

El análisis fractal: una nueva herramienta para la investigación básica en ingeniería y otras disciplinas (Biología)

*Darío Domínguez Cajeli**, *Luz Elena Palacio D.***,
*Marcela Camacho****

Introducción

Desde la aparición del ahora trabajo clásico de Benoit Mandelbrot en 1973, denominado "Los objetos fractales", la comunidad científica se interesó en las posibles aplicaciones que podría tener tan revolucionario concepto. En su libro expone como, mediante los objetos fractales se pueden representar fenómenos de la naturaleza, y con base en tales representaciones y la nueva metodología que conlleva, surgen mediciones para la caracterización de ellos.

La segunda edición del texto publicado por el mismo autor, diez años después: "La geometría fractal de la naturaleza", marcó un hito en esta dirección, al punto de ser considerado nuevo paradigma científico, ya que sirvió de fuente de inspiración a diversos investigadores. Para citar sólo algunos: Barnsley publicó "Fractals everywhere" en 1988, en el cual sienta los principios de la teoría de funciones iteradas (Iterated Functions Systems: IFS), que se utiliza ampliamente en el análisis de procesamiento y compresión de imágenes digitalizadas y todas sus consiguientes aplicaciones en ésta área. Desde imágenes

* Mat. MSc, Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada.

** Mat., Docente Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar "Nueva Granada".

*** M.D. PhD. Laboratorio de Biofísica, Centro Internacional de Física y Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá.

médicas, tanto microscópicas en microhistología, como de observación directa en rayos X, tomografía axial computarizada (TAC), resonancia magnética nuclear (RMN), hasta análisis en fotogrametría, análisis de imágenes satelitales IGS en ingeniería, incluyendo análisis de sección delgada en suelos y rocas. En cualquiera de estas áreas, la bibliografía existente es realmente exhaustiva: Deaton, Vincent Ng, Anderson (1.996), Keough (1.991), Darrel, (1.995), MacAulay (1.990), para nombrar sólo algunos de los artículos publicados.

Existen diversas medidas fractales, pero todas ellas explican de una u otra forma algún tipo de irregularidad o grado de complejidad del fenómeno u objeto observado. Tales medidas siempre hacen relación al área, espacio, lugar o tiempo que ocupan, o en el que se desarrollan.

A partir de Noviembre de 1.999, la Universidad Militar Nueva Granada a través de su Centro de Investigaciones en Ingeniería, se vinculó como entidad coinvestigadora, con el Laboratorio de Biofísica del Centro Internacional de Física-CIF, para colaborar con el proyecto "Estudio de Homeostásis iónica de macrófagos infectados con *Leishmania amazonensis*". Este proyecto, se pensó con el objetivo de realizar análisis fractal del comportamiento eléctrico y morfología de macrófagos (células del sistema inmune) en condiciones normales, y sometidas a infección por *Leishmania*. Este proyecto marco permitió la presentación de una propuesta a Colciencias en diciembre de 1999.

Nos interesa el estudio de *Leishmania*, porque causa enfermedad en el hombre y se estima que una población de 350 millones de personas viven en áreas de influencia de este parásito. La capacidad para controlar enfermedades como Leishmaniosis, depende de nuestra habilidad para entender como viven y se adaptan los parásitos que las generan, cómo se comportan las células que parasitan y cómo esta interacción parásito-célula hospedera afecta la respuesta inmune del individuo infectado. Para esto son necesarios, estudios encaminados a generar conocimiento básico sobre el impacto que este parásito intracelular obligatorio, tiene sobre las células que infecta. Nuestro interés particular radica en la homeostásis iónica de *Leishmania* y del macrófago.

Estudios a este nivel deben aportar en el futuro, luces sobre como vulnerar al parásito para controlar esta parasitosis.

En nuestro proyecto se plantea la utilización del análisis fractal para estudiar en él, señales electrofisiológicas, que por sus características de ser medidas en el tiempo, pueden ser caracterizadas a través del coeficiente de Hurst (H) y relacionado éste con la dimensión fractal (d), mediante la ecuación $d=2-H$. Así mismo, se pueden determinar las dimensiones fractales de imágenes de células.

En este reporte presentamos algunos resultados utilizando imágenes obtenidas con microscopía de luz y microscopía de fluorescencia de macrófagos en condiciones normales, y tratados con fármacos que

alteran el tráfico de membranas (tráfico vesicular) entre compartimientos intracelulares y la membrana plasmática.

Materiales y métodos

Macrófagos normales y tratados con un inhibidor de tráfico vesicular fueron mantenidos en solución salina. Estas células fueron expuestas a un fármaco fluorescente que se une a DNA produciendo una imagen verde y queda atrapado en compartimiento ácidos en donde emite color rojo. Posteriormente fueron sometidos a observación por microscopía de luz y de fluorescencia y las imágenes correspondientes recolectadas en fotografía con una cámara estándar (Cannon, EOS 3000). Para el análisis fractal las imágenes fotográficas fueron digitalizadas en un escáner Hewlett Packard ScanJET 6100 de 300dpi.

Para la determinación de la dimensión fractal de la superficie teñida de rojo (por el efecto de fluorescencia), se construyeron dos rejillas cuadradas de lados de 1 cm y 1/2 cm respectivamente. Se contaron las áreas de interés y se aplicó la metodología de MacAulay y Palcic (1990) para calcular la dimensión fractal. Esta forma de determinar la dimensión fractal de superficie, es una variante del método denominado "box counting", la cual se puede consultar, por ejemplo, en el texto de Avnir (1989).

El cálculo con rejilla consiste en superponer una cuadrícula de una longitud dada, y contar el número de cuadros que

están completamente cubiertos por los eventos de interés, en nuestro caso, la dispersión del área roja. El mismo procedimiento se repite para rejillas de cuadrículas de diferentes tamaños. Finalmente, la regresión al graficar en log-log, nos da la dimensión fractal. La innovación de MacAulay y Palcic, consiste en limitar el proceso a sólo dos rejillas, lo cual nos permite una aproximación a la pendiente de la recta de regresión:

$$M = (\log A1 - \log A2) / (\log L1 - \log L2)$$

En donde A1 y A2 son las áreas medidas en cada una de las rejillas de lados L1 y L2, siendo el valor absoluto de esta fórmula la dimensión fractal.

Resultados

Los valores de la dimensión fractal (d), para las imágenes estudiadas fueron de 2.13 para el macrófago normal y 2.51 para la célula tratada. Estos datos sugieren que el macrófago con inhibidor, tiene más zonas rojas, es decir, sus compartimientos ácidos ocupan una mayor área (ver portada). El tratamiento impuesto debe alterar la proporción de compartimientos ácidos, ya que éstos son parte del tráfico vesicular. La observación visual directa nunca nos hubiera permitido detectar ésta diferencia.

Implicaciones

La dimensión fractal así calculada, permite diferenciar dos tratamientos no discer-

nibles por observación directa. Para las aplicaciones en ingeniería, es una metodología que puede ser utilizada de la misma manera, en análisis de lámina delgada en suelos y rocas, lo mismo que en fotogrametría.

Agradecimientos

Este proyecto es financiado por la UMNG código 99-003 y apoyado por la UMNG, el CIF y la UN. A Juan Carlos Díaz y Tania Cortázar, estudiantes, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, por la obtención de las imágenes.

Bibliografía

Anderson A.N, et al. Soil Mass, Surface and Spectral Fractal Dimensions Estimates from Thin Section Photographs. Soil Science vol.60. pp962-967 1996

Avnir D (ed) The fractal approach to heterogeneous Chemertry (1989)

Chenonoweth D. Et al. Aerial Image Analysis Using Fractal-Based Models. IEEE. 1.995 pp: 277-285.

Deaton R. y Tang L. Fractal Analysis of Magnetic Resonance Images of the Brain IEEE Engineering in Medicine and Biology. pp. 616-617.

Keough K.M.W: et al. Cell surfaces and fractal dimensions. Journal of Microscopy. Vol.163: 95-99.

MacAulay C. and Palcic B. Fractal Texture features Based ON Optical dENsity Surface Area. Analitical and Quantitative Cytology and Histology. VOL 12 :394-398 1.990.

Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature. 1982.

Perfect E and Kay B.D Fractal Theory applied soil agregation Soil Science vol 55: pp.1552-1558. 1.991.

Vincent Ng and A. Caldman. Diagnosis of Melanoma with fractal dimensions. IEEE Tencon'93/Beijing pp 514-517.