



ISSN: 1697-090X

[Inicio Home](#)

[Indice del volumen
Volume index](#)

[Comité Editorial
Editorial Board](#)

[Comité Científico
Scientific Committee](#)

[Normas para los
autores Instruction to
Authors](#)

[Derechos de autor
Copyright](#)

[Contacto/Contact: !\[\]\(cf531ed27e91483460120fcc057b3901_img.jpg\)](#)

HIPOTESIS MEDICA

PATRONES HISTOLOGICOS GLOMERULARES COMO ATRACTORES CAOTICOS

Musso C¹, Bezic J¹, Christiansen S³, Algranati L¹

¹Servicios de Nefrología y ³Anatomía Patológica. Hospital Italiano de Buenos Aires.

National University of Entre Rios, Engineering School². Argentina

carlos.musso@hospitalitaliano.org.ar

Rev Electron Biomed / Electron J Biomed 2007;1:28-34

[English version](#)

[Comentario del Profesor Jose Luis Hernandez Caceres, PhD.](#) Center for Cybernetics Applications to Medicine (CECAM), La Habana. Cuba

[Comentario del Profesor Fernando Tricas PhD.](#) Facultad de Informática. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. España

TEORÍA DEL CAOS

RESEÑA HISTÓRICA Y CONCEPTOS PRINCIPALES

Clásicamente la física Newtoniana ha estudiado los sistemas lineales. Estos sistemas se caracterizan por guardar una proporcionalidad lineal entre sus causas y sus efectos, en ellos a una determinada magnitud de estímulo le corresponde la misma magnitud de respuesta, de modo que a causas pequeñas corresponden respuestas pequeñas y viceversa.

Los sistemas lineales poseen un orden evidente y su comportamiento en general puede ser entendido mediante su observación directa, resultando relativamente sencillo el reconocimiento de las variables que lo predeterminan.

Sin embargo, en la naturaleza no abundan este tipo de sistemas, sino los sistemas caóticos o no lineales. Los primeros estudios al respecto fueron hechos por el físico francés Henri Poincaré, a fines del siglo XIX, quién fue pionero en comprender que el caos no es sinónimo de desorden, sino de complejidad que aparenta desorden.

Los sistemas caóticos se caracterizan por las siguientes peculiaridades:

- En ellos no existe la proporcionalidad causa-efecto, ya que pequeños estímulos pueden conducir a grandes respuestas.
- No es sencillo mediante su simple observación directa arribar a las variables que predeterminan el comportamiento del sistema. Este está determinado por los atractores que los influyen.

Un atractor es el punto o conjunto de puntos hacia el cual evoluciona un sistema si se le da tiempo suficiente como para hacerlo. Existen atractores tanto hacia estados de normalidad como de alteración de la misma (estados patológicos).

- Los sistemas complejos se caracterizan por tener muchos componentes y por que su comportamiento no se puede predecir basándose meramente en el conocimiento de sus componentes individuales. Crean circuitos donde las salidas terminan generando nuevas entradas, constituyendo sistemas cíclicos.
- Tienen la capacidad de auto-organización y la misma surge de la re-alimentación del sistema sin ayuda externa.

CAOS Y ENTROPIA

Las leyes de la Termodinámica establecidas por Rudolf Clausius y Lord Kelvin, determinan que la entropía (magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo) hace que el universo tienda a la disipación de la energía y al mayor desorden.

Sin embargo estas aseveraciones no explican el surgimiento de la vida y su tendencia a la diversificación y complejización evolutivas: la aparición sucesiva de células, tejidos, órganos, sistemas de órganos, etc.

Maxwell trató de resolver esta incógnita mediante la siguiente hipótesis : si un sistema combatiese la disipación de su propio gradiente o entropía, podría explicarse entonces como logra el mantenimiento de su complejidad. Los científicos llamaron "neguentropía" o entropía negativa a esta actividad. Ilya Prigogine, uno de los fundadores de la Teoría del Caos, propuso que justamente la información que combate la entropía está representada por la auto-organización de la materia y la adquisición de un complejo orden interno, como sucede en los sistemas caóticos. De esta forma se puede explicar la evolución de la vida en armonía con los principios de la termodinámica.

LA GEOMETRÍA FRACTAL

Dentro de las ramas de la Teoría del Caos, hallamos la de la geometría de las cosas, desde la cual se intenta explicar las "caprichosas" formas de la naturaleza.

Para dicho fin el matemático Benoit Mandelbrot ha introducido el concepto de fractal, término que deriva del latín "fractus", que significa irregular o fragmentado.

Al fractal podríamos definirlo como un objeto geométrico cuya estructura básica se repite en diferentes escalas. Una de sus propiedades es la auto-similitud esto es, su forma parece similar en todas las escalas de amplificación. Este fenómeno es conocido como "simetría recursiva".

De esta forma los objetos fractales, que no pueden representarse por los cuerpos de la geometría clásica o Euclídea, (círculos, cuadrados, etc.), sí pueden hacerlo por la iteración o repetición de una estructura básica (fractal).

Mandelbrot con su nueva geometría logra explicar la forma de muchos elementos de la naturaleza como es el caso de las costas marinas, las montañas, nubes, etc.

La geometría fractal se expresa por medio de algoritmos que requieren de una computadora para convertirse en formas y estructuras.

En una estructura fractal ésta adopta sistemáticamente una determinada morfología resultado de la iteración de una subestructura base.

En el cuerpo humano se han descrito estructuras fractales en las arterias coronarias, el sistema cardionector, las cuerdas tendinosas de las válvulas cardíacas, las vías vasculares y bronquiales del pulmón, los vasos retinianos.

GEOMETRÍA FRACTAL Y ESTRUCTURA GLOMERULAR

A continuación vamos a exponer una hipótesis elaborada a partir del estudio de fotografías del nefrón y del glomérulo en particular, tanto en estado de normalidad como de enfermedad.

En el presente trabajo proponemos que el nefrón obedecería a una forma fractal cuya estructura primordial sería la función matemática sinusoidal (seno-coseno).

La repetición (iteración) de la función matemática sinusoidal, con distintas variaciones para cada región nefronal (cápsula de Bowman, túbulos contorneados, etc), permite la construcción de un nefrón completo. (Figura 1)

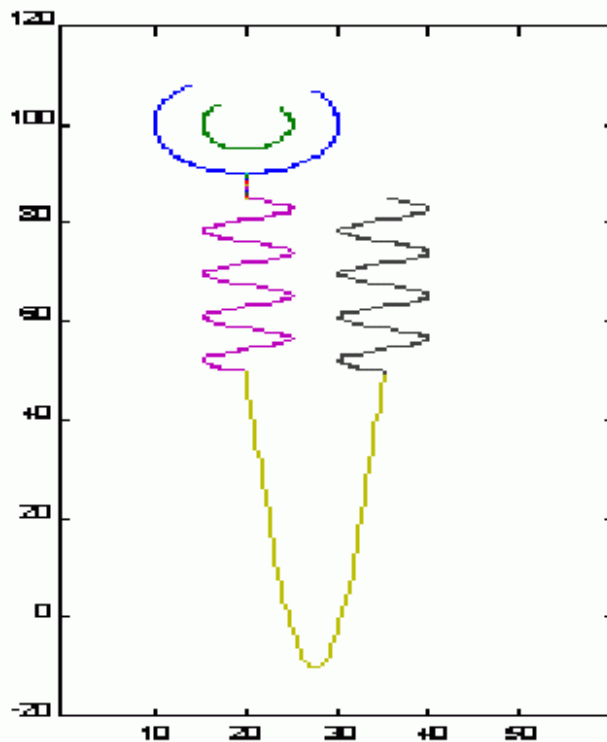


Figura 1

a) Cápsula de Bowman:

X_c, Y_c = centro de los sectores circulares,
 R_m = radio menor ; RM = radio mayor,
 $-235^\circ < \alpha < 45^\circ$; porción de circunferencia abarcada
 Cara externa: $y = RM \sin(\alpha) + Y_c$;
 $x = RM \cos(\alpha) + X_c$;

Cara interna:
 $y = R_m \sin(\alpha) + Y_c$;
 $x = R_m \cos(\alpha) + X_c$;

b) Túbulo contorneado proximal:

$ATCP$ = amplitud de la oscilación,
 TCP = longitud del túbulo,
 $ITCP$ = posición inicial (superior) del TCP
 $NTCP$ = número de oscilaciones;

$$(ITCP - TCP) < y < ITCP;$$

$$x = X_c + ATCP \sin(NTCP \cdot 2\pi \cdot (ITCP - y) / TCP)$$

c) Asa de Henle:

AAH = Asa de Henle;
 WH = ancho de asa,
 $X_c < x < X_c + WH$;
 $y = -AAH \sin((x - X_c) \cdot \pi / WH) + (ITCP - TCP)$;

d) Túbulo contorneado distal:

$ATCD$ = amplitud de la oscilación,
 TCD = longitud del túbulo,
 $ITCD$ = posición inicial (superior) del TCD
 $NTCD$ = número de oscilaciones;

$$(ITCD - TCD) < y < ITCD,$$

$$x = X_c + WH + ATCD \sin(NTCD \cdot 2\pi \cdot (ITCD - y) / TCD)$$

Además notamos que algunos patrones histológicos glomerulares, que se desarrollan en el contexto de diversas enfermedades, podrían también ser variaciones de la misma función matemática.

Tal es el caso de los patrones morfológicos de las glomerulopatías membranosa : espículas (Figura 2), membranoproliferativa: dobles contornos (Figura 3) y extracapilar: semilunas (Figura 4).

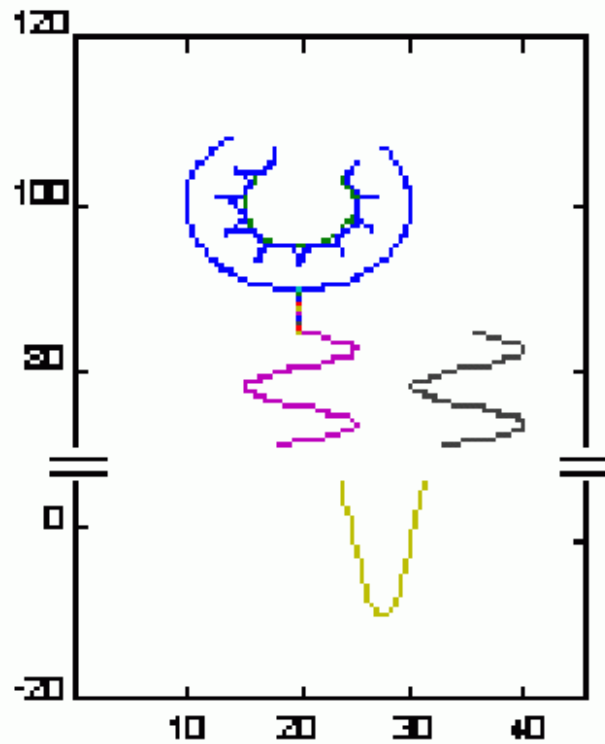


Figura 2

ESPÍCULAS

Sobre las fórmulas del nefrón, se agregan funciones para obtener las espículas, desarrolladas también a partir de sectores circulares:

R_a = radio de los sectores circulares;

X_{ca}, Y_{ca} = centro de los círculos generadores de espículas;

$$\beta_0 = -235^\circ; \quad \beta_{i+1} = \beta_i + 2 \cdot \pi \cdot R_a / [180 \cdot (R_m + R_a)]; \quad \beta_{final} = 45^\circ;$$

$$X_{ca} = (R_m + R_a) \cdot \cos(\beta) + X_c; \quad Y_{ca} = (R_m + R_a) \cdot \sin(\beta) + Y_c;$$

γ = parámetro para los puntos del sector circular que define la espícula

$$\beta + 90 > \gamma > 270 + \beta;$$

$$y = R_a \cdot \sin(\gamma) + Y_{ca};$$

$$x = R_a \cdot \cos(\gamma) + X_{ca};$$

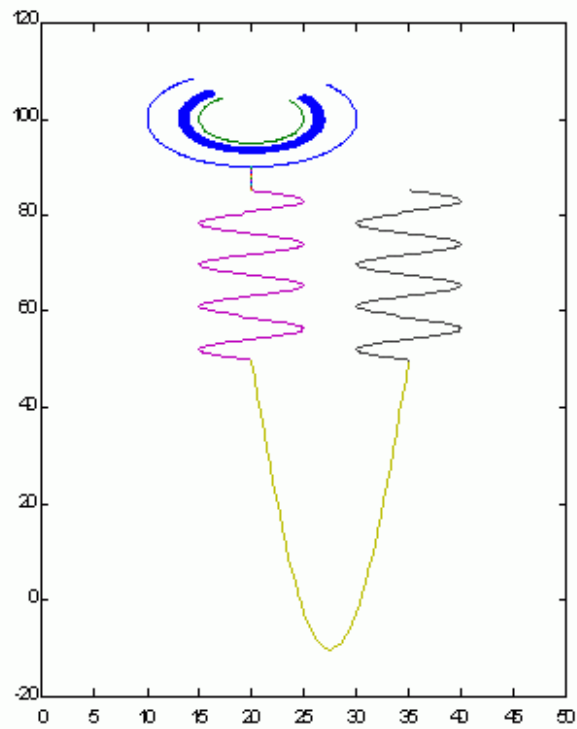


Figura 3

DOBLE MEMBRANA

Sobre las fórmulas del nefrón, se agregan funciones para obtener la doble membrana, desarrollada también a partir de sectores circulares:

El sector circular tiene el mismo parámetro angular que las membranas de la cápsula de Bowman

$-235^\circ < \alpha < 45^\circ$; porción de circunferencia abarcada

R_s : incremento a partir del R_m para definir los sectores circulares que simulan la proliferación de la membrana:

$1 < R_s < 2$

Puntos que definen los sectores circulares del engrosamiento:

$$y = (R_m + R_s) * \sin(\alpha) + Y_c;$$

$$x = (R_m + R_s) * \cos(\alpha) + X_c;$$

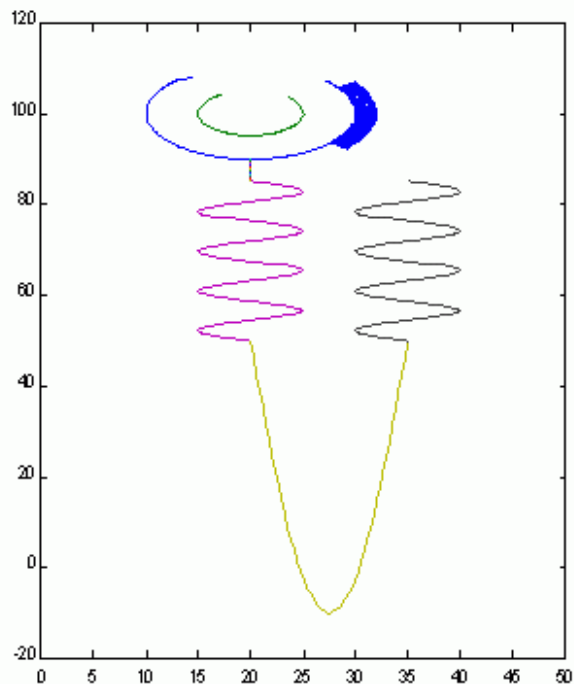


Figura 4

SEMILUNA

Sobre las fórmulas del nefrón, se agregan funciones para obtener la semiluna, desarrolladas también a partir de sectores circulares:
Se define un ángulo, que es el que barre la semiluna:

R_s : incremento a partir del R_M para definir los sectores circulares que simulan la proliferación de la membrana:

$$x = (R_M + R_s) * \cos(\gamma) + X_c;$$

Sabemos que el glomérulo en estados de enfermedad sólo se deforma hacia un espectro limitado de opciones morfológicas, y que estos patrones histológicos no son privativos de una enfermedad, sino que distintas entidades renales confluyen en idénticos patrones glomerulares. Tal vez el glomérulo, ante las distintas noxas que lo agreden, pueda responder sólo con un limitado número de deformaciones, las cuales no serían azarosas sino determinadas por distintos atractores.

Concluimos que, desde la geometría fractal, la función sinusoidal podría explicar no solo la estructura nefronal normal, si no también la de algunos patrones histopatológicos glomerulares

Referencias

1. Prigogine I. Las leyes del caos. Barcelona. Crítica. 1997
2. Hayles K. La evolución del caos. Barcelona. Gedisa. 1993
3. Lipsitz L, Goldberger A. Loss of complexity and aging. JAMA 1992; 267: 1806-1809
4. Goldberger A. Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. The Lancet 1996; 347: 1312-1314
5. Editorials. Fractals and medicine. The Lancet 1991; 338: 1425-1426
6. Lewin R. Complejidad. Barcelona. Metatemas: 1995
7. Landsberg PT, Ludwig G, TOM R, Schatzman E, Margalef R, Prigogine I. Proceso al azar. Barcelona. Metatemas.1992
8. Elbert T, Ray W, Kowalik Z, Skinner J, Graf KE, Birbauer N. Chaos and physiology: Deterministic chaos in excitable cell assemblies. Physiological Reviews. 1994; 74: 1-41
9. Chaos Williams GP. Chaos Theory Tamed. Joseph Henry Press, Washington, 1997.
10. Sussman GJ, Wisdom J, Mayer ME. Structure and Interpretation of Classical Mechanics. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 2000.

11. Gollub JP. Order and disorder in fluid motion. Proc. Natl Acad Sci, Vol 92, pp 6705-6711, July 1995.
12. Mallat S. A Wavelet Tour of signal processing. Academic Press, 1998.
13. Falconer K. Fractal Geometry: mathematical foundations and applications. John Wiley and sons, 1990.
14. Murray JD. Use and abuse of fractals, in Mathematical biology. Springer, 2002
15. Semmlow JL. Biosignal and Biomedical Image Processing, MATLAB Based Applications. Marcel Dekker, New York – Basel. 2004.
16. Rosenblatt J, Stoughton B. Mathematical Analysis for Modeling. CRC Press.1999.
17. Yip K, Holstein-Rathlou N. Chaos and non-linear phenomena in renal vascular control. Cardiovascular Research 1996; 31: 359-370
18. Yip KP, Holstein-Rathlou NH, Marsh DJ. Chaos in blood flow control in genetic and renovascular hypertensive rats. Am. J. Physiol.261 (Renal Fluid Electrolyte Physiol.30): F400-F408, 1991.

Comentario del Profesor Jose Luis Hernandez Caceres, PhD. Center for Cybernetics Applications to Medicine (CECAM), La Habana. Cuba

La geometria fractal se sustenta sobre la idea de un patron repetitivo que se manifiesta a diferentes escalas espaciales. En este sentido, la idea de un patrón sinusoidal repetitivo no es nada trivial. Al mismo tiempo, la morfología de la nefrona tanto normal como enferma parece correlacionarse adecuadamente con este tipo de fractales. Más aún, los autores han encontrado que algunos estados patológicos están asociados más bien con la reducción en la diversidad de las posibles configuraciones sinusoidales. El hecho de que estas ideas estén sustentadas en observaciones, además de la posibilidad de evaluar cuantitativamente las condiciones patológicas, hacen que este trabajo sea digno de atención. Un paso ulterior pudiera ser buscar los conjuntos de parámetros/estados relacionados con enfermedades individuales.

Comentario del Profesor Fernando Tricas PhD. Facultad de Informática. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. España

Los atractores extraños aparecen al representar la evolución de un sistema dinámico en el espacio de fases. Se caracterizan por poseer una dimensión fractal y vienen a representar una nube de probabilidad que será mas densa en las zonas por las que el sistema puede encontrarse con mas frecuencia. Con frecuencia este tipo de comportamientos aparecen en sistemas naturales y es en ese sentido en el que cabe preguntarse si determinadas estructuras celulares corresponden a este tipo de dinámicas'

Recibido 23 de agosto de 2006. Recibido revisado 15 de diciembre de 2006
Publicado 25 de enero de 2007