

Predicción del índice de mortalidad por enfermedad cardiovascular mediante la caminata al azar probabilista

Predicting the mortality rate from cardiovascular disease by probabilistic randomization

Javier O. Rodríguez-Velásquez, Ediltrudis Ramos de la Cruz, Jairo J. Jattin-Balcázar, Jorge Gómez-Rojas y Ribká Soracipa-Muñoz

Recibido 24 octubre 2021 / Enviado para modificación 13 junio 2022 / Aceptado 24 agosto 2022

RESUMEN

Objetivo Los indicadores de salud pública, como el índice de mortalidad por enfermedad cardiovascular, son una herramienta para evaluar la magnitud de los problemas de salud de la población. Por ende, es necesario generar estrategias que permitan predecir su comportamiento para evaluar el cumplimiento de los objetivos y programas en salud pública. En este contexto, se propuso aplicar una metodología basada en la caminata al azar probabilista y una ecuación de segundo grado para predecir el índice de mortalidad cardiovascular en el departamento del Magdalena.

Métodos Se tomaron valores de los índices de mortalidad por enfermedad cardiovascular del departamento del Magdalena a partir de los registros históricos reportados por el Instituto Nacional de Salud entre 1998 y 2011. Posteriormente, se determinó que el comportamiento de esta variable fuera compatible con la caminata al azar para establecer espacios de probabilidad y una ecuación de segundo grado con la se predijo el valor de este índice para el 2011 con el propósito de verificar la eficacia del método.

Resultados El resultado predicho de la variable fue de 93,2. Al compararlo con el valor real reportado de 91,1, se observa que el método presenta una precisión predictiva del 98%.

Conclusiones Es posible predecir con alta precisión el comportamiento de indicadores en salud pública utilizando métodos fisicomatemáticos. Esto resulta de utilidad para las entidades de vigilancia epidemiológica, ya que permite evaluar la eficacia de las intervenciones poblacionales en salud pública.

Palabras Clave: Probabilidad; salud pública; predicción (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective Public health indicators, such as the mortality rate from cardiovascular disease, indicate the magnitude of the population's health problems, which is why it is necessary to generate strategies that allow predicting their behavior to evaluate the fulfillment of the objectives and programs in public health. Thus, it was proposed to apply a methodology based on the probabilistic random walk and a second-degree equation to predict the cardiovascular mortality rate in the department of Magdalena.

Method Values of the mortality rates due to cardiovascular disease in the department of Magdalena were obtained from the historical records reported by the National Institute of Health between 1998 and 2011. Subsequently, it was observed that the behavior of this variable was compatible with walking randomly to later establish probability spaces and a second-degree equation with which the value of this index was predicted for 2011 in order to verify the effectiveness of the method.

Results The predicted result of the variable was 93.2, when compared with the real value reported of 91.1, it indicates that the method has a 98 % predictive precision.

Conclusions It is possible to predict with high precision the behavior of indicators in public health using physical-mathematical methods, which is useful for epidemiological surveillance entities to verify the efficacy of population-based interventions in public health.

JR: MD. Grupo Insight. Insight Research Group SAS. Bogotá, Colombia.
grupoinight2025@gmail.com
ER: Enf. Ph.D. Enfermería. Universidad del Magdalena. Bogotá, Colombia.
eramos@unimagdalena.edu.co
JJ: MD. Esp. Docencia Universitaria. Grupo Insight. Insight Research Group SAS. Bogotá, Colombia.
investigacion.insight@gmail.com
JG: Ing. Electrónico. Ph.D. Ingeniería. Universidad del Magdalena. Bogotá, Colombia.
jgomez@unimagdalena.edu.co
RS: Lic. Física. Grupo Insight. Insight Research Group SAS., Bogotá, Colombia.
investigaciones.insight@gmail.com

Key Words: Probability; public health; prediction (*source; MeSH, NLM*).

La probabilidad es definida como una medida adimensional de la posibilidad de que un suceso ocurra en el futuro (1-4). Al conjunto de todos los posibles sucesos evaluados con las probabilidades en un experimento en particular, se denomina espacio de probabilidades. La frecuencia relativa de un suceso dentro de un experimento que presenta varios sucesos posibles resulta del cociente entre la cantidad de veces que se presenta el suceso sobre la totalidad de repeticiones del experimento. Por ejemplo, el valor de probabilidad del lanzamiento de un dado tiene una frecuencia relativa para cada una de sus caras de 1/6 (4).

A partir de estas nociones de la probabilidad y otras consideraciones fisicomatemáticas, Wiener desarrolló un modelo teórico probabilista que simboliza las caminatas aleatorias (5). La base teórica de este modelo de caminata al azar permite analizar varios sucesos que comparten un comportamiento aparentemente irregular y complejo a lo largo del tiempo (2,4) para establecer la evolución de su trayectoria particular. Esto es posible además por el análisis la desviación media cuadrática, pues esta indica si el conjunto de probabilidades calculadas en un espacio muestral es equiprobable o si por el contrario tiene un cargamiento que permita obtener predicciones. Un caso prototípico de caminata al azar es aquel que se asocia a la probabilidad de un desplazamiento en una dirección determinada, como resulta con la asignación de un desplazamiento hacia arriba o abajo para representar la probabilidad de cara o sello de una moneda, respectivamente. El lanzamiento de la moneda y el registro de sus caras, en conjunto, permiten describir una caminata aleatoria (5).

Gracias a esta clase de investigaciones fisicomatemáticas, se ha podido exhibir el proceder de la física moderna para establecer teorías fundamentadas desde una perspectiva acausal, ajenas a las relaciones de causa y efecto. Esta forma de analizar los fenómenos de la naturaleza ha sido llevada para predecir fenómenos a los temas de interés en distintas ciencias como la epidemiología. Para ello se han diseñado metodologías aplicables para la predicción de epidemias (6-18).

Por ejemplo, la representación del número de infectados por dengue y malaria ha demostrado su analogía con la gráfica de la caminata al azar. Esta similitud, en razón al número de infectados por dengue y malaria en Colombia, permitió obtener predicciones para 2007 con porcentajes de acierto de 90,4 % y 95,6 %, respectivamente. Esta perspectiva de investigación de las epidemias permitió el desarrollo de un método basado en la teoría de la probabilidad y la entropía, con el cual se predice la duración de los brotes de malaria y la cantidad de infectados para cada año (10).

Uno de los objetivos primarios de la epidemiología es la cuantificación de varios aspectos de la salud de la población, la enfermedad y los determinantes o factores de riesgo. Así, la medición de esas variables permite describir desde una perspectiva cuantificable la carga que presenta una sociedad con respecto a una problemática de salud. Además, estos indicadores pueden ser usados para estimar la causalidad de la enfermedad y su mortalidad, con claras implicaciones en el planeamiento de proyectos en salud y la distribución de recursos en áreas prioritarias (19).

Las tasas de mortalidad son una medida de la frecuencia de muertes en una población definida sobre un determinado período, sean años o meses. El denominador usado para calcular la mortalidad teóricamente corresponde al promedio de la población en un período de tiempo, sin embargo, no suele ser posible cuantificar la cantidad total de la población en cada punto temporal, lo cual obliga a remitirse a otras medidas poblacionales (19). El propósito de esta investigación es aplicar una metodología basada en la caminata al azar probabilista y una ecuación de segundo grado para predecir el índice anual de mortalidad por enfermedad cardiovascular en el departamento del Magdalena tomando para ello los datos retrospectivos históricos del Instituto Nacional de Salud entre 1998 a 2011.

MÉTODOS

Definiciones

Longitud del índice de incidencia de mortalidad por enfermedad cardiovascular (IIMEC): representa el número del IIMEC anual la cual será calculado mediante la ecuación 1:

$$L = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}$$

Donde: X_0 y Y_0 son las coordenadas para el año y número del IIMEC inicial mientras que X_1 y Y_1 son las coordenadas para el año, el cual representa el número del IIMEC siguiente.

L: longitud de una variación anual del IIMEC.

Longitud probabilista del IIMEC: el primer espacio de probabilidad se establecerá considerando cada variación anual de la longitud (L) del IIMEC como un evento de probabilidad mediante la ecuación 2, así:

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

Probabilidad de la tasa del IIMEC: es el valor del índice de incidencia de mortalidad por enfermedad cardiovascular en un año dividido entre la sumatoria de todos los IIMEC mediante la ecuación 3:

$$P(N) = \frac{\text{IIMEC anual}}{\text{Total IIMEC}}$$

Desviación media cuadrática del IIMEC: Para evaluar el cargamiento en la probabilidad de la dinámica del IIMEC, es decir, si existen valores equiprobables o no de esta dinámica, se usará la ecuación 4:

$$P(Rn) = \frac{\text{IIMEC anual}}{\text{Total IIMEC}} \pm \frac{1}{2\sqrt{N}}$$

En esta ecuación, N representará la suma total del IIMEC anual del departamento de Magdalena, que en términos probabilistas determinará el número total de eventos del espacio muestral analizado.

Predicción del IIMEC del departamento de Magdalena: la predicción del IIMEC se realizará a partir de la construcción de otro espacio de probabilidad, en el cual se tomarán los valores de las longitudes de los tres años anteriores al año a predecir a través de la ecuación 5:

$$Y_{(ap)} = \frac{2Y_{(aa)} \pm \sqrt{(-2Y_{(aa)})^2 - 4\{Y_{(aa)}^2 + (X_0 - X_1)^2 - [(P(L)^2 \times (TL)^2]}}}{2}$$

Donde “aa” es año anterior y “ap” año a predecir.

Procedimiento

Inicialmente, se aplicó la ecuación 1 para establecer las longitudes de las variaciones anuales del IIMEC y la probabilidad de cada una de ellas con la ecuación 2. Posteriormente, se calculó la probabilidad de cada IIMEC para cada año P(N) a partir de la ecuación 3 y luego se calculó si se trata de un fenómeno equiprobable mediante el cálculo de la desviación media cuadrática con la ecuación 4. Después, a partir de la ecuación 5, se realizó la predicción del valor más probable del IIMEC del año a predecir. Para llegar a ello, se evaluaron los últimos tres valores anuales consecutivos de la dinámica del IIMEC. Así, se calculó el

promedio aritmético de estos tres años como el valor de la probabilidad para la longitud del período cuyo porcentaje será predicho. Finalmente, se sustituyeron los valores en la ecuación 1 hasta obtener la ecuación 5, que indica dos posibles valores que corresponden a la predicción.

Inmediatamente, se construyó un nuevo espacio de probabilidad compuesto por dos eventos: disminución (D) y aumento (A) del IIMEC anual con respecto al año anterior y se analizó su comportamiento de períodos consecutivos de tres años. Este espacio permitió determinar finalmente cuál de los dos valores obtenidos mediante la ecuación 5 resulta más probable. Para esto, se calculó un nuevo promedio aritmético en el cual se consideró si el evento más probable era el aumento o la disminución de la dinámica del IIMEC, de manera que en caso de que el evento más probable fuera un aumento, se tomó el valor promedio entre los dos valores de la ecuación 5 y se calculó un promedio adicional entre esta cifra y el valor superior obtenido con la ecuación 5. En caso de que el evento más probable fuese la disminución, se tomó el valor promedio entre los dos valores de la ecuación 5 y se calculó el promedio entre esta cifra y el valor inferior obtenido con la ecuación 5.

Aspectos éticos

De acuerdo con los lineamientos del Ministerio de Salud (26), esta es una investigación sin riesgo, pues se usaron datos de interés en salud pública publicados por entidades gubernamentales y que se han hecho públicos en bases de datos consultables por cualquier persona en internet (3). No se manejaron datos personales de ningún sujeto ni se realizaron intervenciones poblacionales de ningún tipo, por lo cual no se requirió consentimiento informado.

RESULTADOS

Los valores del índice de mortalidad por enfermedad cardiovascular oscilaron entre 88,3 y 112,2, mientras que sus longitudes oscilaron entre 0,1 y 15,5 y sus probabilidades entre 0,002 y 0,367. Por su parte, los valores de la desviación media cuadrática variaron entre 0,062 y 0,113 con valores de diferencia esperada entre -0,015 y 0,015, lo cual confirma el comportamiento no equiprobable del fenómeno. El resto de los datos pueden consultarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Comportamiento de las longitudes, probabilidades y desviación media cuadrática del índice

Año	L	P(L)	P(N)	DMC+	DMC-	DMC+ P	DMC- P
2000	88,3		0,077	0,092	0,062	0,015	-0,015
2001	103,8	15,5	0,367	0,090	0,105	0,076	0,015
2002	98,5	5,3	0,126	0,086	0,101	0,071	0,015
2003	103,6	5,1	0,121	0,090	0,105	0,076	0,015
2004	103,7	0,1	0,002	0,090	0,105	0,076	0,015
2005	107,3	3,6	0,085	0,093	0,108	0,079	0,015
2006	105,9	1,4	0,033	0,092	0,107	0,078	0,015
2007	104,7	1,2	0,028	0,091	0,106	0,076	0,015
2008	109,9	5,2	0,123	0,096	0,111	0,081	0,015
2009	112,2	2,3	0,055	0,098	0,113	0,083	0,015
2010	109,7	2,5	0,059	0,096	0,110	0,081	0,015

Al analizar los espacios de probabilidad que resultan de la aplicación de la metodología, se observó que existe una mayor probabilidad de que se presente un aumento del índice con un valor de 0,54 (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento en años consecutivos de los aumentos y descensos del índice de enfermedad cardiovascular

Años consecutivos	1994 A 2014	V	A	P	V	D	P
1		4	0,182		2		0,091
2		0	0		2		0,182
3		1	0,1364		0		0
4		0	0		1		0,182
5		1	0,227		0		0
6		0	0		0		0
7		0	0		0		0
8		0	0		0		0
9		0	0		0		0
Total	22	12	0,545		10		0,45

Por su parte, al observar el comportamiento en triplas consecutivas de aumentos y descensos, se notó que la combinación corresponde a ADD, es decir, un aumento seguido de dos descensos consecutivos (Tabla 3).

Tabla 3. Combinaciones de triplas

Combinaciones	V	P
DDD	0	0,000
DDA	0	0,000
DAD	0	0,000
DAA	1	0,200
ADD	2	0,400
ADA	1	0,200
AAD	0	0,000
AAA	1	0,200
Total	5	1

Finalmente, se tomaron los datos correspondientes a los tres años previos al año a predecir (Tabla 4) para reemplazar estos valores en la ecuación 5 y obtener la predicción para el 2011.

Tabla 4. Comportamiento de las longitudes de la variación anual del índice y sus probabilidades en tres años y determinación del rango del valor a predecir

Año	N.º	L	P
2008	109,9	5,2	0,52
2009	112,2	2,3	0,23
2010	109,7	2,5	0,25

Los resultados anteriormente descritos evidencian el comportamiento probabilista no equiprobable del índice de mortalidad por enfermedad cardiovascular, resaltando el hecho de que se encuentran diferencias de probabilidad que posibilitan la predicción del índice. Considerando esto, al analizar el espacio de probabilidad que considera si el evento más probable es un aumento o disminución, se encontró que el evento correspondería al aumento. Por lo

tanto, se promedió el valor del rango cuantificado con la ecuación 5 para después promediar nuevamente el valor con el límite superior del rango, cuyo resultado fue 93,2, que al ser comparado con el valor real de 91,1, indicó un porcentaje de precisión del 98 %.

DISCUSIÓN

Esta es la primera investigación en la cual se aplica una metodología basada en la caminata al azar probabilista y una ecuación de segundo grado para predecir el índice de mortalidad por enfermedad cardiovascular del departamento de Magdalena. Así, se demuestra la capacidad de los métodos fisicomatemáticos para analizar y predecir el comportamiento de los indicadores de salud pública y que son de interés para los entes de vigilancia epidemiológica para establecer la dinámica de las enfermedades entre las poblaciones y el cumplimiento de las políticas en salud pública.

El término indicador de salud hace referencia a las características relacionadas con la salud de los individuos y la población. En salud pública, los indicadores de salud son usados para analizar la magnitud de los problemas de salud, reflejar el cambio del nivel de salud, exhibir diferencias de salud entre poblaciones y evaluar el alcance del cumplimiento de los objetivos y programas en salud pública (20).

A pesar de la importancia de estos índices con fines descriptivos y particularmente con el fin de evaluar el cumplimiento de los objetivos nacionales en salud pública, pocos estudios han sido realizados con el fin de predecir las tendencias de estos índices. Más aún, algunos de ellos incorporan modelos de regresión lineal simple (21), los cuales podrían no ser los más adecuados para obtener predicciones precisas a lo largo del tiempo.

Dentro de las enfermedades crónicas no transmisibles se encuentran las enfermedades cardiovasculares, las cuales se han establecido como la primera causa de mortalidad en el mundo, pues alrededor de 18 millones de decesos se relacionan con esta causa. A pesar de esta gran carga de mortalidad, se espera que sigan en aumento los casos de esta variable hasta 23 millones para 2030. La mayoría de estas enfermedades, se dan en países de bajos y medianos ingresos, en la forma de ataque cerebrovascular y la cardiopatía isquémica (22).

En Colombia, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la enfermedad isquémica cardíaca representó la primera causa de mortalidad en el país con el 17 % de la totalidad de casos de mortalidad (23). De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud, el departamento del Magdalena reportó una tasa ajustada por edad de mortalidad para enfermedades cardiovasculares en 2011 del 91,1 con oscilaciones entre 1998 y 2011 de 88,3 y 112,2 con tendencias al alza (24).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mortalidad es un indicador importante para tener en cuenta debido a que representa la carga de la enfermedad en la etapa de la vida más productiva de las personas. Esta variable suele analizarse por edad y sexo, para lo cual se han desarrollado varios modelos para estimar esta variable como la revisión de los registros vitales nacionales al igual que modelos de regresión ponderada, que dan más peso a años recientes, o modelos de proyección de valores. Sin embargo, pueden existir varias imprecisiones entre los registros y los modelos (25). Además, a pesar de la importancia de establecer tendencias de esta variable, en la literatura se reportan pocos análisis que predigan directamente esta variable (21), por lo cual se requiere contar con estudios que fortalezcan esta base teórica con aplicación en salud pública.

Considerando este contexto, esta investigación busca suplir esta deficiencia, pues con la alta precisión del método, este puede constituirse como una herramienta de vigilancia epidemiológica sobre el índice de mortalidad por enfermedades cardiovasculares para el departamento del Magdalena. Esto permitirá establecer predicciones de este indicador de salud de la región, ya que el predecir el fenómeno permite evaluar el impacto de las intervenciones en salud pública y cardiología para disminuir la carga de la enfermedad cardiovascular y su mortalidad, ya que se pueden establecer predicciones precisas para años futuros que indiquen las trayectorias más probables de la dinámica.

Al lograr la automatización de este método mediante *software*, se facilitaría la aplicación, el uso y la interpretación por parte de personal distinto a los especialistas en salud pública o físicos, lo cual lograría aumentar el público el cual se beneficiaría de esta herramienta.

Desde esta perspectiva teórica, se han desarrollado otros métodos con aplicación en las ciencias médicas. Por ejemplo, se documenta una metodología diagnóstica de la dinámica cardíaca basada en las proporciones de la entropía usada hasta en 800 pacientes con una precisión del 100 % para diferenciar normalidad, enfermedad crónica y enfermedad aguda (26). Similarmente, se han establecido predicciones en biología molecular con respecto a la unión de péptidos al *HLA* clase II con una precisión del 100 % (27). Finalmente, en infectología, ha sido posible predecir temporalmente el recuento de CD4+ en pacientes con VIH hasta con el 99 % de precisión (28) ♦

Agradecimientos: Producto derivado del proyecto “Diseño de un *software* para predecir el índice de mortalidad por enfermedad cardiovascular en el departamento de Magdalena a través de la caminata al azar probabilista”. Este proyecto fue financiado por la Universidad del Magdalena, a quienes agradecemos por su apoyo a nuestras investigaciones. Igualmente, extendemos nuestro

agradecimiento a Insight Research Group SAS por su soporte durante la ejecución de esta investigación.

Conflictos de intereses: Ninguno.

REFERENCIAS

1. Laplace P. Ensayo filosófico sobre las probabilidades. Barcelona: Alta-ya; 1995.
2. Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Probabilidad. En: Feynman RP, Leighton RB, Sands M, editores. Física. Vol. 1. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana; 1964. p. 6-16.
3. Mood A, Graybill F, Boes D. Introduction to the theory of statistics. 3a Ed. Singapore: McGraw-Hill; 1974.
4. Spiegel M, Schiller J, Srinivasan R. Probabilidad y estadística. Bogotá: McGraw-Hill; 2003.
5. Wiener N. Nonlinear problems in random theory. Cambridge: Technology Press; 1958.
6. Rodríguez J. Dinámica probabilista temporal de la epidemia de malaria en Colombia. Rev Fac Med [Internet]. 2009 [citado 01 de marzo de 2021]; 17(2):214-221. Disponible en: <https://shorturl.at/cwH17>.
7. Rodríguez J, Vitéry S, Puerta G, Muñoz D, Rojas I, Pinilla L, et al. Dinámica probabilista temporal de la epidemia de dengue en Colombia. Rev Cubana Hig Epidemiol [Internet]. 2011 [citado 01 de marzo de 2021]; 49(1):74-83. Disponible en: <https://shorturl.at/hmQU1>.
8. Rodríguez J, Prieto S. Dinámica de la epidemia de malaria. Predicciones de su trayectoria. Rev Fac Med [Internet]. 2010 [citado 01 de marzo de 2021]; 18(2):12-20. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rmed.1308>.
9. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Arnold Y, Alvarez L, et al. Dinámica de la epidemia del dengue en Colombia: Predicciones de la trayectoria de la epidemia. Rev Fac Med [Internet]. 2013 [citado 01 de marzo de 2021]; 21(1):38-45. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rmed.1153>.
10. Rodríguez J. Método para la predicción de la dinámica temporal de la malaria en los municipios de Colombia. Rev Panam Salud Pública (Bogotá). [Internet]. 2010 [citado 01 de marzo de 2021]; 27(3):211-218. Disponible en: <https://shorturl.at/bgjs1>.
11. Rodríguez J, Correa C. Predicción temporal de la epidemia de dengue en Colombia: dinámica probabilista de la epidemia. Rev. Salud Pública (Bogotá). [Internet]. 2009 [citado 01 de marzo de 2021]; 11(3):443-453. Disponible en: <https://shorturl.at/vACK1>.
12. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Pérez C, Soracipa M. Dinámica de la epidemia de malaria en Colombia: predicción probabilística temporal. Rev. Salud Pública. (Bogotá). [Internet]. 2017 [citado 01 de marzo de 2021]; 19(1):52-59. Disponible en: <https://shorturl.at/luDHP>.
13. 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 [Internet]. 2015 [citado 01 de marzo de 2021]; 42(4):345-350. Disponible en: <https://shorturl.at/eANW6>.
14. Rodríguez J, Prieto S, Fajardo E, Correa C, López F, Castro J, et al. Caminata al azar predictiva de la dinámica de obesidad: predicciones de obesidad y sobrepeso en la población infantil de Colombia y de variación peso/talla y peso/edad en México. Rev Med [Internet]. 2013 [citado 01 de marzo de 2021]; 21(2):25-36. Disponible en: <https://shorturl.at/fjky3>.
15. Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Oliveros D, Piedrahita G, Hurtado C, et al. Predicción de muertes por lesiones de tráfico en Ibagué Colombia con caminata al azar probabilista. Rev Costarricense de Salud Pública [Internet]. 2019 [citado 01 de marzo de 2021]; 28(1):54-64. Disponible en: <https://shorturl.at/exIO8>.

16. Rodríguez J, Correa C, Ortiz AL, Páez J, Cortés J, Soracipa Y, et al. Método de "caminata al azar probabilística" aplicada a la predicción de muertes por tránsito en el estado de Florida. *Medicina* [Internet]. 2019 [citado 01 de marzo de 2021]; 41(1):18-27. Disponible en: <https://shorturl.at/kops4>.
17. Rodríguez J, Jattin J, Soracipa Y. Probabilistic temporal prediction of the deaths caused by traffic in Colombia. *Mortality caused by traffic prediction. Accident Analysis and Prevention* [Internet]. 2020 [citado 01 de marzo de 2021]; 135:105332. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105332>.
18. Rodríguez JO, Barrios FA, Gévez E, Salazar J, Guarín N, Mosquera C, et al. Fatalidades por tránsito en Maryland y Massachusetts evaluadas en el contexto de una caminata al azar probabilista entre 1994 y 2014. *Rev Fac Ciencias Médicas de Córdoba* [Internet] 2019 [citado 01 de marzo de 2021]; 76(3): 142-147. Disponible en: <https://doi.org/10.31053/1853.0605.v76.n3.23777>.
19. Choi J, Ki M, Kwon HJ, Park B, Bae S, Oh CM, et al. Health Indicators Related to Disease, Death, and Reproduction. *J Prev Med Public Health* [Internet]. 2019 [citado 01 de marzo de 2021]; 52(1):14-20. Disponible en: <https://doi.org/10.3961/jpmph.18.250>.
20. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. *Indicadores de Salud 2017. Evolución de los indicadores del estado de salud en España y su magnitud en el contexto de la Unión Europea* [Internet]. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad; 2017 [citado 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://shorturl.at/fprT3>.
21. Majid A, Aslam M, Kashif M, Altaf S. Forecasting Health Indicators of Pakistan. *J Ayub Med Coll Abbottabad* [Internet]. 2016 [citado 01 de marzo de 2021]; 28(3):510-513. Disponible en: <https://shorturl.at/fkzN9>.
22. Cuenta de Alto Costo (CAC). *Boletín de información técnica especializada. Cuenta de Alto Costo*. 2018. [citado 01 de enero de 2021]. Disponible en: <https://cuentadealtocosto.org/>.
23. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). *Estadísticas Vitales (EEVV). Cifras definitivas año 2018*. DANE. 2019. [citado 01 de enero de 2021]. Disponible en: <https://shorturl.at/diow9>.
24. Instituto Nacional de Salud (INS). *Enfermedad cardiovascular: principal causa de muerte en Colombia*. INS. 2013 [citado 01 de enero de 2021]. Disponible en: <https://shorturl.at/bxDYZ>.
25. World Health Organization (WHO). *Health status indicator: Mortality*. WHO. [citado 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://shorturl.at/mFH12>.
26. Rodríguez J, Ramírez LJ, Puerta GA. Analysis of acute heart dynamics in intensive care unit based on dynamic systems. *Informatics in Medicine Unlocked* [Internet]. 2020 [citado 01 de marzo de 2021]; 19:100333. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100333>.
27. Rodríguez J. Teoría de unión al HLA clase II teorías de Probabilidad Combinatoria y Entropía aplicadas a secuencias peptídicas. *Inmunología* [Internet]. 2008 [citado 01 de marzo de 2021]; 27(4):151-166. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0213-9626\(08\)70064-7](https://doi.org/10.1016/S0213-9626(08)70064-7).
28. 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* [Internet]. 2020 [citado 01 de marzo de 2021]; 24(2):103-107. Disponible en: <https://doi.org/10.22354/in.v24i2.841>.