

## INVESTIGACIÓN ORIGINAL

# EVALUACIÓN FÍSICA Y MATEMÁTICA DE LA PRESIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN SANGRE ARTERIAL

Santacruz Castiblanco, Fernando<sup>1</sup>; Rodríguez Velásquez, Javier<sup>2</sup>; Prieto Bohórquez, Signed<sup>3</sup>; Correa Herrera, Catalina; Oliveros Rodríguez, Henry<sup>5</sup>; Soracipa Muñoz, Yolanda<sup>6</sup>; Villalobos Amador, Hazel<sup>7</sup>; Rodríguez Hernández, Martín<sup>8</sup>; Benítez Santana, Camilo<sup>9</sup> y Rojas Rivera, Juan<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de medicina. Línea de profundización y semillero, Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>MD. Director del Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Director de la Línea de profundización, internado especial y semillero, Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

<sup>4</sup>Pisc. Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Docente de la Línea de profundización, internado especial y semillero, Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

<sup>5</sup>MD. MSc Coordinador Unidad de Cuidados Posquirúrgicos. Hospital Militar Central. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

<sup>6</sup>Lic. Fis. Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Bogotá, Colombia

<sup>7</sup>MD. Investigadora Grupo Insight, Jerusalem, Israel

<sup>8</sup> Profesor-Investigador. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

<sup>9</sup>Bacteriólogo, Centro de Investigaciones Clínica del Country, Bogotá, Colombia

**Resumen:** Desde la teoría de los sistemas dinámicos se ha diagnosticado la dinámica cardiaca, con aplicabilidad clínica. En este trabajo se desarrolló desde la teoría de los sistemas dinámicos, una metodología de evaluación de la presión arterial de dióxido de carbono para pacientes en Unidad de Cuidados Intensivos. Para el estudio se seleccionaron 10 pacientes a los cuales se les midió mediante la toma de gases, la presión arterial de dióxido de carbono durante sus tiempos de estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos Postquirúrgicos del Hospital Militar Central. A partir estos valores se construyeron atractores caóticos representativos de esta variable en un mapa de retardo. Finalmente se cuantificaron los valores mínimos y máximos del atractor. Se confirmó un comportamiento caótico de la dinámica; los valores máximos y mínimos de los atractores de la presión arterial de dióxido de carbono oscilaron entre 14,40 mmHg y 76,50 mmHg. El comportamiento caótico de la presión arterial de dióxido de carbono es cuantificable a partir de la evaluación de los valores máximos y mínimos de atractor en el mapa de retardo, constituyéndose en un

Revista electrónica publicada por el Departamento de Farmacología de la Escuela de Medicina de la Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. © All rights reserved. Licensed under a Creative Commons Unported License.



Contáctenos: [rev.med.ucr@gmail.com](mailto:rev.med.ucr@gmail.com). Tel: (506) 25-11 4492, Fax: 25-11-4489.

nuevo método de evaluación matemática, objetiva y reproducible, útil para la evaluación de pacientes en Unidad de Cuidados Intensivos.

**Palabras clave:** presión de dióxido de carbono, dinámica no lineal, matemáticas, cuidados intensivos. Fuente: MeSH.

Recibido: 30 Enero 2016. Aceptado: 16 Marzo 2016. Publicado: 26 Abril 2016.

## PHYSICAL AND MATHEMATICAL EVALUATION OF THE CARBON DIOXIDE PRESSURE IN ARTERIAL BLOOD

**Abstract:** From the theory of dynamical systems cardiac dynamics have been diagnosed with clinical applicability. In this work was developed a methodology for evaluating the arterial pressure of carbon dioxide for patients in the Intensive Care Unit, from the theory of dynamical systems. For the study, 10 patients were selected, recording the arterial pressure of carbon dioxide during their time of stay in the Post-surgical Intensive Care Unit of the Central Military Hospital. From these values representative chaotic attractors were constructed for this variable on a delay map. Finally the minimum and maximum values of the attractor were quantified. Chaotic behavior of dynamic was confirmed; the maximum and minimum values of the attractors of arterial pressure of carbon dioxide varied between 14.40 and 76.50 mmHg. The chaotic behavior of the arterial pressure of carbon dioxide is quantifiable from the evaluation of the maximum and minimum values of attractors on the delay map, constituting a new mathematical method, for objective and reproducible evaluation, useful for evaluating patients in Intensive Care Unit.

**Key words:** carbon dioxide pressure, nonlinear dynamics, mathematics, intensive care. Source: MeSH.

### INTRODUCCIÓN

La geometría euclidiana mide áreas y volúmenes en figuras regulares, en cambio la geometría fractal se desarrolla para medir estructuras y comportamientos irregulares [1]. El comportamiento de un sistema a medida que este evoluciona en el tiempo, ha sido estudiado a partir de la teoría de los sistemas dinámicos. Las trayectorias del sistema, descritas en el espacio de

fase, pueden ser predecibles e impredecibles, representadas mediante tres tipos de atractores.

Los dos primeros son el punto y el ciclo, considerados predecibles, en el tercer tipo se observa un comportamiento irregular usualmente catalogado como impredecible [2]. Para este comportamiento irregular, su dimensión fractal ha sido hallada mediante el método de Box Counting



[3,4].

La evaluación de la función respiratoria y el equilibrio ácido básico es utilizada en la práctica diaria para el seguimiento de la evolución del paciente y para la toma de decisiones como pueden ser el ajuste en los parámetros ventilatorios, la corrección de trastornos metabólicos [5]. Una de las técnicas que permite estudiar la función pulmonar es realizada mediante el análisis de gases arteriales, el cual evalúa el intercambio gaseoso, es decir, el funcionamiento del aparato respiratorio [6]. Los resultados obtenidos a partir de esta medición, permiten valorar diferentes funciones vitales como son la oxigenación, la ventilación y el equilibrio ácido-básico de los fluidos biológicos del organismo [6]. El análisis de la ventilación alveolar se hace en relación a los valores que indica la presión arterial de dióxido de carbono ( $\text{PaCO}_2$ ). Los valores de la  $\text{PaCO}_2$  determinan la efectividad de la eliminación o excreción pulmonar de dióxido de carbono y de la cantidad de ácido carbónico contenido en el plasma. Los valores normales al nivel del mar establecidos para la  $\text{PaCO}_2$  se encuentran entre 35-45 mmHg y para Bogotá D.C., entre 30-45 mmHg. Adicionalmente, la  $\text{PaCO}_2$  es utilizada para determinar la presencia y la magnitud de la hipoventilación alveolar [6].

En la literatura fisiológica se asume que la enfermedad y el envejecimiento son consecuencia de sistemas desordenados, los cuales provocan respuestas erráticas que alteran la periodicidad normal del organismo. Los primeros trabajos desarrollados en el contexto de la dinámica de los sistemas no lineales en cardiología los hicieron Goldberger y col. [7], encontrando que el sistema cardiaco enfermo puede estar asociado a dos estados, irregulares o altamente regulares, en cambio la normalidad se encuentra en medio de dichos extremos. Lo anterior contradice las nociones del principio de homeostasis que sustenta la fisiología. Por otro lado, medidas fractales en pacientes con fracción de eyección menor al 35% después de infarto agudo de miocardio permitieron establecer predictores de

mortalidad más efectivos que los logrados convencionalmente [8].

Desde esta perspectiva, se han desarrollado múltiples investigaciones que evidencian lo adecuado que resulta la comprensión de diferentes fenómenos clínicos desde el pensamiento de la física y la matemática moderna, incluyendo el comportamiento cardiaco. Por ejemplo, la evaluación del comportamiento de la dinámica cardiaca desde el contexto de la teoría de los sistemas dinámicos y la geometría fractal, han permitido el desarrollo de metodologías diagnósticas que diferencian de forma objetiva y reproducible casos normales y con enfermedad aguda [9]. Esto es posible a partir de la evaluación de los espacios de ocupación de los atractores cardiacos, evaluados mediante el método de Box Counting; su capacidad diagnóstica ha sido confirmada con estudios estadísticos [10]. Recientemente se desarrolló un avance significativo en esta vía, confirmando la capacidad diagnóstica de dicho método en 16 horas [11,12].

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de una nueva metodología de evaluación geométrica de la presión de dióxido de carbono en sangre arterial ( $\text{PaCO}_2$ ) proveniente de pacientes de UCI, fundamentada en los principios de la teoría de los sistemas dinámicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### POBLACIÓN

Este es un estudio prospectivo, descriptivo, para el cual se tomaron 10 pacientes con diferentes patologías provenientes de la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) Postquirúrgica del Hospital Militar Central, todos mayores a 21 años. Dentro del grupo de pacientes seleccionados para el estudio se encuentran casos que por su condición clínica al ingreso y durante los días de estancia en la UCI, requirieron hacer seguimiento de la función pulmonar, la efectividad de procedimientos como la traqueotomía, soporte ventilatorio ya sea este invasivo o no invasivo, u otros seguimientos que



necesitaran del análisis de gases arteriales. Los resultados clínicos de gases arteriales fueron consultados de la base de datos de las historias clínicas de los pacientes. Para la realización de los cálculos, se utilizó un programa desarrollado previamente en lenguaje C++ [9], en el que se introducen los valores consecutivos del registro de la PaCO<sub>2</sub>, estos valores consecutivos se organizan en parejas ordenadas de coordenadas cartesianas, en las que las coordenadas son valores de PaCO<sub>2</sub> consecutivos, estas parejas son llevadas a un espacio bidimensional y fueron graficadas construyendo así un mapa de retardo. Un mapa de retardo es un tipo de atractor específico que permite, en un solo gráfico tener la información temporal de una variable dinámica, y de esta forma estudiar el estado y la evolución de los sistemas, en este caso en particular la PaCO<sub>2</sub>.

Por la configuración espacial del mapa de retardo, generalmente los atractores construidos a partir de mapas de retardo presentan una figura irregular, por lo que se les ha denominado atractores caóticos o impredecible, es por esto que es necesario el desarrollo de nuevas medidas que permitan establecer un orden, y en particular cuantificar la dinámica de PaCO<sub>2</sub>.

### PROCEDIMIENTO

Con previa aprobación del comité de ética institucional en Investigación del Hospital Militar Central, de acuerdo con el acta No. 19696 del 13 de julio de 2015. Se tomaron los valores de la PaCO<sub>2</sub>, que fueron registrados en una frecuencia determinada por el especialista de acuerdo a las necesidades de cada paciente particular; oscilando entre dos y tres veces en un mismo día, registros diarios y con uno o más días sin que se haya hecho el análisis de las muestras de gases arteriales. Estos valores fueron utilizados posteriormente para generar un atractor caótico a partir del mapa de retardo para cada paciente.

Una vez obtenido el mapa de retardo para cada paciente se prosiguió a calcular los valores máximos y mínimos de las coordenadas para cada

atractor, para esto se encuentran las parejas ordenadas que presentan los valores máximos y mínimos y se ubican en el mapa de retardo como se observa en las figuras (figuras 1-3), con el fin de observar valores característicos de esta variable hemodinámica.

Este estudio se dirige a realizar una identificación del comportamiento matemático y geométrico de la PaCO<sub>2</sub> en el contexto de la teoría del caos, es decir, evaluada como una variable dinámica del sistema. Por esta razón, no se requiere el análisis de variables poblacionales como sexo, factores de riesgo, patología específica o edad (excepto si es menor de 21 años). Más aun, no se consideraron las funciones del análisis de muestras de gases arteriales en relación a un procedimiento específico llevado a cabo con el paciente en la UCI posquirúrgico, esto explica por qué se tomó una muestra heterogénea de pacientes de la UCI.

### RESULTADOS

El diagnóstico clínico registrado en las historias clínicas de los pacientes seleccionados para el estudio, se puede observar en la tabla 1. Los valores máximos y mínimos de los atractores de la PaCO<sub>2</sub> en el mapa de retardo se hallaron entre 14,40 mmHg y 76,50 mmHg. Para los pacientes que murieron se encontraron valores entre 14,40 mmHg y 76,50 mmHg; y entre 21,60 mmHg y 49,20 mmHg para los que fueron dados de alta vivos (ver tabla 2). Las figuras 1 y 2 muestran dos atractores, el primero del paciente 4, con egreso vivo de UCI, mientras que el segundo presenta al paciente 7, con egreso muerto. La figura 3 muestra la superposición de ambos atractores, evidenciando en dichos casos un mayor tamaño del atractor con egreso vivo respecto al muerto.

**Tabla 1.** Edad, sexo y diagnóstico clínico de los pacientes provenientes de la UCI posquirúrgicos analizados en el presente estudio. Sexo, F: femenino y M: masculino.

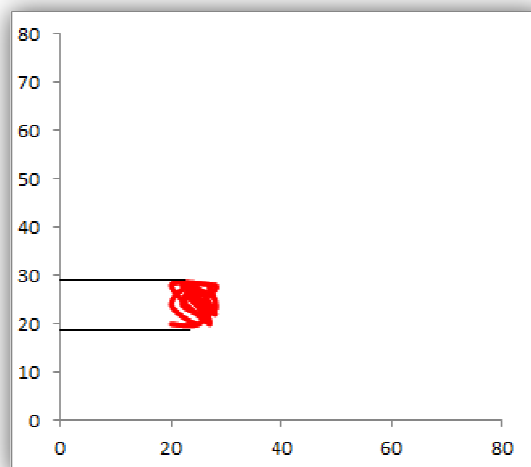
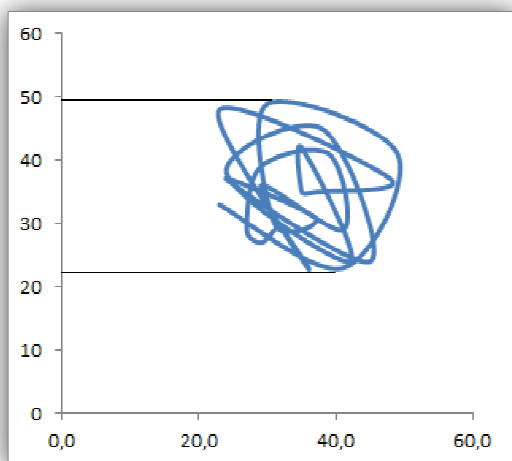
No	Edad	Sexo	Diagnóstico
1	82	M	Paciente con sepsis de origen pulmonar, presentó dolor abdominal localizado parte superior; Constipación. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica no especificada; fractura cuello del fémur. Neumonía severa asociada a los cuidados de la salud-basal derecha más derrame pleural bilateral. Falla ventilatoria secundaria. EPOC exagerado anthonisen. Falla cardiaca fevi no conocida.
2	79	F	Paciente con fibrilación y aleteo auricular.
3	68	F	Paciente con hemorragia subaracnoidea.
4	86	M	Paciente con neumonía Post Reanimación. Ruidos cardiacos rítmicos; no soplos, ruidos hipoventilación basal bilateral, extremidades no edema, adecuada perfusión distal. Síndrome de compresión medular.
5	70	F	Paciente con neumonía no especificada.
6	86	M	Paciente con sepsis tejidos blandos, enfermedad pulmonar crónica con exacerbación no especificada.
7	83	M	Paciente con enfermedad de vesícula, no especificada.
8	78	M	Paciente con trastorno de disco cervical con mielopatía. Presentó neumonía asociada a ventilación mecánica resuelta. Dolor agudo somático y neuropático cervical. Trauma cervical por caída de su propia altura nivel C4. POP de artrodesis cervical C3-C5. DM tipo 2. Obesidad. HTA. IRC agudización. Choque medular en resolución. Traqueostomía funcionante. Arritmia cardiaca persistente dada por la bradicardia severa; hipotensión severa.
9	70	M	Paciente con tumor maligno de las vías biliares extrahepática. Sepsis severa. SDRA severo. Colangiocarcinoma estadio Bismuth 3A. Extabaquismo pesado. Post-operatorio biopsia dirigida por ecografía de la vía biliar intrahepática. Choque séptico por Gram negativo tipo E. coli resuelto.
10	48	F	Paciente con accidente vascular encefálico agudo no especificado como hemorrágico.

**Tabla 2.** Valores de la PaCO<sub>2</sub> Max (máxima) y la PaCO<sub>2</sub> Min (mínima) ocupados por los atractores de 10 pacientes provenientes de la UCI. Egreso, V: vivo y M: muerto.

No	Egreso	PaCO <sub>2</sub> Min	PaCO <sub>2</sub> Max
1	V	33,50	56,60
2	V	25,80	44,20
3	V	28,50	48,50
4	V	21,60	49,20
5	V	31,00	42,90
6	M	14,40	32,60
7	M	19,30	28,70
8	M	24,20	52,10
9	M	23,80	64,10
10	M	58,10	76,50

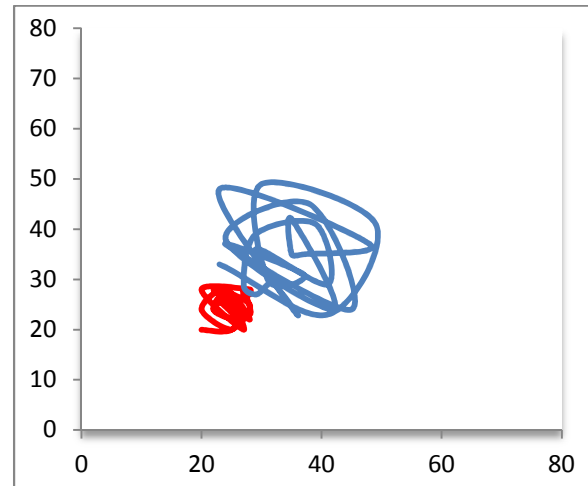
**Figura 1.** Atractor de PaCO<sub>2</sub> de paciente 4, con egreso vivo de la UCI. Las líneas negras que conectan el eje vertical y el atractor señalan los valores máximo y mínimo del atractor en el mapa de retardo.

**Figura 2.** Atractor de PaCO<sub>2</sub> del paciente 7, con egreso muerto de la UCI. Las líneas negras que conectan el eje vertical y el atractor señalan los valores máximo y mínimo del atractor en el mapa de retardo.





**Figura 3.** Superposición de los atractores de la PaCO<sub>2</sub> de las figuras 1 y 2. Rojo: atractor con condición de salida muerto de UCI. Azul: atractor de paciente con condición de salida vivo de UCI.



### DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo desarrollado en el ámbito físico y matemático, mediante el cual se evidenció el comportamiento caótico de la PaCO<sub>2</sub>, el cual implementa una nueva metodología que permite caracterizar su comportamiento irregular. Se realizó una cuantificación objetiva de la dinámica de esta variable, a partir del establecimiento de los valores máximos y mínimos de la totalidad del atractor de la PaCO<sub>2</sub> en el mapa de retardo, independientemente de metodologías poblacionales. Esta metodología en el futuro puede emplearse como un nuevo sistema de medida que permita hacer estudios sistemáticos, que contribuyan en hacer distinciones físicas y matemáticas más precisas que favorezcan un correcto seguimiento hemodinámico del paciente crítico en la UCI.

El presente estudio es un primer acercamiento para medir comportamientos irregulares y caóticos observados en PaCO<sub>2</sub>, que los sistemas métricos lineales no pueden cuantificar y diferenciar. Al realizar un estudio desde una perspectiva físico-matemática acausal, la PaCO<sub>2</sub> ahora es una variable dinámica del sistema por lo cual es evaluada al margen de consideraciones

causales y de análisis de tipo epidemiológico o estadístico, en busca de órdenes físico-matemáticas subyacentes.

Otras medidas desde los sistemas dinámicos [7,8] habían ya contradicho la noción fisiológica de homeostasis, desde la cual se evidenció que la enfermedad constituye un estado intermedio entre dinámicas altamente variables o extremadamente regulares. Siguiendo esta línea de trabajo, la metodología desarrollada logra establecer el comportamiento caótico de la dinámica de la PaCO<sub>2</sub>, caracterizado por atractores irregulares (figuras 1-3). En el futuro el presente estudio se puede ampliar mediante el análisis matemático y físico de otras variables hemodinámicas que en términos generales son consideradas claves en análisis del paciente crítico.

Dentro de las variables hemodinámicas que permiten establecer la condición clínica del paciente crítico se encuentran los cambios de la frecuencia cardiaca. Estos cambios han sido analizados como sistemas dinámicos, mediante planteamientos teóricos y matemáticos los cuales fundamentan la presente metodología. La comprensión de la dinámica cardiaca, como un

sistema dinámico caótico predecible, ha permitido el desarrollo de metodologías diagnósticas de aplicación clínica. La dinámica cardiaca representada mediante atractores caóticos y su evaluación mediante la teoría de los sistemas dinámicos y la geometría fractal, han permitido el desarrollo de una ley matemática mediante la cual es posible caracterizar todas las posibles dinámicas cardiacas, normales, agudas y en evolución [13], evaluando patologías cardiacas de adultos [14] y neonatales [15].

Continuando con esta línea de investigación, se han desarrollado otras metodologías las cuales han permitido evaluar los registros Holter a partir de la teoría de los sistemas dinámicos, la probabilidad y las proporciones de entropía [16,17]. En el caso particular del estudio de la dinámica cardiaca de pacientes de la Unidad de Cuidados Coronarios, se ha logrado evaluar la evolución del pacientes durante los días siguientes a la intervención, independientemente de los parámetros diagnósticos utilizados actualmente, detectando procesos de agudización subdiagnosticados [18].

Este tipo de perspectiva físico-matemática acausal cuenta con la ventaja de proveer medidas objetivas y reproducibles para cada caso particular. Desde esta perspectiva también se han desarrollado nuevos métodos de evaluación de múltiples fenómenos médicos, como el ventrículo izquierdo en ventriculogramas [19]. También se ha caracterizado la irregularidad de arterias coronarias en un modelo experimental de re-estenosis, diferenciando arterias normales de enfermas y estableciendo el número total de posibles arterias [20]. Se ha cuantificado el grado de irregularidad de células preneoplásicas y neoplásicas de cuello uterino, estableciendo un diagnóstico cuantitativo, objetivo y reproducible de todos los estadios preneoplásicos hasta carcinoma [21,22]. Así mismo, se ha evaluado la estructura eritrocitaria, siendo de gran utilidad para el área de la hematología [23]. Otras metodologías desarrolladas en este mismo

contexto han sido útiles en otros campos de la medicina como la inmunología [24], epidemiología [25] y la infectología [26].

## CONCLUSIONES

La presente metodología diseñada para evaluar el comportamiento caótico de la PaCO<sub>2</sub>, fortalecerá en el futuro el análisis de muestras de gases arteriales, debido a que son resultados que pueden ser interpretados y observados de manera objetiva y reproducible, en distintos escenarios clínicos y campos académicos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo hace parte de los productos alcanzados para el protocolo C025-2014, financiado por el fondo de investigaciones del Hospital Militar Central. Extendemos nuestros agradecimientos a las Doctora Luz Ávila, Jefe Unidad de Investigación Científica y al Coronel Médico Luis Castro, Subdirector de Docencia e Investigación Científica. También agradecemos a Jaime Sánchez por su apoyo.

Al Centro de Investigaciones de la Clínica del Country, en especial al Dr. Tito Tulio Roa, Director de Educación Médica, Dr. Jorge Ospina, Director Médico, Dr. Alfonso Correa, Director del Centro de Investigaciones, y a las Doctoras Adriana Lizbeth Ortiz, Epidemióloga, y Silvia Ortiz, Enfermera Jefe del Centro de Investigaciones, así mismo a la enfermera Sandra Rodríguez.

De igual manera agradecemos a las directivas de la Universidad Militar Nueva Granada y a la Facultad de Medicina, especialmente al Decano Dr. Jorge Luque MD, por el apoyo dado a nuestras investigaciones.

## DEDICATORIA

A nuestros hijos.



REFERENCIAS

1. Mandelbrot B. ¿Cuánto mide la costa de Bretaña? In: Los Objetos Fractales. Barcelona: Tusquets Eds. S.A. 2000. pp. 27-50.
2. Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. Chaos and fractals; new frontiers of science. New York: Springer; 1992. Mood A, Graybill F, Boes D. Introduction to the theory of statistics. 3a Ed. Singapore: Mc. Graw-Hill. 1974.
3. Mandelbrot B. Árboles jerárquicos o de clasificación y la dimensión. En: Los Objetos Fractales. Barcelona: Tusquets Eds. S.A; 2000: 161-166.
4. Falcomer K. Fractal geometry, mathematical foundations and applications. New York: John Wiley & Sons Ltd.
5. Acevedo L, Solarte L. Gasimetría arterial en adultos jóvenes a nivel del mar. Acta Médica 1984; 9(1):7-14. [consultado, enero de 2015] <http://www.actamedicacolombiana.com/cont.php?id=170&id2=1926>.
6. Gordillo E, López P, Fernández L, González D, Pérez M, Pinza A et al. Intervalos de gases arteriales en la población adulta sana de Neiva. Movi cient. 2009; 3(1):84-55. [consultado, enero de 2015] <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4781901>.
7. Goldberger A, Amaral LAN, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Peng CK, Stanley HE. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. Proc Natl Acad Sci USA. 2002 Feb; (suppl 1):2466 - 2472. [consultado, febrero de 2015] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC128562/>.
8. Huikuri HV, Mäkikallio T, Peng CK et al. Fractal correlation properties of R – R interval dynamics and mortality in patients with depressed left ventricular function after and acute myocardial infarction. Circulation 2000; 101: 47-53. [consultado, febrero de 2015] <http://circ.ahajournals.org/content/101/1/47.full>.
9. Rodríguez J, Prieto S, Avilán N, Correa C, Bernal P, Ortiz L, et al. Nueva metodología física y matemática de evaluación del Holter. Rev Colomb Cardiol. 2008 Mar/Abr; 15(2):50-54. [consultado, enero de 2015] <http://www.revcolcard.org/assets/revista/VOL15-NO2-2008.pdf>.
10. Rodríguez J, Prieto S, Bernal P, Soracipa Y, Salazar G, Isaza D, et al. Nueva metodología de ayuda diagnóstica de la dinámica geométrica cardiaca: dinámica cardiaca caótica del Holter. Rev Acad Colomb Cienc. 2011 Mar; 35(134): 5-12. [consultado, enero de 2015] [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_35/134/5-12.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_35/134/5-12.pdf).
11. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Oliveros H, Soracipa Y, Amaya J, et al. Sistemas dinámicos aplicados a la disminución del tiempo de diagnóstico de la dinámica cardiaca de 24 a 16 horas en holter y registros electrocardiográficos continuos. X Congreso de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo. Cartagena, Colombia. 2015.
12. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Oliveros H, Soracipa Y, Méndez L, Velasco A, Valero L, Hoyos N, Bernal H. Diagnóstico físico-matemático de la dinámica cardiaca a partir de sistemas dinámicos y geometría fractal: disminución del tiempo de evaluación de la dinámica cardiaca de 21 a 16 horas. Acta Colomb Cuid Intensivo. 2016;16(1):15-22 [consultado, 15 de abril de 2016] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0122726215001019>
13. Rodríguez J. Mathematical law of chaotic cardiac dynamic: Predictions of clinic application. J Med Med Sci. 2011 Ag; 2(8):1050-1059. [consultado, enero de 2015] <http://www.interesjournals.org/full-articles/mathematical-law-for-chaotic-cardiac-dynamics-predictions-for-clinical-application.pdf?view=inline>.
14. Rodríguez J, Correa C, Melo M, Domínguez, D, Prieto S, Cardona DM, et al. Chaotic cardiac law: Developing predictions of clinical application. J Med Med Sci. 2013 Abr;4(2):9-84. [consultado, enero de 2015] <http://www.interesjournals.org/full-articles/fractal-and-euclidean-geometric-generalization-of-normal-and-restenosed-arteries.pdf?view=inline>.
15. Rodríguez J, Prieto S, Flórez M, Alarcón C, López R, Aguirre G, et al. Physical-mathematical diagnosis of cardiac dynamic on neonatal sepsis: predictions of clinical application. J Med Med Sci. 2014 May; 5(5): 102-108. [consultado, marzo de 2015] <http://www.interesjournals.org/full-articles/physical-mathematical-diagnosis-of-cardiac>



[dynamic-on-neonatal-sepsis-predictions-of-clinical-application.pdf?view=inline.](#)

16. Rodríguez J, Prieto S, Domínguez D, Melo M, Mendoza F, Correa C, et al. Mathematical-physical prediction of cardiac dynamics using the proportional entropy of dynamic systems. *J Med Med Sci.* 2013 Sep; 4(9): 370-381. [consultado, marzo de 2015] [http://www.interesjournals.org/full-articles/mathematical-physical-prediction-of-cardiac-dynamics-using-the-proportional-entropy-of-dynamicsystems.pdf?view=inline.](http://www.interesjournals.org/full-articles/mathematical-physical-prediction-of-cardiac-dynamics-using-the-proportional-entropy-of-dynamicsystems.pdf?view=inline)
17. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Soracipa Y, Aguirre G, Méndez L. Proportional entropy applied to the clinical diagnostic of cardiac dynamic: blind study with 600 holter. The 61st Annual Conference of the Israel Heart Society in association with The Israel Society of Cardiothoracic Surgery. 2014. [consultado, febrero de 2015] [https://events.eventact.com/programview/ViewAbstract.aspx?Abst=61826&Code=699849.](https://events.eventact.com/programview/ViewAbstract.aspx?Abst=61826&Code=699849)
18. Rodríguez J, Prieto S, Bernal P, Izasa D, Salazar G, Correa C, et al. Entropía proporcional aplicada a la evolución de la dinámica cardiaca Predicciones de aplicación clínica. La emergencia de los enfoques de la complejidad en América Latina. Tomo I. Argentina: Comunidad del Pensamiento complejo. 2015, pp 247-264. [consultado, agosto de 2015] [http://www.pensamientocomplejo.com.ar/convocatoria/index.asp.](http://www.pensamientocomplejo.com.ar/convocatoria/index.asp)
19. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Soracipa Y, Mora J, Forero M, et al. Generalización geométrica fractal de ventriculografías izquierdas normales y con disfunción leve. *Acta Med Colomb.* 2014; 39: 131-136. [consultado, marzo de 2015] [http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v39n2/v39n2a08.pdf.](http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v39n2/v39n2a08.pdf)
20. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Bernal P, Puerta G, Vitery S, et al. Theoretical generalization of normal and sick coronary arteries with fractal dimensions and the arterial intrinsic mathematical harmony. *BMC Medical Physics.* 2010 Sep 17; 10:1-6. [consultado, abril de 2015] [http://www.biomedcentral.com/1756-6649/10/1.](http://www.biomedcentral.com/1756-6649/10/1)
21. Prieto S, Rodríguez J, Correa C, Soracipa Y. Diagnosis of cervical cells based on fractal and Euclidian geometrical measurements: Intrinsic Geometric Cellular Organization. *BMC Medical Physics* 2014 Abr 17, 14(2):1-9. [consultado, mayo de 2015] [http://www.biomedcentral.com/1756-6649/14/2.](http://www.biomedcentral.com/1756-6649/14/2)
22. Velasquez J, Prieto S, Catalina C, Dominguez D, Cardona DM, Melo M. Geometrical nuclear diagnosis and total paths of cervical cell evolution from normality to cancer. *J Cancer Res Ther.* 2015 Jan-Mar; 11(1): 98-104. [consultado, junio de 2015] [http://www.cancerjournal.net/article.asp?issn=0973-1482;year=2015;volume=11;issue=1;spage=98;epage=104;aulast=Vel%E1squez.](http://www.cancerjournal.net/article.asp?issn=0973-1482;year=2015;volume=11;issue=1;spage=98;epage=104;aulast=Vel%E1squez)
23. Correa C, Rodríguez J, Prieto S, Álvarez L, Ospino B, Munévar A, et al. Geometric diagnosis of erythrocyte morphophysiology. *J Med Med Sci.* 2012 Nov; 3(11): 715-720. [consultado, junio de 2015] [http://www.interesjournals.org/full-articles/geometric-diagnosis-of-erythrocyte-morphophysiology.pdf?view=inline.](http://www.interesjournals.org/full-articles/geometric-diagnosis-of-erythrocyte-morphophysiology.pdf?view=inline)
24. Rodríguez J, Bernal P, Correa C, Prieto S, Benítez L, Vitery S, et al. Predicción de unión de péptidos de MSA-2 y AMA-1 de Plasmodium falciparum al HLA clase II. *Inmunología.* 2009 Jul/Sep; 28: 115-24. [consultado, julio de 2015] [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213962609700344.](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213962609700344)
25. Rodríguez J. Método para la predicción de la dinámica temporal de la malaria en los municipios de Colombia. *Rev Panam Salud Pública.* 2010; 27:211-8. [consultado, julio de 2015] [http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v27n3/a08v27n3.pdf.](http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v27n3/a08v27n3.pdf)
26. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Pérez C, Mora J, Bravo J, et al. Predictions of CD4 lymphocytes' count in HIV patients from complete blood count. *BMC Medical Physics.* 2013 Sep 14; 13:3. [consultado, julio de 2015] [http://bmcmedphys.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-6649-13-3.](http://bmcmedphys.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-6649-13-3)

## INFORMACIÓN DEL AUTOR

Rodríguez Velásquez, Javier  
grupoinsight2025@yahoo.es

