, especialmente, el cáncer, producen impactos sobre la organización orgánica, y las correspondientes alteraciones exhiben repercusiones amplificadas.

El *caos*, o la ciencia de los *sistemas no lineales dinámicos y complejos*, toma su nombre de la palabra griega que significa desorden y ello puede generar importantes confusiones porque recientemente los investigadores han descubierto la sutil y compleja estructura que yace bajo el caos de la turbulencia y otras conductas impredecibles de la naturaleza. (Monroy 1998).

Waldrop (1992) define la *complejidad* como la ciencia emergente que trata la frontera entre el caos y el orden. La teoría del caos plantea que reglas dinámicas muy simples pueden dar lugar a comportamientos extraordinariamente intrincados. El *caos* trata de la *universalidad de la complejidad*, pero el caos de por sí no explica la estructura, la coherencia, la cohesión autoorganizacional de los sistemas complejos. Los sistemas complejos de alguna manera adquieren la capacidad de poner el caos y al orden en una especie de equilibrio, que es el punto, en el caso de los organismos vivos, donde la vida adquiere la estabilidad necesaria para su funcionamiento y conservación. Esta frontera del caos repre-

---

\* Una versión de este artículo fue publicado inicialmente en la Revista Colombiana de Cirugía 2002; 17:5-9

senta la batalla constante entre estancamiento y anarquía, el punto en el cual un sistema complejo puede ser espontáneo, adaptable, vivo. En medicina corresponde al estado de salud que determina la homeostasis.

Se denominan *sistemas complejos adaptativos* a los sistemas que captan información en forma de flujo de datos y que perciben regularidades en el mismo, tratando el resto del material como aleatorio. El organismo humano es un sistema complejo adaptativo, y su estructura y funcionamiento corresponden a un sistema caótico, según las anteriores definiciones.

Los seres vivos combinan la estabilidad de la estructura con la fluidez del cambio, lo cual permite su desarrollo, reproducción y evolución. Son <<estructuras abiertas>>, *estructuras disipativas*, que dependen de flujos continuos de energía y recursos. Capra (1996) resume así la teoría de las *estructuras disipativas* planteada por Prigogine (1993a):

La comprensión de las estructuras como sistemas abiertos proporcionó una importante nueva perspectiva, pero no solucionó el rompecabezas de la coexistencia de estructura y cambio, de orden y disipación, hasta que Ilya Prigogine formuló su teoría de estructuras disipativas [...] La clave para entender las estructuras disipativas es comprender que se mantienen en un estado estable lejos del equilibrio [...] (Nota: aquí se refiere al equilibrio físico, no al equilibrio dinámico y funcional, homeostático, de los organismos vivos). Un organismo vivo se caracteriza por un flujo y un cambio continuos en su metabolismo, comprendiendo miles de reacciones químicas. El equilibrio químico y térmico se da únicamente cuando estos procesos se detienen. En otras palabras, un organismo en equilibrio es un organismo muerto. Los organismos vivos se mantienen constantemente en un estado alejado del equilibrio, en el estado de vida. Siendo muy distinto del equilibrio, este estado es sin embargo estable a lo largo de períodos prolongados de tiempo, lo que significa que, como un remolino, se mantiene la misma estructura general a pesar del incesante flujo y cambio de componentes [...] Más lejos del equilibrio los flujos son más fuertes, la producción de entropía aumenta y el sistema ya no tiende al equilibrio. Bien al

contrario, podrá encontrarse con inestabilidades que le conduzcan a nuevas formas de orden que alejarán al sistema más y más del estado de equilibrio. En otras palabras, lejos del equilibrio las estructuras disipativas pueden desarrollarse hacia formas de complejidad creciente [...] Prigogine enfatiza que las características de una estructura disipativa no pueden deducirse de las propiedades de sus partes, sino que son consecuencia de su <<organización supramolecular>>. Aparecen correlaciones de largo alcance en el mismo punto de transición de equilibrio a no equilibrio, y a partir de este punto, el sistema se comporta como un todo [...] Cuanto más alejado del equilibrio está un sistema mayor es su complejidad y más alto el grado de no-linealidad de las ecuaciones matemáticas que lo describen. La teoría de Prigogine demuestra que el comportamiento de una estructura disipativa alejada del equilibrio no sigue ninguna ley universal, sino que es exclusivo del sistema específico. Cerca del equilibrio, podemos encontrar fenómenos repetitivos y leyes universales. A medida que nos alejamos de él, nos desplazamos de lo universal a lo único, hacia la riqueza y la variedad. Ésta, sin duda, es una característica bien conocida de la vida. (Capra, 1996).

En su obra *¿Tan solo la ilusión?* (1993a), Prigogine define las estructuras disipativas:

La formación de <<estructuras disipativas>> en condiciones muy alejadas del equilibrio, y en el que la estructura surge a partir del caos térmico, del azar molecular [...] cuando nos apartamos mucho de las condiciones de no equilibrio, se originan nuevos estados en la materia. Llamo a estos casos <<estructuras disipativas>>, porque presentan estructura y coherencia, y su mantenimiento implica una disipación de energía.

## **El cáncer desde la perspectiva de la teoría del caos**

El cáncer es una entidad “parasitaria”, de crecimiento no controlado, resultante de alteraciones génicas. Hoy se acepta que no importa cuál sea el agente inductor, el cáncer en última instancia es el resultado de

cambios en el ácido nucleico cromosómico de la célula afectada, cambios que dan lugar a la organización y al crecimiento autónomo de un nuevo sistema biológico en el organismo del huésped.

La investigación y el manejo del cáncer han sido tradicionalmente enfocados desde la óptica de las ciencias naturales, puesto que los problemas del cáncer tienen que ver con diferenciación celular y con regulación del crecimiento a la luz de la genética.

Propongo mirar el cáncer más allá de la ciencia natural, a la luz de la teoría del caos y de la *ciencia de la complejidad*, como un fenómeno aleatorio en un *organismo complejo adaptativo de no equilibrio*. Así concebido, el cáncer de por sí es una *estructura disipativa*, muy alejada del equilibrio, un nuevo estado de la materia que depende de flujos continuos de energía y recursos provenientes del huésped, o sea del organismo humano sobre el cual se conformó, pero que exhibe una tendencia hacia el crecimiento continuo e ilimitado. Una manera de controlarlo sería induciendo su equilibrio químico y térmico, o sea deteniendo sus procesos de autoorganización y perpetuación, puesto que las estructuras disipativas en equilibrio son organismos muertos.

Un cáncer resulta de la activación de un oncogen, fenómeno que obedece a diversos eventos intracelulares: mutación, translocación cromosómica, amplificación, inserción y *delección* (supresión).

La vida pretende crecer y multiplicarse, pero cuando las células cooperan en la construcción de un organismo superior, su crecimiento debe ser regulado. Un organismo superior solo es posible bajo una política de crecimiento represiva. Y también muy rigurosa, porque las células de los mamíferos se duplican cada 24 horas. Aun la más pequeña de las libertades puede resultar fatal. La célula cancerosa no obedece a los impulsos regulatorios del organismo. Cualquier cambio, en cualquier lugar, puede influir en forma devastadora sobre la totalidad del sistema, que es el organismo sobre el cual se desarrolla el neoplasma.

En cierto punto del proceso, los efectos carcinogénicos son irreversibles: las células no pueden recuperarse de la acción de un agente carcinogénico químico. La carcinogénesis es un proceso acelerado en el cual las dosis del agente cancerígeno se acumulan en forma amplificada. Su comportamiento, como entidad definida, es caótico e impredecible por los métodos de análisis convencionales, y solo puede ser expresado en términos no de certidumbres sino de probabilidades.

Establecido el nuevo patrón de estructura disipativa, gracias a su estado muy alejado del equilibrio, el continuado crecimiento del cáncer y su organización dependen del flujo de energía y recursos provenientes del huésped, el cual es un sistema adaptativo. Cuando la capacidad de adaptación del huésped es sobrepasada por el neoplasma, este adquiere la categoría metabólica y estructural de “organismo primario” y el huésped va a la muerte.

Desde la perspectiva de la dinámica de los organismos complejos adaptativos y de las estructuras disipativas, el organismo humano va inexorablemente hacia el deterioro, la muerte y la disipación, o sea que el proceso normal de la vida es uno de entropía creciente. Por el contrario, el cáncer aparece como un sistema de organización y crecimiento “desbocado”, ilimitado y, por consiguiente, es un sistema autónomo de entropía decreciente. La combinación del organismo huésped y su tumor es de naturaleza opuesta e implica un manejo diferente: disminuir la entropía en el paciente y aumentarla en el tumor.

Teóricamente, el crecimiento del cáncer y su impacto sobre el huésped pueden ser controlados -a la luz de las teorías del caos, complejidad, organismos adaptativos y estructuras disipativas- interrumpiendo la formación del nuevo orden estructural y funcional o controlando sus procesos metabólicos para llevarlos al equilibrio, o sea, a la suspensión, o bien estimulando la adaptación del huésped a la estructura pa-

rasitaria de cuya propia materia se originó. Es un planteamiento de física teórica, para contrastarlo con los planteamientos tradicionales de ciencia natural.

## Conclusión

*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 aunque no logran predicciones así 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. De aquí la importancia de considerar el cáncer desde la perspectiva del concepto del caos y de la teoría de la complejidad.

¿Se podría pensar que las dos teorías, la de la *complejidad* y la del *caos*, como lo creen algunos, ya han fallado y apenas exhiben amplia retórica pero solo modestos descubrimientos? Para la medicina, que hoy contempla a la naturaleza, al hombre y a la sociedad en forma integral, desde la óptica de la *biología evolutiva*, la *cibernética* y la *sociobiología*, de los *sistemas complejos adaptativos* y de las *estructuras disipativas*, o sea, desde una gran ampliación del *concepto infomédico* de Foss y Rothenberg (1987), su estudio y análisis, comprensivamente cobijados por las teorías del caos y de complejidad, se convierte en algo obligatorio. Especialmente en el campo de la oncología, que hoy es enfocado desde la amplia perspectiva de la genética, que es una perspectiva de ciencia natural. Proponemos verla, además, desde la perspectiva de la física teórica, la de los sistemas complejos adaptativos y de las estructuras disipativas, la cual provee entendimiento adicional y abre posibilidades diferentes de manejo. Y de todas maneras, porque las dos teorías, la del caos y la de la com-

plejidad, representan una nueva forma de diálogo con la naturaleza y permiten el avance en el estudio del orden como concepto abstracto, y porque además fundamentalmente son investigadas y analizadas en el computador, se mantienen vivas y plenamente vigentes como campo fructífero de disquisición intelectual, de pensamiento sistémico y de investigación científica.

### **Biología evolutiva: bases biológicas de la nutrición\***

Hoy la evolución se discute en un contexto bastante más amplio y profundo que la ortodoxa concepción darwiniana, más bien como el *proceso secuencial de órdenes de existencia* que se inicia con la *transición de la energía a la materia* y prosigue con la de la *materia a la vida* y la de la *vida a la inteligencia*. En tal contexto, la nutrición es reconocida como un factor determinante y efector de la evolución (Crawford y Marsh, 1989).

El tema de las bases biológicas -o sea termodinámicas y genéticas- de la nutrición es el tema de la vida misma, es la esencia del proceso vital.

Para la comprensión de las bases termodinámicas y genéticas de la vida es necesario tratar el tema del origen del universo y el desarrollo del planeta Tierra, haciendo un recorrido por el tiempo y el espacio a fin de visualizar el modelo biogénico de la Tierra y efectuar un repaso de paleobioquímica, de la evolución química, de la evolución protobiótica y de la evolución biológica, para así explicar el origen de la vida, su permanencia y su desarrollo sobre la Tierra (Patiño, 2001b).

---

\* El presente texto es una versión de un capítulo de un libro: J.F Patiño y S.E. de Pimiento (Eds.) (2006), *Metabolismo nutrición y shock en el paciente quirúrgico*, 4a ed. Buenos Aires, Bogotá: Editorial Médica Panamericana.

Según la más moderna teoría del origen del universo (Hawking, 1988-2002), este se originó en la magna explosión *-el Big Bang-* de una partícula infinitamente pequeña e infinitamente densa *-la singularidad original-* hace unos 15.000 millones de años. Inmediatamente después del *Big Bang* solo había energía, la cual progresivamente dio lugar a un nuevo orden de existencia: la materia física. Se piensa que la separación de la energía y la materia ocurrió alrededor de 300.000 años luego de la gran explosión. Durante miles de millones de años esta materia fue inanimada, pero de ella surgió un nuevo orden: la vida, y de los organismos vivos emergió otro nuevo orden, la conciencia autorreflexiva. Esta representa el último peldaño en la escala de la evolución.

La nutrición, o sea la alimentación, es un factor determinante del proceso evolutivo:

1. Las células más primitivas surgieron hace 3.500 millones de años. Eran extremadamente simples, pero representan las primeras formas de vida sobre la Tierra. Se nutrían de los materiales del ambiente: consumían gases, minerales, moléculas orgánicas y, por supuesto, energía-luz. Son las células procariotas.
2. El devenir evolutivo dio lugar a la aparición gradual de microorganismos de mayor complejidad que comenzaron a alimentarse de otras formas de vida, con lo cual ya no tenían que sintetizar sus propias moléculas partiendo desde el principio, sino que aprovechaban las existentes en el alimento ingerido, tales como aminoácidos, proteínas y vitaminas, o sea que consumían materia organizada. Son las células eucariotas, de tamaño mucho mayor que las procariotas, unas 10.000 veces en volumen (De Duve, 1996).
3. El siguiente acontecimiento dentro del proceso evolutivo ocurrió hace mil millones de años, tal vez como consecuencia de una crisis de alimentos. Al superar cierto tamaño, las células ya no podían

ingerir el alimento necesario para la subsistencia. La respuesta de la evolución a este problema consistió en limitar el tamaño de las células y crear sistemas de agrupación de las mismas, dando paso a los organismos pluricelulares: las esponjas y, posteriormente, las medusas. Ahora las células comenzaron a especializarse, con lo cual el organismo pluricelular adquirió una mayor capacidad de adaptación a su entorno.

4. Hace unos 600 millones de años comenzaron a desarrollarse organismos pluricelulares más complejos, todavía en el ámbito marino, como moluscos y gusanos.
5. Hace 450 millones de años las plantas, organismos fotosintéticos, comenzaron a colonizar la Tierra y conformaron una nueva fuente de alimento.
6. Cincuenta millones de años después lo hicieron los animales, que ahora se nutrían de plantas y con ello completaban la cadena alimenticia.
7. Los seres vivos se diversificaron para dar lugar al enorme número de especies de plantas y animales que se conoce hoy día.
8. El desarrollo del sistema nervioso de los animales y del hombre marca un hito en el proceso evolutivo. Dice Russell (1992):

Durante los últimos 50 millones de años el cerebro ha crecido de forma espectacular, siendo este uno de los mayores y más rápidos cambios en la historia de la evolución. [...] Con el desarrollo del cerebro humano y su corteza, se dio otro paso gigante en la evolución, de tanta importancia como el que originó la vida. Este fenómeno fue el surgimiento de la conciencia autorreflexiva.

Ya se vislumbra que el siguiente paso en la evolución es la inteligencia artificial, y algunos autores han llegado a proclamar que a menos que nos percatemos de la amenaza de la inteligencia artificial, ¡la raza humana tal vez no sobreviva más de algunas décadas!

## **La evolución de la vida en la perspectiva del microcosmos**

En su fascinante obra *Microcosmos* (1995), Lynn Margulis y Dorion Sagan hacen el recuento de la evolución de la vida sobre la Tierra desde la perspectiva de las bacterias y plantean que, en contra de lo que creemos al contemplar la vida sobre la Tierra, el hombre dista de ser supremo. Las investigaciones de fósiles, la descodificación del ácido desoxirribonucleico (ADN) y los descubrimientos sobre la estructura y el funcionamiento de las propias células humanas han cambiado rotundamente las ideas preestablecidas sobre el origen de la vida y la evolución sobre la Tierra. El microscopio ha demostrado la inmensidad del microcosmos y aporta una visión sobrecogedora del verdadero lugar del ser humano en la naturaleza.

La vida no surgió toda, de una vez, sobre la Tierra, sino que diversas formas de vida se multiplicaron y se hicieron cada vez más complejas, integrándose con otras en combinaciones simbióticas. Durante los primeros dos mil millones de años los únicos habitantes fueron exclusivamente microorganismos bacterianos.

Así pues, en un principio, la vida consistía solo en microbios; hoy existe la civilización humana. Los microbios cubren las cinco sextas partes de la historia de la vida, viven en nosotros, y fueron ellos los que establecieron las bases químicas y estructurales fundamentales en que todavía se basa cualquier forma de vida. En efecto, en esos primeros dos mil millones de años, los organismos procariontes (o sea los constituidos por células desprovistas de núcleo) transformaron, continuamente, la superficie de la Tierra y la atmósfera, y determinaron todos los mecanismos químicos de la nutrición. Todo lo cual fue posible gracias al ADN, a la transferencia, intercambio y mutación genéticas y al desarrollo de las mitocondrias. Estos organitos intracelulares, algunos así lo creen, son los descendientes de las bacterias ancestrales que hace miles de millones de años nadaban en las aguas primitivas respirando oxígeno.

Algunos autores se refieren al hambre y a la necesidad del alimento como factores determinantes de las uniones simbióticas y de la aparición del movimiento de los organismos primitivos. Las espiroquetas, que son bacterias espirales, móviles y filiformes, las bacterias más veloces del microcosmos, cuyo oficio es el movimiento, lo cual les proporcionaba la enorme ventaja de conseguir más alimento, “pulsaban en el interior y en el exterior de otras bacterias y acabaron proporcionando movimiento eficiente incluso a aquellos organismos que nunca lo habían solicitado.” (Margulis y Sagan, 1995)

El planteamiento de Margulis y Sagan (1995) es una hipótesis, y como tal ha merecido discusión y no poca controversia.

## **La nutrición: una disciplina unificadora**

La nutrición es una disciplina unificadora de las ciencias básicas, de aquellas que nos permiten la comprensión del gran proceso evolutivo que lleva desde la aparición de la energía primordial luego del *Big Bang*, al sistema biológico, y de allí a la aparición del sistema nervioso y el cerebro, y al desarrollo de conciencia autorreflexiva: la inteligencia.

Como lo plantea Russell (1945), la matemática y la física son adecuadas para describir la radiación electromagnética de la energía; la química describe el comportamiento de los átomos y las moléculas; la biología describe los fenómenos que gobiernan los organismos vivos, y como cada una de estas ciencias comprende los órdenes anteriores, nada se pierde al avanzar de la una a la otra.

Porque la nutrición se fundamenta en los principios de la física, la química y la biología, se la considera una disciplina unificadora de las anteriores ciencias.

## **El concepto vital**

El concepto vital es complejo y, por ello, ha sido difícil lograr una definición única de la vida que satisfaga a todas las ramas de la ciencia. Aristóteles definía al ser viviente en términos de pensamiento y percepción, y de movimiento, crecimiento y descomposición. Los bioquímicos y los fisiólogos dicen que vivo es el ser que metaboliza. Los genetistas que es aquel capaz de reproducirse y de transmitir herencia.

El avance de la biología molecular y el mejor conocimiento de la dinámica de los sistemas no lineales (teoría del caos) conllevan su propia definición de la vida, la cual hace referencia a los fenómenos moleculares y de autoorganización que intervienen en los procesos vitales. Los seres vivos son sistemas complejos, disipativos y abiertos que se caracterizan por un tiempo unidireccional (Prigogine, 1997); poseen información hereditaria reproducible, codificada en los ácidos nucleicos, y regulan su metabolismo mediante catalizadores proteicos llamados enzimas.

En la anterior definición hay implícitos tres conceptos básicos:

- la dirección genética
- la autoorganización y complejidad
- el proceso metabólico enzimático

-  
La vida, en esencia, es un proceso energético, de transformación de materia y de calor en energía, pero la síntesis de las enzimas necesarias para los procesos metabólicos es de carácter genético. Además, su continuidad, así como la diferenciación en especies se conoce como evolución.

A pesar de la enorme variedad de especies que habitan la Tierra, los materiales que intervienen en los procesos vitales son iguales para la

totalidad de los seres vivos, y los procesos biológicos se rigen por las leyes universales de la física.

La biología molecular, desarrollada vertiginosamente a partir del descubrimiento de la estructura molecular del ADN por Watson y Crick en 1953 (Watson, 1980), ha venido a proveer una base físico-química a los intrincados fenómenos biológicos tales como la reproducción celular, la síntesis proteica y de los compuestos orgánicos, la herencia, y la preservación del medio interno, o sea la homeostasis. Judson (1979) acertadamente ha llamado a este hecho “*el octavo día de la creación*”.

El concepto *metabolismo* es central en el concepto *vital*. Metabolismo es un proceso termodinámico, esencia de la nutrición.

La termodinámica es la ciencia del calor y el trabajo, y de la conversión del uno en el otro. La primera ley de la termodinámica, la de la *conservación de la energía*, asevera que cuando el calor se transforma en otras formas de energía, el total de la energía resultante se mantiene constante, o sea, la energía puede convertirse de una forma a otra, pero no se la puede crear ni destruir; la energía de un sistema y su ambiente se mantiene constante, no importa cuáles sean los cambios o transformaciones en la forma de la energía. La segunda ley, que es la de mayor interés desde el punto de vista biológico, describe las limitaciones en la conversión de calor en trabajo y lleva a los criterios que predicen la dirección de los procesos naturales, por lo cual se la ha denominado *la flecha del tiempo*. El calor no se puede transformar totalmente en trabajo en un proceso continuo: en términos simples, según el segundo principio de la termodinámica, ninguna máquina de calor, operando en ciclos, puede convertir totalmente la energía térmica en trabajo, y algo de calor que se produce es desechado. Dicen Curtis y Barners (2001): “el trabajo puede transformarse en calor sin restricciones, pero el calor no puede transformarse en trabajo sin restricciones.”

Los procesos metabólicos son de naturaleza irreversible, y la energía potencialmente disponible al comienzo del proceso no puede ser recuperada para efectos de realizar más trabajo; por lo tanto, los procesos naturales, los procesos biológicos, siempre se asocian con degradación o rebaja de energía, y la fracción de la energía que no se puede convertir en trabajo se pierde en forma de calor que fluye hacia un cuerpo más frío y se hace menos disponible, aunque la suma total de la energía resultante al final del proceso no haya cambiado. Porque ceden energía, se los denomina *exergónicos*. Una medida del grado de irreversibilidad de un proceso termodinámico es la *entropía*.

La termodinámica establece una clara distinción entre sistemas cerrados y sistemas abiertos: un sistema cerrado es el que no intercambia ni materia ni radiación con el medio ambiente que lo rodea; así son los entes inanimados. Un ser vivo es un sistema abierto que realiza el intercambio de radiación o de materia con su medio ambiente con el fin de mantener su estructura y organización interna. En el proceso de alimentación, o sea de acumulación de reservas de energía, la energía potencial final es mayor que la inicial, pero requiere energía. Porque el proceso requiere energía, se lo denomina *endergónico*.

Es sorprendente que con un muy limitado número de elementos, principalmente carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, se construyan todas las moléculas de la estructura orgánica y funcional de un ser vivo.

En la actualidad se cree que el universo nació con el *Big Bang*, la explosión primordial que tuvo lugar hace 15 ó 20.000 millones de años. Esta fue también el origen del tiempo: el tiempo tiene su principio en el *Big Bang*, y el concepto del tiempo no tiene significado antes del comienzo del universo (Hawking, 1993, 1996); el momento del *Big Bang* es el tiempo cero (Chaisson, 1981).

En el polvo interestelar y en las nubes gaseosas de cuya condensación surgieron los cuerpos celestes hay abundancia de las moléculas simples -fundamentalmente de hidrógeno-, y compuestas, a partir de las cuales se construyó el edificio de la vida.

El bioquímico ruso Oparin en 1922 formuló la teoría de la aparición de la vida como un fenómeno precedido por un largo y gradual proceso evolutivo de compuestos de nitrógeno y carbono sobre la faz de la Tierra, lo que se llama evolución química. Su monografía original, *El origen de la vida*, es una clásica contribución a la bioquímica y la biología.

La tierra comenzó a existir como planeta independiente hace unos 4.500 millones de años; los primeros rastros de vida han sido identificados en rocas sedimentarias cuya edad se estima en más de tres mil millones de años. Sin embargo, seguramente hubo numerosas formas primitivas de cuerpo blando que florecieron previamente y que, por estar desprovistas de esqueleto, no dejaron huella en formas de fósiles. La materia y la energía que entonces existían son las mismas que existen hoy; solo que hoy, de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, existe menos energía potencial y hay mayor entropía. Gaia, la madre Tierra, no debería llamarse Tierra sino Mar, porque nuestro planeta está constituido en sus tres cuartas partes por océanos. La Tierra es el planeta del agua, y sin agua no habría vida.

Estas características de nuestro planeta, agua abundante y una atmósfera protectora, hicieron posible la iniciación y el desarrollo de la vida. Pero la Tierra no fue siempre así.

Hace 4.500 millones de años la joven Tierra estaba desprovista de vida y sumergida bajo una capa profunda de agua de altas temperaturas. El sol abrasaba y bombardeaba su superficie con partículas de alta energía y luz ultravioleta a través de una atmósfera rica en hidrógeno, amoníaco y metano, todavía carente de oxígeno y ozono; violentas

tormentas de lluvias se acompañaban de relámpagos y rayos que producían energía eléctrica, y los volcanes en erupción permanente lanzaban lava sobre el océano primitivo. Ocasionalmente un meteorito atravesaba la atmósfera para chocar contra el mar y levantar gigantes olas, de varios kilómetros de altitud. En la atmósfera, que era un ambiente eminentemente reductor por su elevado contenido de hidrógeno, ocurrían descargas eléctricas que, junto con la radiación nuclear, estimulaban la fusión de moléculas simples en combinaciones incontables para formar moléculas más complejas. La acumulación sucesiva de moléculas en el medio ambiente primitivo, sometido a descargas eléctricas, a luz ultravioleta y a radiación dura, eventualmente, a la formación de aminoácidos, que son los ladrillos con los cuales se construye la estructura del organismo vivo (Davies, 2000).

Las agregaciones de macromoléculas en este medio físico-químico primitivo ocasionaron que a su alrededor se formara un límite o membrana que eventualmente las vino a separar de su entorno, constituyéndose así en unas microesferas protenoides capaces de cumplir algunas reacciones químicas análogas a las de las células vivas (Curtis y Barnes, 2001).

Sucesivas agregaciones e interacciones de los aminoácidos llegaron a constituir las proteínas primordiales, cuyas moléculas probablemente tenía forma de gusano. Tales proteínas se unieron luego con los ácidos nucleicos primitivos, con lo cual la síntesis proteica se convirtió en un proceso continuo y autoestimulado.

Por millones de años, tal vez 500 millones, el ensamble casual pudo dar lugar a la formación de sustancias capaces de realizar trabajo biológico. La primera tarea biológica de estas elementales formas de vida fue la de replicarse y obtener sustento a partir de su medio ambiente, totalmente carente de oxígeno. Por lo tanto, estos organismos fueron anaerobios. Esta es la primera forma de nutrición, la más simple, en el proceso de la evolución de los seres vivientes.

La evolución de las formas primitivas de vida continuó en los siguientes millones de años para llegar a la aparición de la fotosíntesis por organismos provistos de clorofila, material que les permitió captar la luz sola para acumular energía y poder realizar cometidos más complejos. Los nuevos organismos fotosintéticos producían oxígeno, algo que sucedía por primera vez sobre la faz de la Tierra.

La aparición y luego la acumulación del oxígeno sobre la Tierra significó una hecatombe, lo que Margulis y Sagan (1995) llaman “el holocausto del oxígeno”, la más masiva contaminación ambiental en la historia del planeta. El proceso de producción y acumulación de oxígeno ha producido su concentración actual de 21% en nuestra atmósfera.

La “revolución del oxígeno” obedeció a una crisis energética, al agotamiento de las fuentes de alimento para las bacterias primitivas, los organismos procarióticos (o procariontes) carentes de núcleo, que cubrían la Tierra en un rincón en vísperas del Proterozoico, hace unos 2.500 millones de años, cuando no había un rincón en que no pulularan las bacterias. La búsqueda incesante de hidrógeno, de compuestos hidrocarburoados como alimento por parte de las enormes colonias de bacterias fotosintéticas que dominaban el suelo y el mar, había terminado casi por completo con el dióxido de carbono de la atmósfera, el gas hidrógeno se escapaba hacia el espacio, donde al combinarse con otros elementos se hacía aún menos disponible, y el sulfuro de hidrógeno proveniente de los volcanes resultaba insuficiente. Esta crisis de alimentos produjo el descubrimiento de una abundante fuente del elemento nutricional, e hidrógeno, cual era nada menos que el óxido de dihidrógeno ( $H_2O$ ), el agua. Su uso llevó a la producción de un residuo que es tóxico porque reacciona con la materia orgánica: el oxígeno.

Con la acumulación progresiva de oxígeno en el ambiente se introdujo un cambio enorme en la composición de la atmósfera y se inició el desarrollo de los organismos aerobios. El metabolismo de tales seres aerobios esta-

bleció reacciones químicas que lograron la combinación de los nutrientes con el oxígeno en el proceso de degradación intracelular, con lo cual la producción de energía en el interior de la célula fue muy superior a la que se obtenía por la misma degradación, pero en ausencia de oxígeno.

Hace unos 400 millones de años la acumulación de oxígeno libre en la atmósfera fue suficiente para dar lugar a la capa de ozono en la región más exterior, con lo cual se creó una eficaz barrera contra la luz ultravioleta. De allí en adelante, con la disponibilidad de abundante de oxígeno y bajo la protección de una atmósfera similar a la actual, nuevas y crecientemente complejas formas de vida tuvieron desarrollo ya a cubierto de la mortal irradiación proveniente del Sol. Con ello la evolución de las especies entró en plena marcha.

## **Génesis en el laboratorio**

La hipótesis de Oparin fue puesta a prueba y verificada por Stanley L. Miller, discípulo del premio Nobel Harold Urey, en la Universidad de Chicago en 1950. En un histórico experimento, Miller simuló en un aparato las condiciones que habrían existido en la Tierra primitiva. Una solución de metano, amoníaco e hidrógeno en agua, circulando en un “atmósfera” superior y en un “océano” inferior calentado, fue sometida a descargas eléctricas de alto voltaje; después de una semana resultó en la formación de dos aminoácidos (alanina y glicina) y otras muchas sustancias orgánicas, algo enteramente similar al primer paso en la evolución protobiológica: la creación de los ancestros inmediatos de las primeras formas de vida (Margulis y Sagan, 1995; Curtis y Barnes, 2001).

Mediante modificaciones en las condiciones experimentales y en la mezcla de los gases del modelo de Miller, se han obtenido práctica-

mente todos los aminoácidos comunes, bases nitrogenadas, ribosa y nucleótidos, todos los cuales son componentes esenciales del material genético hereditario.

También el bioquímico Sidney W. Fox, de la Universidad de Miami, logró, en un experimento con mezclas de aminoácidos, demostrar la formación de largos polipéptidos, microesferas que denomina “protenoides”, conglomerados de macromoléculas rodeadas de una membrana de dos capas que las separa del ambiente, con la capacidad de realizar algunas de las transformaciones químicas propias de las células vivas. Las microesferas protenoides pueden haber sido los predecesores inmediatos de las primeras células que se desarrollaron en la Tierra (Davies, 2000; Curtis y Barnes, 2001).

Los experimentos de Millar y de Fox comprueban la teoría de la autoformación de la materia orgánica y de la vida a partir de los elementos de la tierra primitiva.

### **La evolución de las especies**

La anterior secuencia de acontecimientos que constituyeron los procesos de la evolución química y de la evolución prebiótica, dio lugar a la formación de la vida en un medio ambiente desfavorable, pero que proveía todos los elementos necesarios para la constitución de un ser vivo. Este fenómeno evolutivo ha sido denominado la bioquímica del génesis. El origen de la vida, o sea la biogénesis, establece que un primordial ácido nucleico, similar al ADN, en realidad un ARN primitivo con capacidad de replicarse, dirige a los aminoácidos hacia la construcción de proteínas, las cuales a su vez estimulan la replicación del ADN y, con ello, la construcción de más proteína. La vida ha comenzado, pero es tenue y es solo hasta la aparición de la primera célula, la cual tal vez fue una esfera que contenía en su interior un filamento de ADN, que el proceso vital queda definitivamente establecido en la Tierra primitiva. Con ello se inicia la evolución biológica.

Se cree que la vida comenzó precariamente en las aguas superficiales de los mares primitivos, y que allí se mantuvo por millones de años, bajo la inclemencia de la luz ultravioleta, y cuando en el planeta todavía no existía el oxígeno. El oxígeno es un producto de la vida y no un antecesor de ella. En efecto, la aparición del oxígeno representa un fenómeno tardío, un proceso gradual que se extendió por varios eones, relacionado con el desarrollo de los organismos fotosintéticos, al final de la era Proterozoica.

El origen de la vida en el mar primitivo es una teoría ampliamente aceptada. Sin embargo, el físico teórico P. Davies, en su libro *The 5th miracle* (2000), ha planteado la teoría: los primeros organismos vivieron en la profundidad de la Tierra, en un medio geotérmico de rocas a presión, de donde emergieron hacia la superficie para dar origen a todo el proceso de evolución biológica. Todavía se encuentran tales microbios primordiales a kilómetros de profundidad bajo la superficie terrestre (Davies, 2000).

### **La teoría de la colonización (panespermia)**

En 1834 el químico Berzelius estudió un meteorito que había caído cerca de Alais, en Francia. Informó la presencia de compuestos de carbono, lo cual le significaba vida. Otros investigadores del siglo XIX también encontraron materiales como gránulos envueltos en una capa carbonácea, que podrían ser células fosilizadas. Investigadores ya del siglo XX que regresaron al meteorito Orgueil, hallaron material orgánico e identificaron algunos hidrocarburos complejos, llegando a plantear que la materia orgánica del meteorito era de origen biológico (Davies, 2000).

Arrhenius (1859-1927), físico sueco ganador del Premio Nobel en Química en 1903, planteó en 1907 en su libro *Worlds in the making* la teoría de la “panespermia”: los genes son de origen cósmico, llegan a la Tierra en forma de ADN o ARN, bien sea como células desarrolla-

das o como virus, viroides o simplemente como fragmentos separados de material genético, ya listos para funcionar biológicamente; llegan a la Tierra en forma continua, y no requieren ningún tiempo de vehículo, sino por el mecanismo de los cometas, provenientes del material genético congelado en el espacio durante la época de la formación del sistema solar, alrededor de 4.600 millones de años atrás.

Sir Fred Hoyle y Chandra Wickramasinghe son fuertes defensores de la teoría de la colonización cósmica, una posición netamente anti-darwiniana (Hoyle, *et al.*, 1981).

## **El entorno cambiante**

A través de los tiempos el oxígeno se ha acumulado en el ambiente terráqueo por la producción fotosintética y por otros mecanismos químicos relacionados con la extracción del carbono del ciclo fotosíntesis-respiración. Los altos potenciales, sean físicos o químicos, son peligrosos. La atmósfera actual, con 21% de oxígeno, se acerca el límite superior de seguridad para la vida porque la probabilidad de incendio forestal como consecuencia de rayos, se incrementa en forma importante con el ascenso de esta cifra: 70% por cada 1% de aumento sobre el presente nivel. “Si este sobrepasa el 25%, muy poca vegetación sobreviviría a los devastadores incendios, que arrastrarían tanto la pluviselva tropical como la tundra ártica.” (Lovelock, 1985).

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se encuentra en la atmósfera en cantidad muy pequeña (0,03%). Este contenido se mantiene constante gracias a una permanente inter-reacción con el mar. El dióxido de carbono y el agua están en equilibrio con el ácido carbónico y su anión disuelto. La combustión de combustibles fósiles, carbón, petróleo y gasolina, resulta en un aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, lo cual ha llevado a que

muchos vaticinen un efecto potencialmente muy peligroso: un gran ascenso de la temperatura (Lovelock 1985), lo que hoy conocemos como el ominoso “calentamiento global”.

El nitrógeno, un componente esencial de los organismos vivientes, constituye alrededor del 79% de la atmósfera, pero en el aire se comporta como un gas inerte, puesto que no es captado por las células para propósitos metabólicos. Tanto el nitrógeno corporal como el metabólico son asimilados por el organismo a partir de los alimentos.

## **Energía**

Energía es aquello que permite realizar trabajo. La industria obtiene energía, por ejemplo, de la combustión del carbón, material fósil que está fundamentalmente compuesto de carbono. Su combustión libera carbono, el cual se combina con el oxígeno del aire para formar dióxido de carbono.

La energía no ocupa espacio ni tiene peso. Se mide según su efecto sobre la materia; así, por ejemplo, si se requiere energía para mover materia, cuanto más materia haya que mover más energía es necesaria.

La energía química es la forma fundamental en el proceso vital: cada pensamiento, cada impulso nervioso, cada contracción muscular -realmente cualquier tipo de actividad- en un organismo viviente se produce, en última instancia, gracias a la liberación de energía química.

El cuerpo humano usa las grasas y los carbohidratos como fuentes energéticas, al igual que la industria, combinando carbono e hidrógeno con el oxígeno. El carbono y el hidrógeno son extraídos de las moléculas de grasa y de carbohidrato mediante la acción de las enzimas en un proceso ordenado de degradación oxidativa denominado metabolismo o, más precisamente, metabolismo intermediario.

El término metabolismo intermediario obedece a la participación de numerosos compuestos que se forman para servir de intermediarios, a veces de muy efímera existencia, en el curso de las reacciones químicas que tienen lugar en el interior de las células vivientes.

La combinación de la grasa y de los carbohidratos con el oxígeno, en los procesos de “combustión” del metabolismo intermediario, produce agua y dióxido de carbono, al igual que lo hace la gasolina.

La vida sobre la Tierra depende del flujo de la energía proveniente de ese horno termonuclear que es el Sol, el cual en su mayor parte consta de núcleos de hidrógeno que se fusionan para formar helio, liberando inmensas cantidades de energía radiante.

La Tierra recibe cantidades masivas de energía del Sol, unas  $13 \times 10^{23}$  calorías por año, 1,94 calorías por centímetro cuadrado por minuto, lo cual significa que diariamente la Tierra recibe una cantidad de energía 1.500 millones de veces mayor que toda electricidad que se genera en todo un año en Estados Unidos (Curtis y Barnes, 2001).

Se calcula que aproximadamente una tercera parte de la energía solar se refleja y regresa al espacio como luz y que dos terceras partes son absorbidas en forma de calor. Solo una mínima fracción, menos del 1% se convierte, mediante el proceso de fotosíntesis de las plantas y de otros organismos, en la energía que hace posible los procesos vitales de la Tierra (Curtis y Barnes, 2001).

La estructura corporal está formada por cadenas de átomos de carbono; hay abundante carbono, más que en los seres vivientes, en los carburantes fósiles. El carbono es retornado a la atmósfera por la combustión, un proceso que consume oxígeno y convierte el carbono en dióxido de carbono.

Termodinámica es la parte de la física que trata del calor y del trabajo, y de la conversión del uno en el otro, o sea de la transformación de la energía térmica en energía mecánica.

La termodinámica se fundamenta en las dos leyes naturales anteriormente mencionadas, descubiertas en el siglo XIX y que se conocen como las leyes de la termodinámica.

El flujo de la energía biológica en la Tierra se inicia con la llegada de la energía radiante del Sol. Los cloroplastos de las células fotosintéticas captan la energía solar y la emplean para convertir agua y dióxido de carbono en carbohidratos como glucosa, fructosa, almidón y otros nutrientes, con liberación de oxígeno al ambiente. Las mitocondrias de las células de los organismos eucarióticos realizan la degradación de los carbohidratos y demás nutrientes que ingresan con la alimentación y captan su energía para almacenarla por el proceso de respiración celular, durante el cual se consume oxígeno, se libera calor y se producen, como metabolitos finales, agua y dióxido de carbono. La disipación del calor resultante de la respiración celular hacia el ambiente hace que el flujo de la energía biológica sea unidireccional y que solo pueda mantenerse mientras se recibía energía solar (Curtis y Barnes, 2001).

Heymansfield publicó un excelente artículo sobre el calor y la vida, la transcripción de la *Rhoads Lecture* de 2002. “El calor es vida y el frío significa muerte”. El artículo comienza por un interrogante: ¿por qué un elefante que pesa varios miles de kilogramos produce menos calor por unidad de masa corporal en reposo, y por consiguiente requiere menos alimento para mantener su peso, que un ratón que apenas pesa unos gramos? La producción de calor y de energía ajustados a la masa corporal se conoce como la “tasa metabólica específica (TME), y la tasa metabólica específica en reposo (TMER) del elefante es unas diez veces menor que la del ratón. La TMER de un animal grande depende de la composición corporal, especialmente en cuanto a la proporción de grasa y de hueso, que son tejidos de baja tasa metabólica, en relación

a la masa corporal magra (o masa corporal libre de grasa), que es el componente de alta tasa metabólica. Pero la masa corporal magra, que Moore ha denominado “masa celular corporal”, no es un componente metabólicamente homogéneo: los diferentes tejidos exhiben variadas tasas metabólicas. Ciertas enfermedades crónicas, como el cáncer, causan importantes pérdidas de tejido adiposo y de músculo, pero con preservación de la masa de los órganos como el cerebro, el hígado, el riñón o el corazón. Por esta razón tales pacientes aparecen hipermetabólicos y en ellos no se puede calcular debidamente el gasto metabólico en reposo mediante la ecuación de Harris-Benedict (Heymsfield, 2002).

## Composición corporal

La formación de un organismo demanda la presencia de las sustancias esenciales en la proporción y orden adecuados. Tales sustancias son el agua, ciertas sales (precisamente las que están presentes en el océano, donde se originó la vida) y los compuestos orgánicos formados fundamentalmente por átomos de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. Estos cuatro átomos, entre los 103 elementos químicos conocidos, en combinación constituyen cerca del 90% de la materia vital, equivalente a 96% del peso corporal y a más del 99% del total de átomos del cuerpo (Patiño, 2001b).

Las células contienen una variedad inmensa de sustancias, pero todas estas se forman a partir de los cuatro átomos básicos más fósforo y azufre. Estos átomos se unen para formar moléculas de muchas clases, las cuales representan un papel importante en la química del organismo.

Por último, existen los elementos traza, los cuales representan menos del 0,01% del total de los átomos corporales, pero son necesarios para el crecimiento y el funcionamiento orgánico. La química celular está basada en compuestos de carbono. Por ello se ha llamado química orgánica a la química del carbono.

La célula contiene cuatro grandes categorías de moléculas orgánicas pequeñas: los azúcares simples, los aminoácidos, los ácidos grasos y los nucleótidos. A partir de estas cuatro grandes familias se sintetiza las macromoléculas necesarias para la constitución de los materiales estructurales y de funcionamiento del organismo humano.

## **Metabolismo**

Metabolismo es el proceso de transformación química ordenada que tiene lugar en las células de un organismo viviente, proceso que se efectúa a través de diversas reacciones de alta especificidad, cada cual individualmente controlada por la correspondiente enzima.

El metabolismo caracteriza al ser vivo; es el proceso mediante el cual el organismo viviente convierte materiales de su entorno en energía y en su propia sustancia. Es la esencia de la nutrición. El metabolismo, en general, por el proceso de síntesis construye moléculas complejas a partir de moléculas simples que provienen de la dieta.

Básicamente, el organismo animal vive de dióxido de carbono, agua, minerales, oxígeno y luz solar, a través de un intermediario que es el organismo vegetal que capta la energía solar para transformarla en energía química. La célula animal puede gastar energía solar para transformarla en energía química. La célula animal puede gastar energía sin ninguna otra limitación que la cantidad de material nutriente vegetal que pueda ingerir y metabolizar por unidad de tiempo.

Un organismo unicelular, por ejemplo una ameba, que por definición es autosuficiente, deriva su sustento del medio ambiente. Por lo tanto, un organismo unicelular es potencialmente inmortal: si se le provee nutrición y protección puede crecer y duplicarse por siempre. En con-

traste, los organismos multicelulares dependen no solo de las células que lo componen, sino también de la organización intercelular. La organización intercelular se deteriora y no es de larga duración; a pesar de que se le provea nutrición y protección, el organismo multicelular finalmente muere. Sin embargo, todos los organismos que se han desarrollado desde el comienzo de la era biológica en el planeta todavía sobreviven, después de no menos de dos eones de vicisitudes ambientales, aunque no necesariamente en su forma original. Y habrán de seguir existiendo, a menos que se produzca un cataclismo planetario que los extermine (Asimov, 1978).

## **Los nucleótidos: dogma central de la biología molecular**

Los nucleótidos son los bloques fundamentales para la síntesis de los ácidos nucleicos, de los cuales hay dos clases: el ácido ribonucleico, o ARN, y el ácido desoxirribonucleico, o ADN.

Los ácidos nucleicos, directa o indirectamente, son los constructores de las proteínas corporales. Se hallan en todos los organismos vivientes, desde los virus hasta el ser humano y recibieron tal denominación por haber sido aislados en el núcleo de leucocitos y del esperma de pescado en 1869.

El ADN (ácido desoxirribonucleico, o DNA, según la sigla inglesa del deoxyribonucleic acid) contiene en las secuencias de nucleótidos la información necesaria para sintetizar la enorme variedad de proteínas que determinan la vida de las células y el funcionamiento de los sistemas orgánicos. El descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick en abril de 1953 representa el avance más trascendente en el campo de la biología moderna y marca la iniciación de la era de la biología molecular, lo que Judson (1979) ha llamado el “octavo día de la creación”.

El ADN es una molécula gigante, la molécula de la herencia, que posee la clave para el proceso de la vida. La estructura en forma de doble hélice de la molécula de ADN es reconocida hoy como una especie de símbolo de la nueva biología molecular.

El hombre y todos los animales, un insecto, una planta, una bacteria o un virus, poseen todos ADN, el maravilloso material genético que provee la individualidad a los seres vivos, la “prescripción de la vida”. El organismo es la realización de un programa que ha sido prescrito en su propia herencia genética, y el ser vivo representa la ejecución de tal plan. Un organismo es meramente una transición, un estadio entre lo que fue y lo que será, y la reproducción representa tanto el comienzo como el final, la causa como el propósito.

El ADN asegura la invariabilidad de la especie: es el código genético y se halla ubicado en el núcleo, en la cromatina que forma los cromosomas. No ha existido evolución significativa, o cambio, en el ADN humano en los últimos diez mil años. Por consiguiente, nuestra morfología y nuestro comportamiento, que depende de la información proveniente de los órganos de los sentidos, son los mismos que los de los hombres de las cavernas (Hawking, 1993).

La molécula de ADN contiene dentro de su estructura en doble hélice la totalidad de la información requerida para producir un organismo viviente. El ADN se encuentra en el núcleo, donde existe en unión de proteínas -principalmente histonas- para formar la cromatina. O sea, que la cromatina es la sustancia nuclear que contiene el ADN. Los genes están conformados por grupos de cromatina. La base química del gen es el ADN, y todas las células de los tejidos de una misma especie contienen cantidades iguales de ADN. Se denomina *genoma* al conjunto de la totalidad de la información genética de un individuo, la cual está repartida en una o varias moléculas en uno o varios cromosomas.

El mensaje del genoma humano se fragmenta en 46 piezas que se denominan cromosomas. Los cromosomas, ubicados en el núcleo celular, contienen los genes: están formados por la unión de proteínas con ADN, el material que posee la “información” para la manufactura de sus propias enzimas y para su propia replicación. El gen, la unidad funcional de la herencia, una minúscula partícula de cromatina, es el portador invariable de las características hereditarias del individuo y de la especie, ocupa un *locus* determinado dentro del cromosoma y posee la capacidad de duplicarse exactamente y de dirigir la síntesis de las enzimas y de las proteínas.

La estructura de la proteína, entonces, depende del gen, el cual se halla codificado en el ADN, y los eventos que controlan la expresión del mensaje genético controlan la función de las células al modular su síntesis proteica. El ARN está presente en el núcleo y en el citoplasma como el material constituyente de los ribosomas, organitos donde se efectúa la síntesis proteica. El ARN es el método que utiliza la célula para copiar la información genética, y es transcrito luego a proteína. Un número variable de genes debe ser transcrito para sintetizar las cadenas de la molécula final de proteína. La célula posee la capacidad de identificar el gen necesario en pocos segundos, y de sintetizar una nueva proteína en cuestión de minutos.

El descubrimiento de la estructura del material genético, de la estructura del ADN, y la demostración de que cada gen es una secuencia bien definida de nucleótidos que determina el ordenamiento de los aminoácidos que deben unirse para formar una proteína. La célula posee la capacidad de identificar el gen necesario en pocos segundos, y de sintetizar una nueva proteína en cuestión de minutos.

El descubrimiento de la estructura del material genético, de la estructura del ADN, y la demostración de que cada gen es una secuencia bien definida de nucleótidos que determina el ordenamiento de los aminoácidos

que deben unirse para formar una proteína, abrió radicalmente el campo de la investigación biológica y estimuló el avance del conocimiento sobre los mecanismos íntimos de la vida y de la enfermedad.

Uno de los más ambiciosos proyectos que ha emprendido la humanidad es el *Proyecto del Genoma Humano*: se trataba de establecer la secuencia de los 6.000 millones de pares de bases nucleótidas que constituyen el genoma humano, una tarea verdaderamente formidable. El martes 27 de junio de 2000 todos los medios de comunicación del mundo registraron la noticia del anuncio hecho por el presidente Bill Clinton y otros jefes de Estado del logro de la descodificación del genoma humano, un hito en la historia de la ciencia. Dijo Clinton: “hoy estamos conociendo el lenguaje con el que Dios creó la vida”. Lo acompañaban Francis Collins, director del *Human Genome Research Institute de los National Institutes of Health*, y J. Craig Venter, de *Celera Genomics*. El consorcio público dirigido por Collins había descodificado 3,15 mil millones de unidades, en tanto que Celera, dirigida por Venter, había descodificado 3,12 mil millones, lo cual representa una diferencia en “letras génicas” de 30 millones. Ninguno de los dos grupos había completado para esa fecha la descodificación total, y todavía ninguno sabe cuántos genes hay en el genoma.

Cada una de las transformaciones químicas que ocurren en el organismo es gobernada por una enzima específica. Las enzimas son sintetizadas bajo la dirección de los genes en cada individuo, y es esta dirección genética de la producción de las enzimas la que determina las características individuales de cada ser viviente.

La ingeniería genética ha surgido como un sobrecogedor desarrollo de la biotecnología: la capacidad de alterar la composición genética de un organismo para transformarlo, literalmente, en otro.

Actualmente, es factible dividir la molécula de ADN de una bacteria, que es una célula simple pero de gran complejidad química, para convertirla en fragmentos pequeños y luego recombinarlos, con lo cual se

producen diferentes propiedades químicas en la célula bacteriana. El material genético susceptible de esta manipulación se denomina ADN recombinante.

Hoy ya disponemos de insulina, hormona de crecimiento, interferones, eritropoyetina, factores de coagulación, factores de crecimiento celular y vacunas recombinantes, producidos por bacterias y levaduras mediante la ingeniería genética en laboratorios de biotecnología industrial.

No hace muchos años era una ilusión pensar que se pudiera hacer una combinación genética entre organismos de diferentes especies. Pero esto ya es una plena realidad con el establecimiento de la tecnología del ADN recombinante, proceso que también se denomina clonación molecular o, popularmente, *ingeniería genética*.

Poniendo a un lado consideraciones de orden ético, es fácil comprender las reservas que los propios científicos manifiestan sobre los peligros de crear mediante la ingeniería genética, por ejemplo, una bacteria virulenta que escape del laboratorio y pueda dar lugar a una enfermedad pandémica.

Aparecen ilimitadas las aplicaciones médicas y terapéuticas de esta biotecnología; el diagnóstico prenatal de defectos genéticos, la determinación de los riesgos a las enfermedades, o sea la 'epidemiología genética', la identificación de delincuentes mediante recuperación del ADN a partir de sangre, cabello o semen, la producción de hormonas recombinantes, las aplicaciones agrícolas e industriales. Se ha dicho, con razón, que el siglo XXI será el siglo de la genómica. Hoy ya es posible remover una parte del ADN de una célula y reemplazarla por un fragmento de ADN de la célula de otro organismo, con lo cual se produce un híbrido que no se encuentra en la naturaleza. Ya hay ratones transgénicos, comercialmente disponibles, que portan genes humanos injertados.

Un nuevo campo de avasallador interés es la manipulación genética para producir cambios metabólicos intracelulares y llegar a modular el metabolismo intermediario, la síntesis de proteínas específicas, la utilización de los substratos y aún la respuesta metabólica en ciertas condiciones patológicas. La ingeniería genética aparece como la nueva frontera de la investigación en el campo de la nutrición.

La novela de Crichton, *El Parque Jurásico* (1991), es una fascinante obra de ciencia ficción sobre algo que parece teóricamente factible: la recreación de los dinosaurios que existieron hace más de 100 millones de años, a partir de ADN de sangre de tales animales contenido en insectos picadores fosilizados. ¿Será posible que los dinosaurios, seres que precedieron al hombre en unos 150 millones de años, vuelvan a caminar sobre la Tierra gracias a los milagros de la ingeniería genética? Teóricamente tal vez sí, aunque en la práctica todavía estamos muy lejos de ello.

En 1997 causó admiración la noticia, en la prensa mundial, de la clonación de la oveja Dolly por Ian Wilmut y otros embriólogos escoceses del Rosslin Institute, lo que, con la posibilidad actual de ser aplicada al ser humano, constituye un paradigma científico pero, al mismo tiempo, plantea un profundo dilema ético.

En 1993 también los medios informaron en todo el mundo el clonaje de un embrión humano, reportado por Jerry Hall y Robert Stillman de la George Washington University ante una reunión de la American Fertility Society en Montreal (Nash, 1997), el cual, sin embargo, nunca fue implantado en el útero de una mujer.

Aunque, como lo dice el periodista de *Time* (Nash, 1997), en el Instituto Rosslin nadie está hablando de clonar humanos, se ha cruzado una línea, y la biología reproductiva ya no será la misma, tanto para la gente como para las ovejas.

## Conclusión

La nutrición es la vida misma y su estudio permite conocer la evolución de los seres vivientes sobre la Tierra, porque la nutrición, o sea la alimentación, es un factor determinante principal de la evolución biológica. Es una ciencia unificadora que proveer una visión universal y holística del comportamiento biológico del hombre en su medio, que es la biosfera.

## Referencias

- Andrade Pérez, L. E. (2000). *Los demonios de Darwin. Semiótica y codificación biológica*. Bogotá: Editorial Unibiblos.
- Asimov, I. (1978). *The collapsing universe*. New York: Pocket Books.
- Bateson, G. (1979). *Espíritu y naturaleza: una unidad necesaria (avances en teoría de sistemas, complejidad y ciencias humanas)*. New York: Bantam Books.
- Bernstein, P. L. (1998). *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Binder, P. (1999). Cuatro versiones de la complejidad. En: Maldonado, C. E. (Ed.). *Visiones sobre la complejidad. Colección Filosofía y Ciencia, vol. 1*. Bogotá: Ediciones El Bosque.
- Briggs, J., y Peat, F.D. (1999). *Las siete leyes del caos. Las ventajas de una vida caótica*. Barcelona: Grijalbo.
- Briggs, J., y Peat, F.D. (2001). *Espejo y realidad*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Capra, F. (1996). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.
- Crawford, M., y Marsh, D. (1989). *Nutrition and Evolution*. New Canaan: Keats Publishing Inc.
- Curtis, H., y Barnes, N. S. (2001). *Biología. Sexta edición*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Davies, P. (1985). *El universo desbocado*. Barcelona: Salvat Editores S.A.
- Davies, P. (2000). *The 5th Miracle*. New York: Touchstone.
- De Duve, C. (1996). The Birth of Complex Cells. *Sci Amer April* 274(4), 38.

- Edwards, D. (1995). The discovery of chaos and the retrieval of the trinity. En: *Chaos and Complexity. Scientific Perspectives on Divine Action*. (2nd ed.). The University of Notre Dame Press.
- Feinstein, A. R. (1995). Meta-analysis: Statistical Alchemy for the 21th Century. *J Clin Epidemiol* 48, 71.
- Feinstein, A. R., y Horwitz, R. I. (1997). Problemas in the “Evidence” of “Evidence-Based Medicine”. *Am J Med* 103, 529.
- Foss, L., y Rothenberg, K. (1987) *The Second Medical Revolution. From biomedicine to Infomedicine*. London: New Science Library, Shambhala. Boston Et London.
- García Barreno, P. (1997). *Medicina virtual. En los bordes de lo real*. Madrid: Editorial Debate S.A.
- Gell-Mann, M. (1998). *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Tusquets Editores S.A.
- Gleick, J. (1987). *Chaos: Making a New Science*. New York: Penguin Books.
- Goldberger, A. L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *Lancet* 347, 1313-14.
- Hawking, S. (1988). *Historia del tiempo. Del Big bang a los agujeros negros*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Hawking, S. (1993). *Black Holes and Baby Universes and Other Essays*. New York: Bantam Books.
- Hawking, S. (2002). *El Universo es una cáscara de nuez*. Barcelona: Editorial Planeta S.A.
- Heims, S. J. (1995). Introducción. En: Wiener, N. Inventar. *Sobre la gestación y el cultivo de las Ideas*. Barcelona: Tusquets Editores S. A.
- Heymfield, S. B. (2002). Rhoads Lecture. Heat and Life: the ongoing scientific odyssey. *JPEN*, 319-32.
- Horgan, J. (1995). From complexity to perplexity. *Scient Amer* June 6, 227:74
- Horgan, J. (1996). *The End of Science*. New York: Broadway Books.
- Hoyle, Sir Fred y Wickramasinghe, C. (1981). *Evolution from Space*. New York: Simon and Schuster.
- Jenkins, R. C., y Ross, R. J. M. (1999). *The Endocrine Response to Acute Illness*. Basel: Karger.
- Judson, H. F. (1979). *The Eight Day of Creation*. New York: Touchstone Book, published by Simon and Schuster.
- Kauffman, S. A. (1993). *The Origins of Order. Self-organization and selection in evolution*. Oxford-New York: Oxford University Press.

- Kauffman, S. A. (2000). *Investigations*. Oxford-New York: Oxford University Press.
- Laplace, P. S. M. de. (1961). *A Philosophical Essay on Probabilities, 6th ed.* FW Truscott and Fl Emory, trad. New York: Dover.
- Lewin, R. (1992). *Complexity. Life at the Edge of Chaos*. New York: Collier Books-Macmillan Publishing Company.
- Lewin, R. (1995). *Complejidad. El Caos como generador del orden*. Barcelona: Tusquets Editores S. A.
- Lipsitz, L. A. y (1992). Goldberger AL. Loss of “complexity” and aging. Potential applications of fractals and chaos theory of senescence. *JAMA* 267, 1806-1809.
- Lorenz, E. (1995). La esencia del caos. Un campo de conocimiento que se ha convertido en parte importante del mundo que nos rodea. Madrid: Editorial Debate S. A.
- Lorenz, E. (2000). *La esencia del caos*. Madrid: Editorial Debate.
- Lovelock, J. E. (1985). *Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra*. Barcelona: Ediciones Orbis S. A.
- Luminet, J. P. (2003). *El incendio de Alejandría*. Barcelona: Ediciones B, S. A.
- Maldonado, C. E. (1999). Esbozo de una filosofía de la lógica de la complejidad. En: *Visiones sobre la complejidad. Colección Filosofía y Ciencia, vol. 1*. Santafé de Bogotá: Ediciones El Bosque.
- Mandelbrot, B. B. (1997). *La geometría fractal de la naturaleza*. Barcelona: Tusquets Editores S. A.
- Margulis, L., y Sagan, D. (1995). *Microcosmos*. Barcelona: Tusquets Editores S. A.
- Maturana, H., y Varela, F. (1980). *Autopoiesis: The Organization of the Living, publicado originalmente bajo el título De máquinas y seres vivos. (1972)*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Monroy Olivares, C. (1998). Teoría del caos. México DF: Alfa Omega Grupo Editor S. A.
- Nash, J. M. (1997). The age of cloning. *Time*, March 10.
- Niño, V. (1999). Acerca de la complejidad y el rompimiento de la simetría. En: Maldonado, Carlos E. (Ed.). *Visiones sobre la complejidad. Colección Filosofía y Ciencia, vol. 1*. Santafé de Bogotá: Ediciones El Bosque.
- Patiño, J. F. (1994). La medicina del futuro: paradigmas y dilemas. *Rev Fac Med U Nal* 42, 52.

- Patiño, J. F. (1996a). El computador, la cibernética y la teoría de la información: de la biomedicina a la infomedicina. *Medicina* 68(44), 5.
- Patiño, J. F. (1998a). Discurso de posesión del Académico José Félix Patiño Restrepo como presidente de la Academia Nacional de Medicina. *Rev Colomb Cir* 13, 61-64.
- Patiño, J. F. (1999a). Infomedicina: el nuevo paradigma. *Rev Fac Med U Nal* 47(1), 1.
- Patiño, J. F. (2000b). Las teorías de caos y de complejidad en cirugía. *Rev Colomb Cir* 15, 209.
- Patiño, J. F. (2001b). Bases biológicas de la nutrición. En: Patiño, J. F. *Lecciones de Cirugía*. Bogotá, Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Patiño, J. F. (2002b). *Computador, cibernética e información*. Bogotá: Panamericana Editorial.
- Patiño, J. F. (2002c). Prólogo. En: Sánchez Medina, G. *Psicoanálisis y la teoría de la complejidad. Una metáfora*. Bogotá: Academia Nacional de Medicina de Colombia.
- Patiño, J. F. (2003). *Chaos Theory, Uncertainty and Surgery*. Distinguished Lecture of the International Surgical Society. 89th Clinical Congress of The American College of Surgeons. Chicago. Disponible en: [www.nationalaudiovideo.com](http://www.nationalaudiovideo.com).
- Prigogine, I. (1993a). *El nacimiento del tiempo*. Barcelona: Tusquets Editores S. A.
- Prigogine, I. (1993b). ¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos al orden. Barcelona: Tusquets Editores S. A.
- Prigogine, I. (1997). *El fin de las certidumbres* (5.ª ed.). Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello.
- Rosenbleuth, A., Wiener, N., y Bigelow, J. (1943). Bahviour, Purpose, and Teleology. *Phylosophy of Science* 10, 18-24.
- Russell, P. (1992). *La tierra inteligente. El amanecer de la consciencia global*. Madrid: GAIA Ediciones.
- Russell, R. J. (1995). Introduction. En: *Scientific perspectives on Divine Action*. 2<sup>nd</sup> ed.). Chaos and Complexity. The University of Notre Dame Press.
- Sánchez, G. (2002). *Psicoanálisis y la teoría de la complejidad. (Una metáfora)*. Bogotá: Academia Nacional de Medicina.
- Schrödinger, E. (1947). ¿Qué es la vida? Buenos Aires, Espasa Calpe.

- Selyé, H. (1950). *The General-Adaptation-Syndrome and the Diseases of Adaptation*. Montreal: Acta Inc Medical Publishers.
- Shannon, C. E. (1963). The mathematical theory of communication. En: Shannon, CE, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication. Second ed.* Illini Books, 1963.
- Shannon, C.E. (1997). The Mathematical Theory of Communication. *MD Computing 15*: 57.
- Slack, W. V. (1997). Claude Shannon and communication theory. *MD Computing 14*, 262.
- Stark, J., y Hardy, K. (2003). Chaos: Useful at last? *Science 301*, 1192-93.
- Stewart, I., y Golubitsky, M. (1992). *Fearful Symmetry: Is a God a Geometer?* Oxford: Blackwell Publishers.
- Stewart, I., y Golubitsky, M. (1995). *¿Es Dios un geómetra?* Barcelona: Crítica. Grijalbo Mondadori S.A.
- Van den Berghe, G., de Zegher, F., y Bouillon, R. (1998). Acute and prolonged illness as different neuroendocrine paradigms. *J Clint Endocrinol Metab 83*, 1827.
- Waldrop, M. M. (1992). *Complexity. The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York: A Touchstone Book, Simon Et Schuster.
- Watson, J. D. (1980). *The Double Helix. A personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (Stent, G. S. Ed.). New York: WW Norton Et Company.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press.
- Wiener, N. (1950). *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*. New York: Doubleday Et Company.

## El autor



Foto: Germán Amat

**José Félix Patiño Restrepo**, es Doctor en Medicina, con estudios de posgrado en Cirugía de la Universidad de Yale (1952). En 1958 se incorporó a la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia como Profesor Asistente. En 1964 asumió la rectoría de la Universidad Nacional de Colombia, en cuya gestión se logró una transformación institucional con grandes efectos en los modelos de la administración educativa e investigativa; redujo de 34 a 11 el número de facultades, con una departamentalización ejemplar que fomentaba verdaderas escuelas de pensamiento y profesionalización (Reforma Patiño). También desarrolló tareas de planificación y políticas de gobierno en el tema de salud como Ministro de Salud (1962-1963). Fue Director Ejecutivo de la Federación Panamericana de Asociaciones de Facultades de Medicina (FEPAFEM, 1966), Presidente de la Academia Nacional de Medicina de Colombia y de la Sociedad Internacional de Cirugía y de la Federación Latinoamericana de Cirugía (FELAC), entre otros. Desde 2016 es miembro del Consejo Superior Universitario de la Universidad Nacional de Colombia y Profesor Honorario de la misma universidad.





Este número de *Ciencia al Viento* está dedicado al capítulo cuatro del libro *Humanismo, Medicina y Ciencia*, escrito por el Dr. José Félix Patiño Restrepo, académico y rector de la Universidad Nacional de Colombia entre 1964 y 1966. El autor hace una retrospectiva a los esfuerzos humanos por la comprensión del orden cósmico, desde la antigüedad, pasando por momentos claves de la revolución científica; Se centra en importantes teorías que marcaron la ciencia y la medicina del siglo xx y lo transcurrido del siglo xxi. Este escrito es una oportunidad de acercamiento con la teoría de sistemas aplicada a los seres vivos, la cibernética, la teoría del Caos, las leyes de la Complejidad, la biología orgánica de Fritjof Capra, la neurofisiología de Arturo Rosenblueth y la teoría de la información de Norbert Wiener, entre otros.

ISSN2322-7117



9 772322 711001



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA