

## **Evaluación de la Saturación Venosa de Oxígeno (SvO<sub>2</sub>) desde la teoría de los sistemas dinámicos**

### Evaluation of SvO<sub>2</sub> from the Theory of Dynamic Systems

María Laura Aragón Daza<sup>1</sup>

Javier Oswaldo Rodríguez Velásquez<sup>2\*</sup>

Signed Esperanza Prieto Bohórquez<sup>2</sup>

Sandra Catalina Correa Herrera<sup>3</sup>

Henry Oliveros Rodríguez<sup>4</sup>

María Yolanda Soracipa Muñoz<sup>3</sup>

Luis Eduardo Bermúdez Narváez<sup>5</sup>

Juan Mauricio Pardo Oviedo<sup>6</sup>

Juan Carlos Rubio Martínez<sup>5</sup>

Liliana Astrid Ortiz Salamanca<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Militar Nueva Granada-Centro de Investigaciones Clínica del Country. Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup> Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Bogotá, Colombia.

<sup>4</sup> Unidad de Cuidados Posquirúrgicos-Hospital Militar Central. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

<sup>5</sup> Grupo Insight. Bogotá, Colombia.

<sup>6</sup> Hospital Universitario Mayor Mederi. Bogotá, Colombia

\*Autor para la correspondencia: [grupoinsight2025@yahoo.es](mailto:grupoinsight2025@yahoo.es)

## RESUMEN

**Introducción:** La evolución de un sistema dinámico se puede caracterizar a partir de la construcción de atractores caóticos.

**Objetivo:** Desarrollar una metodología de evaluación de la saturación venosa de oxígeno, fundamentada en los sistemas dinámicos, para pacientes en Unidad de Cuidados Intensivos.

**Metodología:** Se seleccionaron 10 pacientes con diferentes patologías de la Unidad de Cuidados Intensivos Postquirúrgicos, y registró la saturación venosa de oxígeno durante su tiempo de estancia. Con base en estos valores se construyeron atractores caóticos en el mapa de retardo y se evaluaron los valores mínimos y máximos ocupados por el atractor.

**Resultados:** Se halló que la saturación venosa de oxígeno tiene un comportamiento caótico; los valores máximos y mínimos de los atractores en el mapa de retardo variaron entre 22,10 mmHg y 93,70 mmHg.

**Conclusiones:** Se plantea una nueva metodología capaz de caracterizar el comportamiento de la variable monitorizada para la evaluación del paciente crítico.

**Palabras clave:** fractales; dinámica no lineal; modelos teóricos.

## ABSTRACT

**Introduction:** The evolution of a dynamic system can be characterized from the construction of chaotic attractors.

**Objective:** To develop a methodology based on dynamic systems, for the evaluation of venous oxygen saturation of patients in the Intensive Care Unit.

**Methodology:** 10 patients with different pathologies of the Post-surgical Intensive Care Unit were selected, and recorded venous oxygen saturation during their time of stay. Based on these values, chaotic attractors were constructed on the delay map and the minimum and maximum values occupied by the attractor were evaluated.

**Results:** It was found that venous oxygen saturation has a chaotic behavior; the maximum and minimum values of the attractors on the delay map varied between 22.10 mmHg and 93.70 mmHg.

**Conclusions:** A new methodology is proposed capable of characterizing the behavior of this monitored variable for the evaluation of the critical patient.

**Key Words:** fractals; non-linear dynamics; theoretical models.

## Introducción

La irregularidad de los objetos, se describe correctamente con los principios que fundamentan la geometría fractal desarrollada por Mandelbrot <sup>(1)</sup>. La irregularidad de un objeto fractal se expresa en términos adimensionales y se denomina dimensión fractal <sup>(2)</sup>. La teoría de los sistemas dinámicos caracteriza el comportamiento de un sistema a medida que este evoluciona en el tiempo a partir de la construcción de atractores en el espacio de fase <sup>(3,4)</sup>. Dentro de este contexto el comportamiento de un sistema puede ser predecible o impredecible, descrito geoméricamente mediante tres tipos de atractores <sup>(4)</sup>. Los sistemas predecibles describen trayectorias puntuales o cíclicas, mientras que las trayectorias impredecibles describen trayectorias caóticas, que debido a su forma irregular pueden ser analizadas desde geometrías no euclidianas como la geometría fractal <sup>(2,5)</sup>. De acuerdo a la estructura geométrica del objeto existen diferentes métodos para el cálculo de la dimensión fractal. El atractor caótico se puede medir adecuadamente mediante la dimensión fractal <sup>(2,5,6)</sup>.

El objetivo principal de la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) es restablecer las funciones alteradas de uno o más sistemas orgánicos vitales. Por eso es importante su monitoreo intermitente o continuo, pues se detectan alteraciones <sup>(7)</sup>, de manera que los intensivistas cuenten con una gran cantidad de información que evalúa los aspectos fisiopatológicos del paciente <sup>(8)</sup>, ayudando a prevenir una posible gravedad. Dentro de estos exámenes se encuentra la evaluación de Gases Venosos, que permite medir parámetros como la saturación venosa de oxígeno (SvO<sub>2</sub>), la presión venosa de oxígeno y la de dióxido de carbono, y se utiliza para saber si los tejidos del cuerpo están extrayendo y utilizando el oxígeno proveniente de la sangre arterial; así también, indican si los mecanismos de ventilación funcionan correctamente <sup>(9,10)</sup>.

Sin embargo, no se ha dado un diagnóstico objetivo y reproducible, que permita evaluar cuantitativamente y de forma simultánea toda la información recopilada de las diferentes variables evaluadas en UCI. Por esta razón, puede haber errores o impresiones generadas porque el especialista <sup>(11)</sup>, debe tomar en consideración simultáneamente una gran cantidad de información, sin que existan métodos sistemáticos que permitan su interpretación de forma unificada para hacer un uso eficaz de la información, con lo cual el clínico debe tomar la decisión de si un dato específico requiere un seguimiento más preciso o puede desecharse como algo intrascendente <sup>(11)</sup>. Adicionalmente, las variables en los monitores se observan en tiempo real, lo cual tiene el inconveniente de que no hay seguimientos automáticos de las variaciones de la dinámica de cada variable en el tiempo.

En cambio, metodologías desarrolladas en el contexto de la teoría de los sistemas dinámicos han contribuido en avances de alto interés clínico. Entre estas metodologías, se desarrolló una caracterización de la dinámica cardiaca, fundamentada en la Geometría fractal en pacientes post-infartados y con FE menor al 35% la cual supera los predictores convencionales de mortalidad <sup>(12)</sup>. Otros trabajos encontraron que existe una asociación entre comportamientos excesivamente periódicos o aleatorios al estado de enfermedad, encontrándose en el medio de estos dos comportamientos la salud <sup>(13)</sup>.

En la actualidad, desde que los planteamientos físicos y matemáticos han sido aplicados en los distintos escenarios de la cardiología, se ha logrado el desarrollo de nuevas metodologías diagnósticas aplicables a la clínica mediante las cuales se puede establecer diferencias cuantitativas entre casos normales y enfermos. Rodríguez y col., desarrollaron un método que evalúa los espacios de ocupación de los atractores caóticos cardiacos mediante el método de Box-Counting diferenciando de manera geométrica y cuantitativa la enfermedad aguda de normalidad <sup>(14)</sup>. Posteriormente, esta metodología sería la base de una ley exponencial con la cual se deducen todos los posibles atractores caóticos cardiacos discretos, logrando diferenciar normalidad de enfermedad y la evolución entre las dos <sup>(15)</sup>. La aplicabilidad clínica de estos nuevos diagnósticos matemáticos, han sido validado mediante estudios de prueba diagnóstica hallando valores de sensibilidad y especificidad del 100% y un coeficiente Kappa de uno <sup>(16-18)</sup>. Posteriormente, la ley matemática fue aplicada para evaluar dinámicas cardiacas con diagnóstico de arritmia <sup>(18)</sup> y para el estudio de la dinámica cardiaca neonatal, logrando cuantificar en tres y seis horas antes la manifestación clínica de sepsis o dinámica asociada a ésta <sup>(19)</sup>. Del mismo modo se desarrolló un estudio en el que se redujo el tiempo de evaluación de la dinámica cardiaca a partir de los registros electrocardiográficos continuos y/o Holter pasando de 21 a 16 horas, de utilidad para

pacientes ambulatorios y los egresados a los diferentes escenarios de la UCI <sup>(20)</sup>.

El propósito del presente estudio es establecer una metodología para la evaluación de la saturación venosa de oxígeno (SvO<sub>2</sub>) analizada en el contexto de la teoría de los sistemas dinámicos.

## Métodos

### Población

Se tomaron 10 pacientes egresados a la UCI posquirúrgicos del Hospital Militar Central a quienes se les realizó evaluación de gases venosos y se les registró la SvO<sub>2</sub> por requerimiento del especialista, quien pudo hacer su solicitud para evaluar la función pulmonar, establecer la efectividad de procedimientos invasivos como intubación o ventilación mecánica, o realizar seguimientos del estado metabólico o de otras funciones fisiológicas. Los pacientes seleccionados son mayores de 21 años y fueron seleccionados sin tener en cuenta la patología, el sexo y la condición clínica de ingreso a la UCI posquirúrgica. Los registros de SvO<sub>2</sub> fueron consultados de la base de datos donde se encuentran los reportes clínicos de los pacientes que ingresan a la UCI postquirúrgica.

### Procedimiento

Este es un estudio observacional descriptivo, para cuya ejecución se contó con previa aprobación del Comité de Ética Institucional. Se tomaron todos los valores de la SvO<sub>2</sub> durante la estancia en la UCI posquirúrgica registrados. La frecuencia de realización del registro varía de acuerdo con el criterio del especialista, encontrando casos o momentos en los que se encontraban hasta 3 reportes diarios, así como otros en los que había un solo reporte cada 3 días. Estos valores fueron utilizados para generar un atractor caótico de la SvO<sub>2</sub> para cada paciente en el espacio de fase, que es una clase de atractor donde se simboliza gráficamente la dinámica de un sistema, estableciendo pares ordenados de valores sucesivos en el tiempo de una variable dinámica en un espacio de dos o más dimensiones. Seguidamente se establecieron los valores máximos y mínimos del atractor de la SvO<sub>2</sub> respecto al eje de las abscisas con el fin de establecer valores característicos de esta variable hemodinámica.

Dado el enfoque físico-matemático del estudio, no se consideró el análisis de variables de tipo poblacional, como sexo, factores de riesgo, patología específica o edad (excepto si es menor de 21 años), así como tampoco se consideró la razón de la realización del examen, pues el propósito del estudio es caracterizar el comportamiento matemático de la SvO<sub>2</sub>, estudiándola como una variable dinámica en el contexto de la teoría del caos.

## Resultados

El diagnóstico clínico se puede observar en la Tabla 1. Los valores de los atractores de la SvO<sub>2</sub> máximos y mínimos, expresados en mmHg variaron entre 22,10 y 93,70; para los fallecidos, estos valores variaron entre 22,10 y 92,00; mientras que para aquellos que fueron dados de alta vivos estos valores oscilaron entre 43, 10 y 93,70 como puede observarse en la Tabla

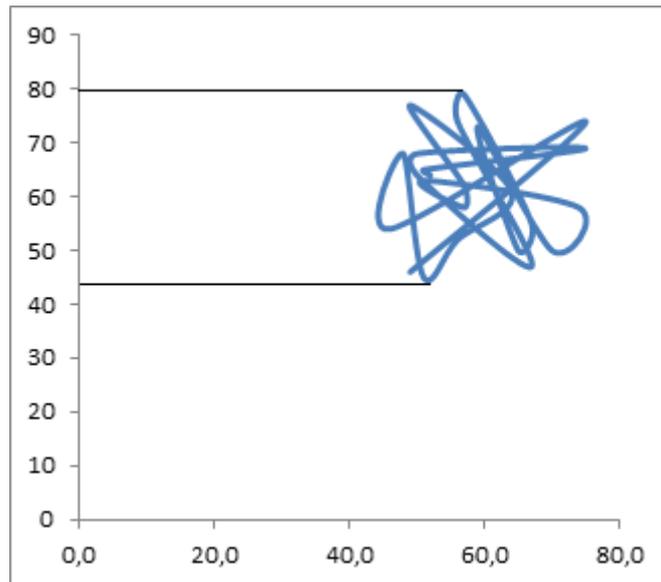
**Tabla 1.** Diagnóstico clínico de los pacientes provenientes de la UCI posquirúrgicos.

No	Edad	Sexo <sup>1</sup>	Diagnóstico
1	82	M	Sepsis de Origen pulmonar. 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; derrame pleural bilateral. Falla ventilatoria secundaria. EPOC exagerado anthonisen. Falla cardiaca fevi no conocida
2	79	F	Fibrilación y aleteo auricular
3	68	F	Hemorragia subcraoidea
4	86	M	Neumonía Post Reanimación. Ruidos cardiacos rítmicos; no soplos, ruidos hipoventilación basal bilateral, extremidades no endema adecuada perfusión distal. Síndrome de compresión medular.
5	70	F	Neumonía no especificada
6	86	M	Sepsis en tejidos blandos. enfermedad pulmonar crónica con exacerbación no especificada
7	83	M	Enfermedad de vesicula, no especificada
8	78	M	Trastorno de disco cervical con mielopatía. Neumonía asociada a ventilación mecánica resuelta. Dolor agudo somático y neuropatico 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. traquesotomía funcionante. Arritmia cardiaca persistente dada por la bradicardia severa; hipotensión severa.
9	70	M	Tumor maligno de las vías biliares extrahapatica. Sepsis severa. SDRA severo. Colangiocarcinoma estadio Bismuth 3A. Extabaquismo pesado. POP biopsia dirigida por ecografía de la vía biliar intrahepatica. Choque séptico x Gram negativo tipo ECOLI resuelto.
10	48	F	Accidente vascular encefálico agudo no especificado como hemorrágico.

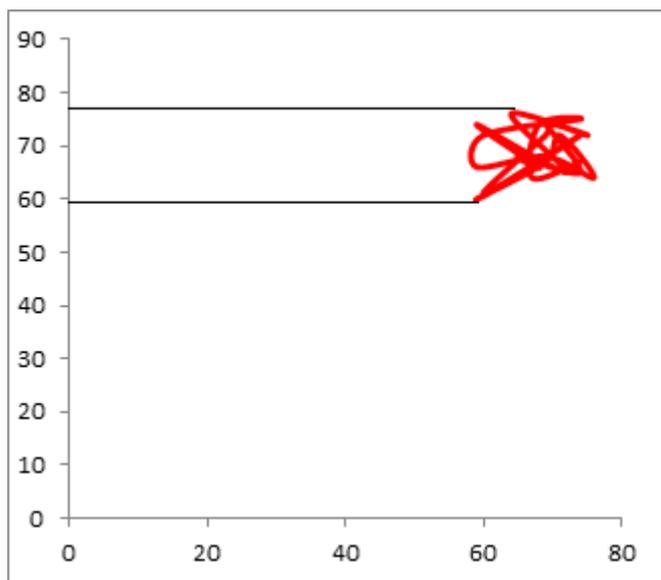
**Tabla 2.** Valores Max: máximo y Min: mínimo ocupados por los atractores de la SvO<sub>2</sub>, de pacientes provenientes de la UCI posquirúrgicos.

No	Min	Max	Egreso <sup>1</sup>
1	59,70	88,90	V
2	75,90	91,30	V
3	70,00	93,70	V
4	43,10	79,60	V
5	66,00	77,90	V
6	76,60	82,90	M
7	57,00	82,60	M
8	22,10	92,00	M
9	35,70	90,10	M
10	58,10	76,50	M

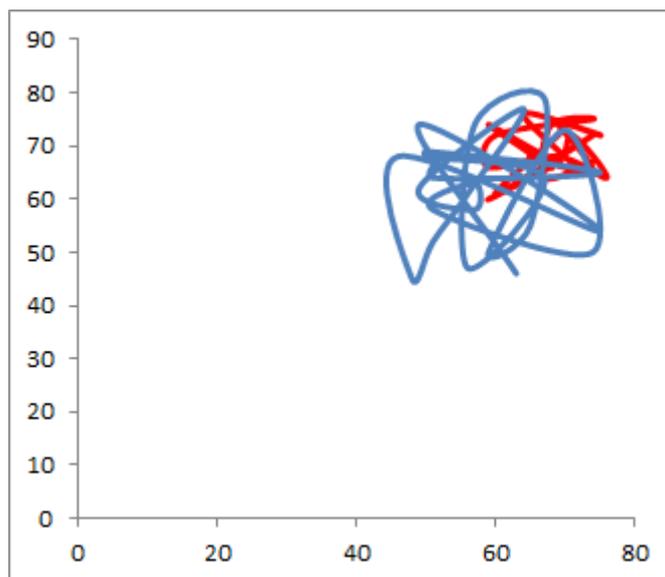
Egreso1: V: vivo; M: muerto.



**Fig. 1-** Atractor de SvO<sub>2</sub> de paciente 4, con egreso vivo de 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.



**Fig. 2-** Atractor de SvO<sub>2</sub> de paciente 10, con egreso muerto de 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.



**Fig. 3-** Superposición de los atractores de SvO<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 en el que se desarrolló una caracterización de la SvO<sub>2</sub> en pacientes de la UCI, fundamentado en la teoría de los sistemas dinámicos a partir del establecimiento de los valores máximos y mínimos del atractor (figuras 1-3). Este estudio propone nuevas posibilidades de optimizar la evaluación hemodinámica del paciente desde un análisis matemático de la dinámica de la SvO<sub>2</sub>, el cual podría ser analizado junto con otras variables hemodinámicas de interés clínico. En el futuro la presente metodología puede emplearse como un nuevo sistema de medida, con el cual se pueda hacer distinciones físicas y matemáticas más precisas que aporten en un seguimiento hemodinámico del paciente crítico en la UCI.

Dado que los cambios abruptos o irregulares en el tiempo nos son evaluados a simple vista desde sistemas métricos lineales, la metodología plantea una reinterpretación para el análisis del comportamiento de la SvO<sub>2</sub> desde una perspectiva físico matemática. La caracterización lograda a partir de los valores máximos y mínimos de los atractores de la SvO<sub>2</sub>, permitirían evaluar en el tiempo la evolución de esta variable a medida que el paciente tienda a desenlaces adversos o favorables, lo que sería un estudio posible de analizar en el futuro. Además, su estudio conjuntamente con otras variables hemodinámicas podría permitir la realización de predicciones de mortalidad.

Los planteamientos teóricos y matemáticos que fundamentan la presente metodología, han logrado evaluar de manera correcta la dinámica cardíaca, al entender su comportamiento como un sistema dinámico caótico predecible, generando nuevas metodologías diagnósticas de aplicación clínica. Metodologías que han hecho posible caracterizar las dinámicas cardíacas, normales, agudas y en evolución<sup>(17)</sup>, ya sea esta de adulto o neonatal<sup>(19)</sup>.

El análisis de la dinámica cardíaca desde este contexto, reveló que la configuración geométrica de los atractores cardíacos normales y enfermos, evaluados en el espacio generalizado de Box Counting, permite observar claramente a donde tiende el sistema cardíaco a medida que este va evolucionando a un estado de agudización, se encontró que el

atractor cardiaco va disminuyendo su tamaño <sup>(15)</sup>. Para la evaluación de la dinámica cardiaca neonatal antes de la manifestación clínica de sepsis, se observó que el atractor cardiaco neonatal normal se halla, de acuerdo a sus espacios de ocupación, en medio del atractor cardiaco neonatal evaluado seis horas antes del episodio de sepsis, el cual ocupa mayor espacio y tres horas antes el cual ocupa un menor espacio <sup>(19)</sup>.

Otras metodologías diagnósticas de aplicación clínica desarrolladas en este mismo contexto, como la fundamentada en la teoría la probabilidad y las proporciones de entropía, han evaluado comportamientos dinámicos cardiacos normales, con enfermedad crónica, enfermedad aguda y evolución entre estos estados <sup>(21)</sup>. La validación de su aplicación clínica, ha sido confirmada mediante una prueba diagnóstica cuya sensibilidad y especificidad fue del 100% y un coeficiente Kappa de uno, más aún la reproductibilidad de la metodología ha sido demostrada en estudios ciegos hechos en 450 y 600 registros Holter con diferentes patologías <sup>(21)</sup>. Cabe señalar que la aplicación de la metodología para el estudio de la dinámica cardiaca de pacientes de la Unidad de cuidados coronarios, ha logrado de manera cuantitativa evaluar la dinámica cardiaca consecutiva durante los días siguientes a intervenciones, independientemente de los parámetros diagnósticos utilizados actualmente, logrando detectar procesos de agudización subdiagnosticados <sup>(22)</sup>.

La teoría de los sistemas dinámicos y la cuantificación de diferentes objetos irregulares en el espacio generalizado de Box Counting, han contribuido en el desarrollo de nuevas metodologías aplicables en otros escenarios de la medicina, como son la morfometría arterial <sup>(23)</sup>, celular <sup>(24,25)</sup>. También, desde el planteamiento de otras teorías físicas y matemáticas se han desarrollado metodologías para el área de la inmunología <sup>(26)</sup>, epidemiología <sup>(27,28)</sup> y en infectología <sup>(29)</sup>.

### 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 la 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. Agradecemos al Centro de Investigaciones de la Clínica del Country, en especial a los Doctores Tito Tulio Roa, Jorge Alberto Ospina, Director Médico, Alfonso Correa, Subdirector de Educación e Investigación, y a la Doctora Carolina Gómez, Coordinadora de Educación Médica, por el apoyo a nuestro grupo. De igual manera agradecemos a las directivas de la Universidad Militar Nueva Granada y a la Facultad de Medicina por el apoyo dado a nuestras investigaciones.

### Referencias

1. Mandelbrot B. La geometría fractal de la naturaleza. Barcelona: Tusquets Editores, S.A; 1997. 680 p.
2. Mandelbrot B. ¿Cuánto mide la costa de Bretaña? In: Mandelbrot B. Los Objetos Fractales. Barcelona: Tusquets Editores. S.A; 2000. 27-50 p.
3. Devaney R. A first course in chaotic dynamical systems theory and experiments. New York: Addison-Wesley; 1992. 1-48 p.

4. Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. Limits and self similarity. In: Peitgen H, Jurgens H, Saupe D, editors. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. New York: Springer-Verlag; 1992. 135-82 p.
5. Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. Length, area and dimension. Measuring complexity and scaling properties. In: Peitgen H, Jurgens H, Saupe D, editors. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. New York, Springer-Verlag; 1992. 183-228 p.
6. Mandelbrot B. Árboles jerárquicos o de clasificación y la dimensión. In: Mandelbrot B. *Los Objetos Fractales*. Barcelona: Tusquets Editores. S.A; 2000. 161-6 p.
7. Espinoza A. El enfermo Grave. En: *Terapia Intensiva*. 2nd ed.. México DF: Macgraw-Hill Interamericana; 2005. 36-71 p.
8. Kress JP, Hall JB. Atención de enfermos en estado crítico. Principios de la atención de enfermos en estado crítico. En: Kasper DL, Braunwald E, Fauci AS, Hauser SL, Longo DL, Jameson L, et al. *Harrisons Principles of Internal Medicine*. 16th ed. Bogotá: McGraw-Hill; 2006. 8602-9 p.
9. Jiménez L, Montero FJ. *Medicina de urgencias y emergencias: guía diagnóstica y protocolos de actuación*. 3th Ed. Madrid: Elsevier; 2006.
10. Gómez D, Fernández G, Gutiérrez Á, Daza L, Fernández C, Manrique N. Cálculo de los contenidos arterial y venoso de oxígeno, de la diferencia arteriovenosa de oxígeno, tasa de extracción tisular de oxígeno y shunt intrapulmonar con unas nuevas fórmulas, basadas en la saturación de oxígeno. *Rev Fac Med*. 2000;48(2):67-76.
11. Figueredo Maldonado OL, González Delgado S. Morbimortalidad en la Unidad de Cuidados Intensivos. *Revista Médica Electrónica Portales Médicos [Internet]*. 2010 Jun [citado 5 Nov 2010];5(12):[aprox. 12 p.]. Disponible en: <http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/2313/1/Morbimortalidad-en-la-Unidad-de-Cuidados-Intensivos.html>.
12. Huikuri HV, Mäkikallio TH, Peng CK, Goldberger AL, Hintze U, Møller M. 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(1):47-53.
13. Goldberger A, Amaral L, Hausdorff JM, Ivanov P, Peng Ch, Stanley HE. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proc Natl Acad Sci*. 2002;99 Suppl 1:S2466-72.
14. Rodríguez J, Prieto S, Avilán N, Correa C, Bernal P, Ortiz L, et al. Nueva metodología física y matemática de evaluación del Holter. *Rev Col Cardiol*. 2008;15(2):50-4.
15. Rodríguez J. Mathematical law of chaotic cardiac dynamic: Predictions of clinic application. *J Med Med Sci*. 2011;2(8):1050-9.
16. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Domínguez D, Pardo J, Mendoza F, et al. Clinic application of a cardiac diagnostic method based on dynamic systems theory. *Res. J. Cardiol [Internet]*. 2017 [cited 2010 Nov 5];10(1):[aprox. 7 p.]. Available from: <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/rjc/2017/1-7.pdf>.
17. 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;4(2):79-84.
18. Rodríguez J, Narváz R, Prieto S, Correa C, Bernal P, Aguirre G, et al. The mathematical law of chaotic dynamics applied to cardiac arrhythmias. *J Med Med Sci*. 2013;4(7):291-300.
19. 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;5(5):102-8.
20. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Oliveros H, Soracipa Y. Diagnóstico matemático de dinámica cardiaca en 16 horas y evaluación de variables hemodinámicas de UCI. *Rev cuban*

- invest bioméd [Internet]. 2017 [citado 28 Nov 2019];36(4):[aprox. 18 p.]. Disponible en: <http://www.revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/65/60>.
21. Rodríguez J, Prieto S, Ramírez L. A novel heart rate attractor for the prediction of cardiovascular disease. *Informatics in Medicine Unlocked* [Internet]. 2019 [cited 28 Nov 2019];15:[aprox. 9 p.]. Available from: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S235291481930005X?token=72BEA4AE8D0247E1A371F3CB798B906B5990362EE66A58C27AEB3DF821E9860182AC6E4453DA48CADEB5D2573B3123BE>.
22. 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 Editora Latinoamericana; 2015. 247-64 p.
23. 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 Med Phys* [Internet]. 2010;10:[aprox. 6 p.]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2954867/>.
24. Rodríguez J, Sánchez M, Barrios F, Soracipa Y. Geometrical Evaluation of Cervical Cells. Fractal and Euclidean Diagnostic Methodology of Clinical Application. *Journal of Biosciences and Medicines* [Internet]. 2018;6(3):111-22. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/323852592\\_Geometrical\\_Evaluation\\_of\\_Cervical\\_Cells\\_Fractal\\_and\\_Euclidean\\_Diagnostic\\_Methodology\\_of\\_Clinical\\_Application/fulltext/5aa fbe0d0f7e9b4897c0c70c/Geometrical-Evaluation-of-Cervical-Cells-Fractal-and-Euclidean-Diagnostic-Methodology-of-Clinical-Application.pdf](https://www.researchgate.net/publication/323852592_Geometrical_Evaluation_of_Cervical_Cells_Fractal_and_Euclidean_Diagnostic_Methodology_of_Clinical_Application/fulltext/5aa fbe0d0f7e9b4897c0c70c/Geometrical-Evaluation-of-Cervical-Cells-Fractal-and-Euclidean-Diagnostic-Methodology-of-Clinical-Application.pdf).
25. Rodríguez J, Soracipa Y, Ovalle A, Castro M, Senejoa N, Quijano B, et al. Geometría fractal aplicada para comparar los espacios ocupados por eritrocitos normales y esferocitos. *Archivos de Medicina* [Internet]. 2018 [citado 28 Nov 2019];18(1):13-23. Disponible en: <http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/archivosmedicina/article/view/1835/31>
26. Rodríguez J, Bernal P, Prieto S, Correa C. Teoría de péptidos de alta unión de malaria al glóbulo rojo. Predicciones teóricas de nuevos péptidos de unión y mutaciones teóricas predictivas de aminoácidos críticos. *Inmunología*. 2010; 29(1):7-19.
27. Rodríguez J. Método para la predicción de la dinámica temporal de la malaria en los municipios de Colombia. *Rev Panam Salud Pública*. 2010;27(3):211-8.
28. Rodríguez J, Prieto S, Correa S, Pérez C, Soracipa Y. Dinámica de la epidemia de malaria en Colombia: Predicción probabilística temporal. *Rev Salud Pública*. 2017;19(1):52– 9.
29. 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 Med Phys* [Internet]. 2013 [cited 28 Nov 2019];13:[aprox. 6 p.]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3847222/pdf/1756-6649-13-3.pdf>.

### Consideraciones éticas

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Hospital Militar Central, en el acta No. 19696 del 13 de julio de 2015.

### Declaración de autoría

María Laura Aragón Daza:	Análisis matemático y físico de los resultados, diseño el primer borrador del artículo.
Javier Oswaldo Rodríguez Velásquez	Creador de la metodología y coordinador de la investigación.
Signed Esperanza Prieto Bohórquez	Generó los atractores y realizó los respectivos análisis matemáticos.
Sandra Catalina Correa Herrera	Revisó y aprobó la versión final del artículo.
Henry Oliveros Rodríguez	Suministró los datos de la SvO <sub>2</sub> de la base de datos de la Unidad de Cuidados Intensivos posquirúrgicos del Hospital Militar Central. Revisó y aprobó la versión final del artículo.
María Yolanda Soracipa Muñoz	Generó los atractores y realizó los respectivos análisis matemáticos.
Luis Eduardo Bermúdez Narváez	Análisis clínico de los resultados
Juan Mauricio Pardo Oviedo	Análisis clínico de los resultados, reviso la versión final del manuscrito.
Juan Carlos Rubio Martínez	
Liliana Astrid Ortiz Salamanca	Sistematizó los resultados matemáticos de los atractores generados.