

Simulaciones predictivas de la dinámica del índice COP-D en la población colombiana a partir de la caminata al azar probabilista

Predictive simulations of the dynamics of the COP-D index in the colombian population from probabilistic random walk

Javier Oswaldo Rodríguez Velásquez^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-4585-3010>

María Alejandra González Bernal² <https://orcid.org/0000-0002-6299-2135>

Adíela Ruiz Gómez² <https://orcid.org/0000-0003-2011-2555>

Signed Esperanza Prieto Bohorquez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7896-231X>

Sandra Catalina Correa Herrera¹ <https://orcid.org/0000-0003-4998-1228>

¹Asociación Colombiana de Neurocirugía. Bogotá, Colombia.

²Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá, Colombia.

* Autor para la correspondencia: grupoinight2025@yahoo.es

RESUMEN

Introducción: Los estudios epidemiológicos de caries dentales en Colombia han sido realizados con un gran lapso de tiempo entre ellos, lo que dificulta predecir su dinámica y afecta la planificación adecuada de políticas públicas en salud oral.

Objetivos: Simular predictivamente el índice de dientes cariados, obturados y perdidos en Colombia.

Métodos: Se analizaron los índices de caries dentales reportados por los estudios nacionales de Salud Bucal I, II y III a partir de simulaciones de la dinámica en el intervalo 1965-1997 en analogía con una caminata al azar probabilista. Se estableció una predicción en el año 1998 para determinar la capacidad del método y prever la dinámica. Posteriormente se generaron tres simulaciones predictivas de posibles trayectorias de la dinámica al año 2015.

Resultados: Se determinó una predicción del índice para el año 1998 de 10,34 que corresponde a un 99,61 % de acierto respecto al valor real reportado en el Estudio Nacional de Salud Bucal III. Las simulaciones de dicha dinámica a 2015 presentaron valores entre 6,69 y 7,35; estos concuerdan con las disminuciones observadas en los estudios previos.

Conclusiones: A partir de la caminata al azar probabilística se determinaron órdenes matemáticos con los cuales se predijo el índice de caries dentales. Se constituye como un método útil para la toma de decisiones en la salud pública.

Palabras clave: simulación; caries dental; probabilidad.

ABSTRACT

Introduction: Epidemiological studies of dental caries in Colombia have been carried out with a large time lag between them, which makes it difficult to predict their dynamics and affects the adequate planning of public policies in oral health.

Objectives: To simulate predictively the index of decayed, filled and missing teeth in Colombia.

Methods: The dental caries rates reported by the national studies of Oral Health I, II and III were analyzed from simulations of the dynamics in the interval 1965-1997 in analogy with a probabilistic random walk. A prediction was established in 1998 to determine the capability of the method and to forecast the dynamics. Subsequently, three predictive simulations of possible trajectories of the dynamics in 2015 were generated.

Results: A prediction of the index for the year 1998 of 10.34 was determined, which corresponds to a 99.61 % accuracy with respect to the real value reported in the National Oral Health Study III. The simulations of said dynamics to 2015 presented values between 6.69 and 7.35; these are in agreement with the decreases observed in previous studies.

Conclusions: From the probabilistic random walk, mathematical orders were determined with which the dental caries index was predicted. It is a useful method for decision making in public health.

Keywords: simulation; dental caries; probability.

Recibido: 01/04/2021

Aceptado: 20/05/2022

Introducción

La teoría de la probabilidad es una teoría matemática utilizada para analizar la dinámica de fenómenos no deterministas en ciencias como la biología, la economía o la medicina. Se caracteriza por ser un cálculo adimensional de la posible ocurrencia de un evento.⁽¹⁾ Esta posibilidad, dentro de un experimento con múltiples eventos probables, es el cociente entre el número de veces que acontece el evento evaluado y el total de repeticiones del experimento. Por ejemplo, al tirar un dado, la probabilidad para cada cara es 1/6 en cada lanzamiento.⁽¹⁾ El grupo de todos los probables resultados en un ejemplo específico se define como espacio de probabilidades.

La caminata al azar probabilística, definida por *Norbert Wiener*, hace referencia a un modelo hipotético que permite demostrar y caracterizar un cambio probable al acotar su dinámica y hallar valores numéricos que amplían la posibilidad de predecir entre ciertos rangos el avance y evolución de su dinámica.⁽²⁾ Este modelo se ha empleado en áreas como la física teórica y aplicada, la biología y la economía.^(3,4,6,7,8,9)

Recientemente se ha estudiado el comportamiento anual del número de infectados de malaria y dengue en Colombia a partir de la analogía con la caminata aleatoria. Para ello se han desarrollado metodologías en el contexto de la física y la matemática que establecen órdenes matemáticos acausales para predecir el fenómeno.^(10,11,12) De esta manera, se logró predecir la dinámica del dengue y la malaria en Colombia y se establecieron para ambos casos predicciones superiores al 90 %.^(10,11)

La caries es un proceso complejo que afecta los tejidos dentales por la pérdida de minerales de la superficie dental y puede progresar hasta generar una cavidad extensa con dentina visible.⁽¹³⁾ Su progresión en el mundo ha sido continua desde la aparición de la urbanización e industrialización y se considera un problema de salud pública que empeora con la inaccesibilidad a los servicios de salud.^(14,15) En la década de los sesenta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó que era importante contar con los índices y tendencias de la enfermedad para establecer programas de salud bucal a nivel mundial; no obstante, la distribución heterogénea de esta epidemia dificulta su estudio y da lugar a diferentes abordajes como lo sugieren *Duque y Mora*.⁽¹⁴⁾

La OMS ha reportado que las enfermedades bucales son prioridad en la salud pública debido a su impacto negativo en el rendimiento y la estabilidad emocional de las personas.⁽¹⁵⁾ Esta enfermedad tiene una prevalencia a nivel mundial de 2 301 999,2 según estadísticas de 2017 y es especial su incidencia en Latinoamérica.^(16,17)

En Colombia se han realizado cuatro estudios de salud bucal: el primero se realizó entre 1965 y 1966; el segundo, Estudio de Morbilidad Oral, se adelantó entre 1977 y 1980; el tercero, Estudio Nacional de Salud Bucal (ENSAB III), se realizó en 1998;⁽¹⁸⁾ y el cuarto, Estudio Nacional de Salud Bucal (ENSAB IV), en los años 2013-2014.⁽¹⁹⁾ De acuerdo con el primer y segundo estudio, la OMS identificó la caries dental como un problema de salud pública en Colombia por su alto índice de cariado, obturado y perdido por caries por diente (COP-D). Aunque estos resultados han sido fundamentales para la toma de decisiones y la planeación de políticas de salud pública, dificultan la evaluación efectiva de mecanismos y programas de control, así como una proyección de la dinámica a futuro porque se trata de resultados aislados en el tiempo. Por tanto, es necesario desarrollar métodos que permitan un seguimiento más detallado en los lapsos de tiempo no evaluados y procedimientos que permitan predecir su evolución.

Hay estudios posteriores al 2000 que han puesto en práctica el sistema internacional de valoración de caries; sin embargo, los estudios nacionales utilizaron el índice de COP-D. El propósito del presente trabajo fue simular predictivamente el índice de COP-D en la población colombiana a partir de la metodología fundamentada en la caminata al azar probabilista, con el fin de contribuir al seguimiento eficaz de este problema de salud pública.

Métodos

Las longitudes de todas las variaciones por año se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$L = \sqrt{(X_0 - X_0)^2 + (Y_1 + Y_0)^2}$$

Los valores de y corresponden al índice COP-D anual de caries en Colombia y el valor de la variación del eje x adquiere un valor igual a cero. x_0, y_0 son las coordenadas para el año inicial y x_1, y_1 son las coordenadas para el año siguiente.

En el espacio de probabilidad, cada variación anual de la longitud L representa un evento. Para la obtención de la probabilidad de cada longitud de una variación anual se utiliza la ecuación 2, que consiste en la razón entre la longitud de dicha variación y la suma del total de las longitudes:

$$P(L) = \frac{\text{Longitud variación anual}}{\text{Total longitudes}} = \frac{L}{TL}$$

La probabilidad del índice COP-D se define como la división entre el índice COP-D para cada año y la sumatoria de la totalidad del índice COP-D evaluadas:

$$P(N) = \frac{\text{Prevalencia de Caries}}{\text{Total}}$$

La desviación media cuadrática permite determinar si existe una carga de la probabilidad y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P(R_n) = \frac{\text{Prevalencia de Caries}}{\text{Total}} \pm \frac{1}{2\sqrt{N}}$$

Donde N es el número de eventos del espacio muestral.

La ecuación cuadrática predictiva en función de y tiene como resultado dos valores predictivos, que delimitan un rango dentro del cual se halla el valor predictivo final.

$$Y_{(\text{Predictivo})} = \frac{2Y_{(\text{Inicial})} \pm \sqrt{(-2Y_{(\text{Inicial})})^2 - 4 \{Y_{(\text{Inicial})}^2 + (X_f - X_{(\text{Inicial})})^2 - [(P_{(L)})^2 \times (TL)^2] \}}{2}$$

Donde $P(L)$ corresponde al promedio aritmético de la probabilidad para los 3 últimos periodos y TL representa la sumatoria de las 3 proporciones de cada variación anual con

respecto a la longitud mínima hallada en el espacio de probabilidad construido a partir de valores de los tres últimos años.

Inicialmente se tomaron como puntos de base para la simulación de la dinámica, los datos del índice COP-D de los cuatro estudios nacionales de salud bucal de Colombia. Las simulaciones se realizaron con la forma de una caminata al azar, establecida a partir de los valores de cada uno de los años estudiados. Se escogió la caminata al azar por el comportamiento matemático de carga de las probabilidades, lo que permitió obtener valores cercanos o dentro de los rangos del año inicial y el año final.

Se partió del estudio de la dinámica del índice COP-D en Colombia como una caminata al azar basada en una metodología desarrollada previamente.⁽¹⁰⁾ Con la ecuación 1 se establecieron las longitudes de todas las variaciones por año y para obtener la probabilidad de cada longitud de la variación anual se utilizó la ecuación 2. A partir del valor obtenido y teniendo como referencia la longitud mínima encontrada, se halló la proporción de cada variación anual.

Se calculó la probabilidad del índice COP-D para cada año y la desviación media cuadrática. Posteriormente, se construyó un espacio de probabilidad que cuantificó los últimos tres valores consecutivos de las longitudes halladas con el fin de delimitar la dinámica del índice COP-D. Después se calculó el promedio aritmético de estos tres valores como el valor de probabilidad para la longitud en el periodo escogido y predecir el índice COP-D. Finalmente, se reemplazó este valor en la ecuación 1 y se obtuvo una ecuación cuadrática en función de y (ecuación 5) que tuvo como resultado los dos valores predictivos esperados.

Con el fin de seleccionar el valor predictivo más probable dentro del rango establecido, se calculó el promedio entre los dos valores predichos y se construyó un espacio de probabilidad que permitió estudiar los aumentos o mantenimientos del índice COP-D de tres años consecutivos.

Con el procedimiento anteriormente descrito, se logró predecir el índice COP-D de los tres últimos estudios de salud bucal en Colombia y se contrastó con los valores reales que fueron tomados como base para corroborar la utilidad del método. Finalmente, se realizó el mismo procedimiento a partir de simulaciones predictivas de la trayectoria del índice COP-D en Colombia para el año 2015.

Resultados

Para el período de 1966 a 1997, los valores del índice COP-D anual se hallaron entre 10,5 y 15, con longitudes entre 0,001 y 0,896 y probabilidades entre 0 y 0,102. Por su parte, la probabilidad del índice COP-D de caries en Colombia varió entre 0,024 a 0,036 y la desviación media cuadrática osciló entre 0,0005 a 0,060. La diferencia entre los valores de la desviación media cuadrática mostró que el comportamiento de la dinámica no es equiprobable, sino que presenta un cargamento que permite el establecimiento de predicciones (tabla 1).

Tabla 1- Valores del índice de COP-D en Colombia entre 1966 a 1997

Año	Valor	L	P(L)	P(N)	DM C+	DM C-	DM C+ P	DMC - P
1966	15,4							
1967	15,4	0	0	0,036	0,060	0,011	0,024	0,024
1968	15,262	0,137	0,014	0,036	0,060	0,011	0,024	0,024
1969	15,246	0,016	0,001	0,036	0,060	0,011	0,024	0,024
1970	14,751	0,494	0,052	0,035	0,059	0,010	0,024	0,024
1971	14,593	0,157	0,016	0,034	0,058	0,009	0,024	0,024
1972	14,553	0,040	0,004	0,034	0,058	0,009	0,024	0,024
1973	14,204	0,349	0,037	0,033	0,057	0,009	0,024	0,024
1974	13,579	0,624	0,066	0,032	0,056	0,007	0,024	0,024
1975	12,682	0,896	0,095	0,030	0,054	0,005	0,024	0,024
1976	12,684	0,001	0,000	0,030	0,054	0,005	0,024	0,024
1977	12,7	0,015	0,001	0,030	0,054	0,005	0,024	0,024
1978	12,7	0	0	0,030	0,054	0,005	0,024	0,024
1979	12,7	0	0	0,030	0,054	0,005	0,024	0,024
1980	12,7	0	0	0,030	0,054	0,005	0,024	0,024
1981	13,064	0,364	0,038	0,031	0,055	0,006	0,024	0,024
1982	13,535	0,471	0,050	0,032	0,056	0,007	0,024	0,024
1983	14,018	0,483	0,051	0,033	0,057	0,008	0,024	0,024
1984	14,487	0,468	0,049	0,034	0,058	0,009	0,024	0,024
1985	14,646	0,158	0,016	0,034	0,058	0,010	0,024	0,024

1986	14,199	0,446	0,047	0,033	0,057	0,009	0,024	0,024
1987	13,739	0,460	0,048	0,032	0,056	0,008	0,024	0,024
1988	12,777	0,961	0,102	0,029	0,054	0,005	0,024	0,024
1989	12,742	0,035	0,003	0,029	0,053	0,005	0,024	0,024
1990	12,364	0,377	0,040	0,028	0,053	0,004	0,024	0,024
1991	12,579	0,215	0,022	0,029	0,053	0,005	0,024	0,024
1992	12,692	0,113	0,012	0,029	0,053	0,005	0,024	0,024
1993	12,438	0,253	0,027	0,029	0,053	0,004	0,024	0,024
1994	12,065	0,373	0,039	0,028	0,052	0,004	0,024	0,024
1995	11,582	0,482	0,051	0,027	0,051	0,002	0,024	0,024
1996	10,887	0,694	0,073	0,025	0,049	0,001	0,024	0,024
1997	10,583	0,304	0,032	0,024	0,048	0,000	0,024	0,024

L: longitud de la variación anual del índice COP-d; P(L): longitud probabilista de la variación anual del índice COP-d; \pm DMC: desviación media cuadrática.

Basados en la probabilidad de los últimos tres años y la aplicación de la ecuación 5, se determinaron dos pronósticos para el índice COP-D de caries en 1998: 10,09 a 11,08. Para calcular la predicción exacta a partir de este rango, se realizaron los análisis descritos en la metodología y se alcanzaron los siguientes resultados: durante la cuantificación de aumentos (A) y disminuciones (D) en dos años consecutivos, los aumentos fueron más probables durante el período de 1966 a 1997 (A=17, D=9). Además la probabilidad más alta correspondió a los aumentos de 1 y 5 años consecutivos, con una probabilidad de 0,384 mientras que fue de 0 con respecto a las disminuciones en la misma cantidad de años.

El análisis probabilista de aumentos y disminuciones en tres años consecutivos evidenció que la secuencia más probable fue DDD con una probabilidad de 0,52; mas no se presentaron combinaciones DAD ni ADA. Al contrastar estos resultados con los dos años anteriores al año a predecir, se presentaron dos disminuciones consecutivas; de este modo, el resultado más probable sería D. De esta manera se previó que para el año 1998 el índice sería de 10,34; esta cifra posteriormente fue corroborada con el porcentaje reportado por el ENSAB III, 10,3 %. Se obtuvo así una predicción cercana al valor real en un 99,61 %.

Posteriormente, se hizo una simulación del índice COP-D de caries para el año 2015 a partir del último valor real el reportado en 1998 (tabla 2). Teniendo en cuenta la combinación de A y D en el período de tiempo anterior, se aplicó el mismo procedimiento

para graficar tres simulaciones y se generaron datos hasta el año 2015 (fig. 1) y sus valores fueron 6,692; 7,356 y 7,254 (tabla 2).

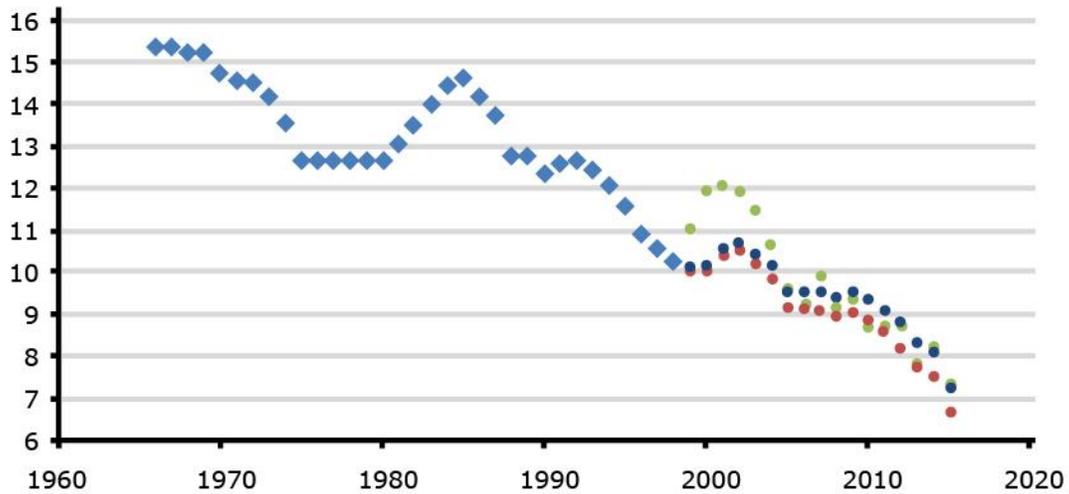


Fig 1- Comportamiento del índice COP-d con las tres simulaciones desde 1999 hasta 2015
Naranja: simulación 1; morado: simulación 2 y verde simulación 3.

Tabla 2- Valores del índice COP-D para los años 1999-2015 según las 3 simulaciones realizadas

Año	Valores de simulación		
	1	2	3
1999	10,131	11,058	10,182
2000	10,066	11,982	10,178
2001	10,402	12,042	10,589
2002	10,516	11,945	10,748
2003	10,195	11,504	10,452
2004	9,865	10,670	10,207
2005	9,174	9,603	9,534
2006	9,149	9,289	9,555
2007	9,122	9,911	9,574
2008	8,976	9,158	9,431
2009	9,056	9,332	9,525
2010	8,875	8,679	9,401
2011	8,609	8,765	9,128
2012	8,230	8,730	8,809
2013	7,736	7,857	8,324

2014	7,520	8,266	8,141
2015	6,692	7,356	7,254

Discusión

Este es el primer trabajo que permite apreciar la dinámica temporal del índice COP-D en Colombia lo cual puede orientar la toma de decisiones en la salud pública al evaluar la eficacia de las medidas para controlar las caries.

La metodología^(10,11) de esta investigación hizo una analogía entre la prevalencia de caries y la caminata al azar. Simuló su trayectoria y la transformó en longitudes probabilistas para predecir el índice COP-D de caries en Colombia y de otras variables relacionadas al cuidado dental en diferentes años.

Para aplicar esta metodología, la dinámica estudiada debe cumplir con los axiomas de la probabilidad, la función de la recta y tener información de las variaciones en los intervalos temporales constantes; y a la vez asociar los valores de la probabilidad y las rectas para obtener una predicción dinámica probabilística, o sea, una nueva recta.^(10,11)

La OMS determinó que Colombia era un país con alto índice de caries por el COP-D de 4,8 a los 12 años; este resultado se compara con el indicador mundial de salud bucodental establecido para el año 2000: COP-D de 3,0 a los 12 años. En el ENSAB III, se estudió una muestra representativa de 6 336 personas entre 12 y 69 años; para la encuesta de representaciones, conocimientos y prácticas se trabajó con 4 400 niños de 5, 6, 7 y 12 años y el examen clínico de morbilidad bucal se le realizó a 8 448 adultos entre 15 y 44 años y de 55 a 74 años. A través de herramientas estadísticas se pudo inferir la situación de salud bucal de la población.⁽¹⁸⁾

Los resultados señalan que el índice COP-D se ha reducido al pasar de 2,3 a 1,51 dientes afectados a la edad de 12 años; sin embargo, la experiencia de caries se ha incrementado en todos los grupos de edad.⁽¹⁵⁾ Este índice no incluye estadios tempranos de caries, y el aumento en el índice se debe al número de dientes perdidos más que obturados, lo que denota limitaciones en la gestión para la atención.⁽¹⁵⁾ Estas cifras indican la importancia de tener medidas precisas del fenómeno para realizar intervenciones más efectivas a nivel de salud pública.

Basados en una analogía con la caminata al azar, se han obtenido múltiples predicciones de epidemias estudiadas desde un punto de vista acausal. Dentro de estas nuevas investigaciones, se halla el estudio de la dinámica provisional del dengue en Colombia para el 2007 que se analizó a partir de la dinámica geométrica de la cantidad de casos reportados entre los años 1960 y 2006. Se predijeron los valores de posibles infectados en el año 2007 y la precisión fue de 90,4 %.⁽¹⁰⁾ Este mismo método fue utilizado para prever la dinámica de la malaria en Colombia y se logró un 95,6 % de acierto.⁽¹¹⁾ Asimismo se han obtenido pronósticos del comportamiento de la obesidad y el sobrepeso infantil en varios países como Colombia y México.⁽¹²⁾

La perspectiva fisicomatemática acausal de este trabajo también se ha usado para el desarrollo de metodologías diagnósticas en diferentes áreas de la medicina. Por ejemplo, en Infectología se puede predecir la cantidad de linfocitos TCD4⁺ en pacientes con VIH a partir del hemograma.⁽¹⁹⁾ En Cardiología se hacen valoraciones basadas en una ley caótica exponencial,⁽²⁰⁾ e igualmente en Morfometría se realizan diagnósticos fractales y euclidianos de células de la citología cervical.⁽²¹⁾ También se han podido realizar predicciones de epidemias mediante la teoría de la probabilidad y de mortalidad en la Unidad de Cuidados Intensivos.^(22,23)

Agradecimientos

Agradecemos a los Doctores Eva Prada, Directora de la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Bogotá; Leonardo Galindo, Director Nacional de Investigación; Andrés Mena, Director de Investigaciones Sede Bogotá y a María José Villalobos Castro, Decana de la Facultad de Odontología.

Extendemos nuestros agradecimientos a la Asociación Colombiana de Neurocirugía, en especial al doctor Marco Fonseca, su Presidente, y al doctor Germán Forero, Director de Investigaciones.

Referencias bibliográficas

1. Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Probabilidad. En: Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Física. Wilmington, EE.UU: Addison-Wesley Iberoamericana; 1964. p.1-16.
2. Wiener N. Nonlinear problems in random theory. Cambridge: Technology Press; 1958.
3. DelSole T, Tippett MK. Forecast comparison based on random walks. *Mont Weather Rew.* 2016;144(2):615-26. DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0218.1>
4. Nava JM, Hatzikirou H, Klages R, Deutsh A. Cellular automaton models for time-correlated random walks: derivation and analysis. *Sci Rep.* 2017;7(1):16952. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17317-x>
5. Benito J, Karayiannis N, Laso M. Confined polymers as self-avoiding random walks on restricted lattices. *Polymers.* 2018;10(12):1394. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym10121394>
6. Holzwarth U, Jiménez IO, Calzolari L. A random walk approach to estimate the confinement of α -particle emitters in nanoparticles for targeted radionuclide therapy. *EJNMMI Radiopharm Chem.* 2018;3(1):9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41181-018-0042-3>
7. Masuda N, Porter MA, Lambiotte R. Random walks and diffusion on networks. *Physics Rep.* 2017;716-717:1-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2017.07.007>
8. Gori M, Donato I, Floriani E, Nardecchia I, Pettini M. Random walk of passive tracers among randomly moving obstacles. *Theor Biol Med Model.* 2016;13:13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12976-016-0038-1>
9. Roy S. Testing random walk and market efficiency: a cross-stock market analysis. *Foreign Trade Rev.* 2018;53(4):225-38. DOI: <https://doi.org/10.1177/0015732518797183>
10. Rodríguez J, Correa C. Predicción temporal de la epidemia de dengue en Colombia: dinámica probabilista de la epidemia. *Rev. Salud pública.* 2009 [acceso 12/01/2021];11(3):443-53. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42217846013>
11. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Pérez C, Soracipa M. Dinámica de la epidemia de malaria en Colombia: predicción probabilística temporal. 2017. DOI: <https://doi.org/10.15446/RSAP.V19N1.48203>
12. Rodríguez J, Prieto S, Fajardo E, Correa C, López F, Castro J, *et al.* Predicción de la dinámica temporal de egresos hospitalarios por obesidad en niños y jóvenes en Estados

Unidos. Rev Chil Nutr 2015;42(4):345-50. DOI: <http://doi.org/10.4067/S0717-75182015000400004>

13. International caries detection and assessment system coordinating committee. Criteria manual international caries detection and assessment system (ICDAS II). 2011 [acceso 12/01/2021]. Disponible en:

<https://www.sdpt.net/ICDAS/pdf/ICDAS%20II%20criteria%20document%20September%2010%202211.pdf>

14. Duque C, Mora II. La representación de la epidemiología de la caries en el mundo a través de mapas. Univ Odontol. 2012 [acceso 12/01/2021];31(66):41-50. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revUnivOdontologica/article/view/2710>

15. Suárez E, Velosa J. Comportamiento epidemiológico de la caries dental en Colombia. Univ Odontol. 2013 [acceso 12/01/2021];32(68):117-124. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revUnivOdontologica/article/view/SICI%3A%202027-3444%28201301%2932%3A68%3C117%3ACECDEC%3E2.0.CO%3B2-O>

16. GBD 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. Lancet. 2018;392(10159):1789-1858. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32279-7)

17. World Health Organization. Oral Health. 2020 [acceso 12/01/2021]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/oral-health>

18. Ministerio de Salud. IV Estudio Nacional de Salud Bucal. Bogotá, Colombia; 2014 [acceso 12/01/2021]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENSAB-IV-Situacion-Bucal-Actual.pdf>

19. Rodríguez J, Prieto S, Pérez C, Correa C, Soracipa Y, Jattin J, *et al.* Predicción temporal de CD4+ en 80 pacientes con manejo antirretroviral a partir de valores de leucocitos. Infectio. 2020;24(2):103-7. Disponible en: <https://doi.org/10.22354/in.v24i2.841>

20. Rodríguez J, Ramírez LJ, Puerta GA. Analysis of acute heart dynamics in intensive care unit based on dynamic systems. Inform Med Unlocked. 2020;19:100333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100333>
21. Rodríguez JO, Prieto SE, Ramírez LJ. Células cervicales de citología evaluadas por un nuevo método de diagnóstico: cuantificaciones de la aplicabilidad clínica. Gac Med Bilbao. 2020 [acceso 12/01/2021];117:21-27. Disponible en: <http://www.gacetamedicabilbao.eus/index.php/gacetamedicabilbao/article/view/732/741>
22. Rodríguez J. Spatio-temporal probabilistic prediction of appearance and duration of malaria outbreak in municipalities of Colombia. J Phys: Conf Ser. 2019;1160:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1160/1/012018>
23. Rodríguez J. Dynamical systems applied to dynamic variables of patients from the Intensive Care Unit (ICU). Physical and mathematical Mortality predictions on ICU. J Med Sci. 2015;6(8):209-20. DOI: <http://doi.org/10.14303/jmms.2015.115>

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, investigación, metodología, supervisión, validación: Javier Rodríguez-Velásquez.

Curación de contenidos y datos, análisis formal de los datos, metodología, administración del proyecto, software, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición: Catalina Correa.

Análisis formal de los datos, metodología, software, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición: Signed Prieto.

Adquisición de los fondos, investigación, recursos materiales: María Alejandra González-Bernal.

Adquisición de los fondos, investigación, recursos materiales: Adíela Ruiz Gómez.

Financiación

Este resultado es producto del proyecto INV 2288 financiado por la Universidad Cooperativa de Colombia.