

DINÁMICA DE LA EPIDEMIA DEL DENGUE EN COLOMBIA:

PREDICCIONES DE LA TRAYECTORIA DE LA EPIDEMIA

JAVIER RODRÍGUEZ*, SIGNED PRIETO², CATALINA CORREA³, YURI ARNOLD⁴, LUISA ALVAREZ⁵, PEDRO BERNAL⁶,
JESSICA MORA⁷, YOLANDA SORACIPA⁸, NICHOLE ROJAS⁹, DIANA PINEDA¹⁰.

¹Médico, Director Grupo Insight, Docente Línea de Profundización e Internado Especial en Física y Matemáticas. Facultad de Medicina Universidad Militar Nueva Granada. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Bogotá, Colombia.

²Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Bogotá, Colombia.

³PSY. Investigadora Grupo Insight. Docente Línea de Profundización Física y Matemáticas Aplicadas a la Medicina, Universidad Militar Nueva Granada. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Bogotá, Colombia.

⁴MSc. Especialista de primer grado en higiene y epidemiología. Investigador agregado. Profesor asistente. Centro de Atención al diabético/Instituto Nacional de Endocrinología. Centro Colaborador OPS/OMS en diabetes mellitus, La Habana, Cuba,

⁵PSY. Investigadora Grupo Insight. Clínica del Country – Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia,

⁶Investigador Grupo Insight. Clínica del Country, Bogotá, Colombia,

⁷Estudiante de Medicina. Internado Especial en Física y Matemáticas Aplicadas a Medicina, Bogotá, Colombia.

⁸Licenciada en Física. Investigadora Grupo Insight. Clínica del Country, Bogotá, Colombia.

⁹Estudiante de Medicina. Línea de Profundización en Física y Matemáticas Aplicadas a Medicina, Bogotá, Colombia.

¹⁰Estudiante de Medicina. Línea de Profundización en Física y Matemáticas Aplicadas a Medicina, Bogotá, Colombia.

*Correspondencia: grupoinsight2025@yahoo.es

Recibido: Enero 1 de 2013 Aceptado: Marzo 27 de 2013

RESUMEN

Las ecuaciones diferenciales se clasifican de acuerdo con el tipo, el orden y si son o no lineales; pueden expresar leyes de los fenómenos naturales como las leyes del movimiento de Newton, enunciadas en el contexto de la cinemática para el sistema dinámico planetario. La teoría de los sistemas dinámicos ha sido base, junto con otras teorías físicas y matemáticas, para el desarrollo de metodologías predictivas en medicina. En un trabajo previo se hizo una predicción para la dinámica de la epidemia de la malaria en Colombia, a partir de una analogía en el contexto de las ecuaciones diferenciales de segundo orden, encontrando una predicción correcta para los rangos de casos de infectados en los años 2005 a 2007, cuyas trayectorias representadas corresponden a atractores circulares concéntricos. En el presente trabajo se desarrolló esta misma metodología para la predicción de la dinámica de la epidemia del dengue, tomando los datos de casos desde 1990 hasta 2007. Se calculó la velocidad inicial y la aceleración inicial para rangos de tres años, haciendo predicciones de la trayectoria a partir de la ecuación diferencial de segundo orden para la aceleración. Se predijeron correctamente los rangos de valores de las trayectorias de la epidemia de dengue para el 2005, 2006 y 2007 a través de atractores circulares concéntricos, concluyendo que dentro del contexto de la ley diferencial acausal se pueden predecir los rangos de la trayectoria de la dinámica, de forma útil para las decisiones de salud pública.

Palabras claves: Epidemia, dengue, sistemas dinámicos, salud pública, vigilancia epidemiológica.

DYNAMICS OF THE DENGUE EPIDEMIC IN COLOMBIA: Predictions of the epidemic trajectory

ABSTRACT

Differential equations are classified according to type, order and whether they are linear or not; they can express natural phenomena laws such as Newton's movement laws, set in the context of kinematics for the planetary dynamic system. Dynamical systems theory has been a foundation along with other physical and mathematical theories, for the development of predictive methodologies in medicine. In a previous study, a prediction for the dynamics of Malaria Epidemic in Colombia was made, beginning with an analogy in the context of second order differential equations, finding a successful prediction for the infected ranges for the years 2005-2007, which represented trajectories correspond to concentric circular attractors. In the present study, the same methodology for Dengue Epidemic prediction was developed; considering the cases data from 1990 to 2007, initial velocity and initial acceleration for three year-ranges, making predictions of the epidemic from the second order differential equation for acceleration. Values of ranges were successfully predicted for Dengue Epidemic trajectories for 2005, 2006 and 2007, through concentric circular attractors; it was concluded that within the context of acausal differential equation the dynamic trajectory ranges may be predicted in a useful way for the Public Health decision making.

Keywords: Epidemic, dengue, dynamical systems, public health surveillance.

DINÂMICA DA EPIDEMIA DA DENGUE NA COLÔMBIA: Predições da trajetória da epidemia

RESUMO

As equações diferenciais classificam-se de acordo com o tipo, a ordem e se são ou não lineares; podem expressar leis dos fenômenos naturais como as leis do movimento de Newton, enunciadas no contexto da cinemática para o sistema dinâmico planetário. A teoria dos sistemas dinâmicos tem sido base, junto com outras teorias físicas e matemáticas, para o desenvolvimento de metodologias preditivas em medicina. Em um trabalho prévio se fez uma predição para a dinâmica da epidemia da Malaria na Colômbia, a partir de uma analogia no contexto das equações diferenciais de segunda ordem, encontrando uma predição correta para os intervalos de casos de infectados nos anos 2005 a 2007, cujas trajetórias representadas correspondem a atratores circulares concêntricos. No presente trabalho se desenvolveu esta mesma metodologia para a predição da dinâmica da epidemia da dengue, tomando os dados de casos desde 1990 até 2007, calculou-se a velocidade inicial e a aceleração inicial para intervalos de três anos, fazendo predições da trajetória a partir da equação diferencial de segundo ordem para a aceleração. Predisseram-se corretamente os intervalos de valores das trajetórias da epidemia de dengue para 2005, 2006 e 2007 através de atratores circulares concêntricos, concluindo que dentro do contexto da lei diferencial acausal podem-se prever os intervalos da trajetória da dinâmica, de forma útil para as decisões de saúde pública.

Palavras chave: Epidemia, dengue, sistemas dinâmicos, vigilância em saúde pública.

Introducción

Las ecuaciones diferenciales se clasifican de acuerdo con tres propiedades: según el tipo, según el orden y según sean lineales o no lineales. De acuerdo con el tipo, la ecuación diferencial puede ser ordinaria o parcial: el primer caso refiere una ecuación que contiene sólo derivadas ordinarias de una o más variables dependientes con respecto a una sola variable independiente, mientras que el segundo contiene las derivadas parciales de una o más variables dependientes de dos o más variables independientes. El orden de la ecuación corresponde al orden de la derivada más alta; la linealidad de la ecuación se debe a dos propiedades, que la variable dependiente junto con todas sus derivadas son de primer grado y que cada coeficiente depende solo de la variable independiente (1).

De manera general, las leyes inherentes a fenómenos de la naturaleza se expresan en forma de ecuaciones diferenciales, este es el caso de las ecuaciones del movimiento de los cuerpos (segunda ley de Newton), la ecuación que describe los sistemas oscilantes, la propagación del calor, la difusión, entre otros (2). Newton desarrolló un esquema teórico completo con sus tres leyes, conocidas como la ley de la inercia, la ley de acción y reacción, y la que se conoce como segunda ley, según la cual la fuerza ejercida sobre un cuerpo es igual al cambio del momentum del cuerpo respecto al tiempo, que es expresada en su lenguaje original como un ejemplo explícito de ley diferencial. Este sistema teórico completo permite predecir la dinámica de las mareas y de los cometas, la precesión de los equinoccios, y las diferentes trayectorias de los cuerpos; también de éste se deducen las leyes de Kepler y las de Galileo (3). La predicción de la trayectoria planetaria realizada por Newton mediante ecuaciones diferenciales de segundo orden, puede entenderse como el primer sistema dinámico resuelto. La teoría de sistemas dinámicos describe el estado y evolución de los sistemas, de manera que el estado generalmente es descrito matemáticamente mediante ecuaciones diferenciales, y la evolución se representa con atractores en cualquiera de sus tres formas posibles, que son puntuales, cíclicos y caóticos, y estos últimos corresponden a un sistema impredecible que puede evaluarse mediante geometría fractal (4,5).

La teoría de sistemas dinámicos, así como otras teorías y leyes físicas y matemáticas como la geometría fractal, la probabilidad y la entropía, han sido base

para la creación de diferentes metodologías objetivas y reproducibles para la caracterización, diagnóstico y predicción de diferentes fenómenos de la medicina. En el área de cardiología se desarrolló una metodología de tipo predictivo para la dinámica cardiaca del adulto, basada en la teoría de sistemas dinámicos, donde a partir de la probabilidad y proporciones de la entropía, es posible diferenciar matemáticamente el grado de evolución entre normalidad y enfermedad de cada dinámica caótica, desde la normalidad, pasando por la enfermedad crónica, hasta la enfermedad aguda.

El carácter predictivo de esta nueva metodología, y su aplicabilidad en la clínica, han sido comprobados en la aplicación de la misma a nuevos grupos de pacientes en la Unidad de Cuidados Coronarios. También se han desarrollado predicciones en el área de Epidemiología, para la dinámica de las epidemias de malaria y dengue en Colombia, desde una perspectiva acausal (6-10). Entre estos trabajos, previamente se desarrolló uno para la predicción de la dinámica de la epidemia de la malaria, en el que dentro del contexto de las ecuaciones diferenciales de segundo orden empleadas por Newton para la predicción de la trayectoria planetaria, se hizo una analogía entre la distancia, y proporciones del número de casos anuales de la epidemia, entre los años 1960 y 2007, hallando la velocidad inicial y la aceleración inicial para rangos de tres años consecutivos de la epidemia de malaria, y se efectuaron las predicciones de su trayectoria partiendo de la ecuación diferencial de segundo orden para la aceleración. En dicho trabajo se hizo una predicción acertada de los rangos de valores de las trayectorias para los años 2005 a 2007, mediante atractores circulares concéntricos (8), correspondientes al hallazgo de la figura circular platónica perfecta, que era la que anhelaba encontrar Kepler en la trayectoria de los planetas.

El dengue es una infección vírica que se transmite mediante la picadura de mosquitos del género *Aedes aegypti*, la infección puede evolucionar hasta convertirse en un cuadro potencialmente mortal llamado dengue grave, y conocido anteriormente como dengue hemorrágico. El dengue se presenta en climas tropicales y subtropicales de todo el mundo, tanto en zonas urbanas como semiurbanas. La incidencia del dengue ha aumentado a nivel mundial enormemente durante las últimas décadas; aunque no hay tratamiento para la enfermedad, su detección oportuna y el acceso a asistencia médica disminuyen las tasas de mortalidad por debajo del 1%. De acuerdo con los reportes de la OMS

en 2008, en las regiones de América, Asia Suroriental y Pacífico Occidental se registraron en conjunto más de 1,2 millones de casos, y en 2010, más de 2,2 millones; en 2010, se notificaron 1,6 millones de casos tan sólo en la región de América, de los cuales 49.000 fueron de dengue grave (11). Colombia es un caso claro que evidencia el dramático aumento de la prevalencia del dengue, de acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Salud, hasta la semana 46 del 2011 se habían notificado 29.179 casos de dengue, de los cuales 1.283 correspondieron a dengue grave y 27.896 al resto; hasta la misma semana se reportó un total de 187 muertes por esta causa (12). En lo corrido del año 2012, se informó que para la segunda semana epidemiológica se habían reportado 1.238 casos totales de dengue en Colombia, 47 de ellos de dengue grave (13). Durante el mes de febrero se notificó una alerta por brote de dengue en el país, especificando que hasta la semana epidemiológica No. 6 del 2012, se notificaron en el SIVIGILA 5.174 casos totales de dengue, 4.975 casos de dengue y 199 de dengue grave, una cifra que equivale aproximadamente a la quinta parte del total de casos en el país para el año anterior. En esta situación de brote, el 73% de los casos provienen de los departamentos de Huila, Meta, Valle, Caquetá, Tolima, Norte de Santander, Santander, Antioquia, Casanare y Córdoba (14,15).

Ante la gravedad del cuadro de la enfermedad a nivel nacional y mundial, es necesario generar nuevas metodologías de predicción útiles para la toma de decisiones en salud pública. El propósito de la presente investigación es desarrollar una predicción de la dinámica de la epidemia del dengue en Colombia para los años 2005, 2006 y 2007, mediante la metodología desarrollada anteriormente para la dinámica de la malaria (8), haciendo una analogía en el contexto de las ecuaciones diferenciales de segundo orden evaluándola como una trayectoria en la que el número de casos es análogo a la distancia y ésta respecto al tiempo representa la velocidad, la cual cambiando en el tiempo es la aceleración de la infección.

Metodología

A partir de la base de datos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) del Instituto Nacional de Colombia se tomaron los datos de infectados anuales de dengue desde 1990 hasta 2007. Con base en la metodología desarrollada por Rodríguez y cols. (8), se estableció el mínimo valor de los datos evaluados y se calculó la proporción de todos los valores respecto a

este valor mínimo, que toma el valor de unidad, estas proporciones fueron tomadas como distancias, en analogía con las distancias de la cinemática, hallando con base en ellas las velocidades iniciales v_0 para cada año con la fórmula clásica:

$$v_0 = \frac{r}{t}$$

Donde r representa la distancia para cada año y t es el tiempo, que es de un año para todos los cálculos. Posteriormente se calcularon las aceleraciones correspondientes a los intervalos de dos años consecutivos con los datos ya conocidos, de acuerdo con la fórmula clásica:

$$a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

En el siguiente paso, se tomaron rangos de tres años consecutivos de estas aceleraciones para hallar en cada rango los valores de las aceleraciones máxima ($a_{máx}$) y mínima ($a_{mín}$) para establecer las ecuaciones diferenciales que permitirán hallar los rangos de predicción tanto de las velocidades como de distancias.

Los rangos de la velocidad se hallaron a partir de la ecuación diferencial $\frac{dv}{dt} = a$; que al ser resuelta para el rango de valores entre $a_{mín}$ y $a_{máx}$ permite obtener las dos expresiones para las velocidades máxima y mínima $v_{mín}$ y $v_{máx}$ lo que permitirá hacer las predicciones de velocidad. Para el cálculo de la distancia r se procede de la misma manera; esta ecuación diferencial está dada por: $\frac{d^2r}{dt^2} = a$

Así la solución de las ecuaciones diferenciales para los rangos de velocidad es:

$$v_{mín} = v_0 + a_{mín}t \quad \text{Ecuación 1}$$

$$v_{máx} = v_0 + a_{máx}t \quad \text{Ecuación 2}$$

Y para los rangos de distancias:

$$r_{mín} = r_{o\ mín} + v_{mín}t + \frac{1}{2}a_{mín}t^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$r_{máx} = r_{o\ máx} + v_{máx}t + \frac{1}{2}a_{máx}t^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

Se parte de que las condiciones iniciales $r_{0\ mín}$ y $r_{0\ máx}$ son iguales a cero, dado que el fenómeno que se ha considerado es la dinámica de la epidemia en un año particular, sin contar con los datos de infectados del año anterior, entonces se puede asumir que la condición

inicial parte de cero sin que ésto afecte la metodología propuesta.

Con base en las expresiones halladas tanto para los rangos de la velocidad como de la distancia, se realizó la predicción de los años 2005, 2006 y 2007. Estas predicciones fueron comparadas posteriormente con los datos epidemiológicos respectivos de estos años, con el fin de establecer la capacidad predictiva de la metodología a la dinámica de la epidemia de dengue.

Resultados

Teniendo en cuenta que el tiempo es de un año para todos los casos, tanto las distancias como las velocidades iniciales presentan los mismos valores, encontrándose entre 1 y 5.382 (tabla 1). Al calcular $v_0 = \frac{r}{t}$ se observa que v_0 y r toman un mismo valor; dado que el valor del tiempo siempre es una unidad, puede obviarse en los valores de las magnitudes. Las aceleraciones presentaron valores entre -2.738 y 2.456, donde los valores negativos, de la misma manera que en la cinemática, corresponden a desaceleraciones.

Los valores de los rangos de distancias calculados para los años 2005, 2006 y 2007 (ver apéndice), evidenciaron que el valor conocido se encuentra dentro de los rangos (Tabla 2).

La gráfica 1 evidencia que el valor conocido de r se encuentra dentro del espacio generado entre los dos círculos concéntricos hallados en la predicción, también que hay una superposición en el espacio predicho para los años 2006 y 2007, esta superposición también se da con el año 2005 como se puede observar en la tabla 2.

A partir de los valores $r_{máx}$ y $r_{mín}$ considerados éstos como proporciones del número de infectados por año, se calcula su valor equivalente en términos de número de infectados. Así por ejemplo, para el año 2007, $r_{máx}$ presentó un valor de 4,641, que equivale a 70.556 infectados, mientras que el $r_{mín}$, que presentó un valor de 2,504, corresponde a 38.074 infectados. El contraste con los valores empíricos, muestra que el valor real, que es de 43.564, y que corresponde a un r de 2,747 se encontró entre los valores predichos (tabla 2).

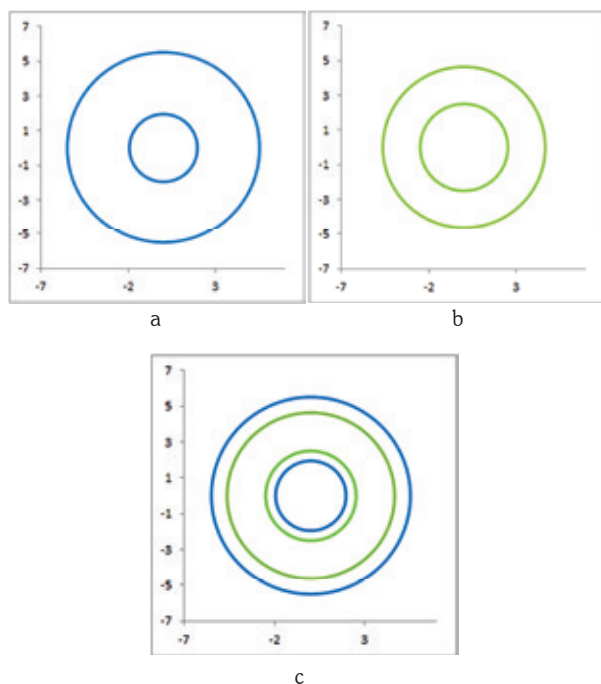
Tabla 1. Distancias, velocidad inicial (V_0) rangos de velocidades ($V_{mín}$ y $V_{máx}$) y aceleraciones ($A_{mín}$ y $A_{máx}$). Las distancias aquí son adimensionales por ser proporciones entre valores de números de infectados, las respectivas unidades para las velocidades son 1/año, y las de las aceleraciones son 1/año².

| Año | Distancias | V o | V mín. | V máx. | Aceleración | A mín. | A máx. |
|------|------------|-------|--------|--------|-------------|--------|--------|
| 1990 | 1,146 | 1,146 | 0,707 | 4,586 | 1,146 | | |
| 1991 | 1,000 | 1,000 | 0,707 | 3,293 | -0,146 | | |
| 1992 | 1,357 | 1,357 | 1,210 | 2,503 | 0,357 | -0,146 | 1,146 |
| 1993 | 1,703 | 1,703 | 0,042 | 2,741 | 0,346 | | |
| 1994 | 1,831 | 1,831 | 0,724 | 2,524 | 0,129 | | |
| 1995 | 1,278 | 1,278 | 0,724 | 1,624 | -0,554 | -0,554 | 0,346 |
| 1996 | 2,042 | 2,042 | 2,725 | 7,676 | 0,764 | | |
| 1997 | 2,270 | 2,270 | 2,725 | 6,026 | 0,228 | | |
| 1998 | 4,148 | 4,148 | 4,376 | 6,026 | 1,878 | 0,228 | 1,878 |
| 1999 | 1,410 | 1,410 | -6,805 | 8,778 | -2,738 | | |
| 2000 | 1,618 | 1,618 | -3,858 | 6,530 | 0,208 | | |
| 2001 | 4,074 | 4,074 | 1,336 | 6,530 | 2,456 | -2,738 | 2,456 |
| 2002 | 5,382 | 5,382 | -1,466 | 9,308 | 1,309 | | |
| 2003 | 3,892 | 3,892 | -0,674 | 6,509 | -1,491 | | |
| 2004 | 1,609 | 1,609 | -0,674 | 2,918 | -2,283 | -2,283 | 1,309 |
| 2005 | 2,793 | 2,793 | 2,070 | 6,344 | 1,184 | | |
| 2006 | 2,552 | 2,552 | 2,071 | 4,919 | -0,241 | | |
| 2007 | 2,866 | 2,866 | 2,625 | 4,049 | 0,314 | -0,241 | 1,183 |

Tabla 2. Valores de r para las predicciones de los rangos: radio máximo ($r_{\text{máx. predicho}}$) y mínimo ($r_{\text{mín. predicho}}$). El r conocido corresponde al valor correspondiente respecto a las bases de datos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) del Instituto Nacional de Salud de Colombia.

| Año | $r_{\text{máx. Predicho}}$ | r Conocido | $r_{\text{mín. Predicho}}$ |
|------|----------------------------|--------------|----------------------------|
| 2005 | 6,9358 | 2,793 | 1,9501 |
| 2006 | 5,5113 | 2,865 | 1,9501 |
| 2007 | 4,6413 | 2,747 | 2,5045 |

Gráfica 1. Predicción geométrica del espacio en el que se desenvolverá la trayectoria de la epidemia de dengue en Colombia; el círculo interior corresponde al r mínimo, y el exterior al máximo: (a) para el 2006, (b) para el 2007, y (c) superposición del 2006 (azul) y 2007 (verde), evidenciando la evolución de los rangos cinemáticos anuales de la trayectoria de la epidemia.



Los resultados obtenidos hacen evidente que el orden acausal subyacente mostrado en la dinámica de la epidemia de malaria, también permite establecer predicciones para el caso de la dinámica de la epidemia de dengue, estableciendo una forma de comprensión más sencilla del fenómeno.

Discusión

Este es el primer trabajo en el que se emplean ecuaciones diferenciales de segundo orden para el desarrollo

de una predicción de la dinámica del dengue en Colombia, a partir de una analogía entre la epidemia y la cinemática clásica, en donde proporciones del número de casos anual de la enfermedad son análogas a la distancia en la aplicación de la ecuación de segundo orden para la aceleración, calculada para rangos de número de casos, hallando círculos concéntricos en las soluciones. Partiendo de la analogía establecida, se hizo una predicción de la epidemia de dengue para los años calculados, generando una metodología que puede ser empleada como herramienta para la toma de decisiones en salud pública.

Las ecuaciones diferenciales están planteadas en coordenadas polares, de tal forma que al encontrar la solución, como se plantean dos ecuaciones para establecer el rango, entonces se encuentran dos valores; esos dos valores son los valores de r , es decir de una de las coordenadas polares. Al graficar estas dos soluciones, lo que se obtiene son dos círculos, cuyo centro es el centro del sistema coordenado polar y que acotan el rango en el que se encontrará la predicción de la epidemia.

En la metodología propia de este trabajo, el tiempo total es de un año. Siendo este tiempo constante en todos los cálculos, la distancia se toma como el número total de infectados, entendido en este caso como un cambio de posición. Los diferentes estudios realizados comúnmente desde la perspectiva tradicional sobre la dinámica del dengue, y en general de las epidemias, incluyendo los que desarrollan modelos predictivos o identifican predictores de la dinámica, se enfocan en las variaciones en el número de casos de acuerdo con sus diferentes causas, las cuales son entendidas como variables, entre las que se contemplan factores climáticos y ecológicos, medidas sociales y comportamientos poblacionales (16-19). De esta forma, este tipo de estudios observan el fenómeno desde un punto de vista causal, en el que la atención se puede dispersar en detalles que no dan cuenta esencialmente de cómo se presenta la variación de casos para la generación de predicciones altamente efectivas. En contraste, la metodología aquí desarrollada, aborda el fenómeno desde una perspectiva acausal, simplificando el fenómeno, lo que en general permite establecer predicciones a partir de la aplicación de teorías y leyes físico-matemáticas.

El dengue es una enfermedad epidémica, y cuya prevalencia ha venido presentando un importante aumento durante los últimos años. Las predicciones realizadas en este trabajo se efectuaron para los años 2005, 2006 y

2007. De acuerdo con las estadísticas mundiales, para el año 2007 hasta la semana epidemiológica 39, el número de casos de dengue en América estuvo alrededor de 630.356 (20). En el año 2010 esta cifra para la misma región ascendió a 1,6 millones (11) y para principios del año 2012 se presentó alerta por brote en Colombia. Así la creación de metodologías de predicción eficaces de tipo acausal es de vital importancia para tras su validación en la comunidad médica y científica, poder posiblemente apoyar la toma de decisiones para la implementación de medidas sanitarias requeridas en el mundo, para el control de la enfermedad como problemática de salud pública.

Desde la aplicación de teorías físicas y matemáticas, se han realizado diferentes predicciones para las dinámicas de las epidemias, específicamente de dengue y de malaria, empleando diferentes leyes. En este trabajo, se efectuó una analogía con la que se pudo establecer una predicción acertada de los rangos numéricos de casos de dengue en Colombia para los años 2005, 2006 y 2007 mediante ecuaciones diferenciales, encontrando trayectorias circulares que dan cuenta de un orden matemático y estético subyacente al fenómeno, que permite establecer la predicción; esta metodología también había sido desarrollada anteriormente para la predicción correcta de casos de malaria en el país (8). También se han efectuado otras predicciones específicas, mediante otras metodologías que también abordan el fenómeno de la dinámica de las epidemias desde una perspectiva acausal y teórica. Se han establecido predicciones mediante la aplicación de la caminata al azar probabilista, y de la probabilidad y la entropía. Estas metodologías también se han desarrollado en el estudio de la dinámica de casos de HIV en Estados Unidos. A partir de la caminata al azar probabilista se lograron porcentajes de exactitud superiores al 90% para la epidemia de malaria y dengue en Colombia (6,9) y de HIV en Estados Unidos para el año 2007. A partir de la probabilidad y la entropía se desarrolló una predicción espacio temporal para la dinámica de la malaria en 820 municipios de Colombia, para tres semanas epidemiológicas, superando las metodologías existentes basadas en canales endémicos, que requieren información previa de 5 a 7 años (7). Particularmente en este trabajo realizado a partir de ecuaciones diferenciales, los resultados encontrados, equivalentes a una geometría circular concéntrica, crean una nueva visión en la manera de como se percibe la realidad de la epidemia.

Predicciones como éstas son posibles desde la física teórica y una concepción acausal de la naturaleza

propia de los fenómenos médicos. Se han realizado predicciones en otras áreas como la dinámica cardiaca y la unión de péptidos en general y propios de la malaria al HLA clase II, al eritrocito, así como un diagnóstico fractal de lesiones preneoplásicas y cancerígenas de cuello uterino.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Militar Nueva Granada, particularmente a la Vicerrectoría de Investigaciones, a la Dra. Jacqueline Blanco, Vicerrectora de Investigaciones, al Dr. Henry Acuña, Jefe de la División de Investigación Científica, a la Dra. Martha Bahamón, Vicerrectora Académica, al Dr. Juan Miguel Estrada, Decano de la Facultad de Medicina y a la Dra. Esperanza Fajardo, directora del Centro de Investigaciones de la Facultad de Medicina. Este trabajo es resultado del proyecto de Investigación MED-923, financiado por el Fondo de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, por lo cual agradecemos su apoyo a nuestras investigaciones.

Agradecemos a todo el personal del Centro de Investigaciones de la Clínica del Country por su apoyo, y a los doctores Alfonso Correa, Director del Centro de Investigaciones, Tito Tulio Roa, director de Educación Médica y Jorge Ospina, Director Médico de la Institución, por su apoyo a nuestras investigaciones.

Dedicatoria

A los hijos y sobrinos del grupo Insight y al ahijado del primer autor, Yoshua Bahamón Rodríguez.

Referencias

1. Zill D. Ecuaciones diferenciales con aplicaciones. México: Grupo Editorial Iberoamérica; 1982.
2. Demidowitsch B, Maron I, Schuwalowa S. Métodos numéricos de análisis. Madrid: Editorial Paraninfo; 1980.
3. Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Capítulo 8: El movimiento. En: Física. Vol. 1. Segunda edición. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana, S. A.; 1987. p.1-11.
4. Rasband SN. Chaotic Dynamics of Nonlinear Systems. New York: John Wiley & Sons; 1990.
5. Guckenheimer J, Holmes P. Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields. Nueva York: Springer-Verlag; 1983.
6. Rodríguez J. Dinámica Probabilista Temporal de la Epidemia de Malaria en Colombia. Rev Fac Med. 2009; 17(2): 214-221.
7. 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): 211-218.
8. Rodríguez J, Prieto S. Dinámica de la epidemia de Malaria. Predicciones de su Trayectoria. Rev Fac Med. 2010; 18(2): 12-20.
9. Rodríguez J, Correa C. Predicción temporal de la epidemia de Dengue en Colombia: Dinámica probabilista de la epidemia. Rev Salud Pública. 2009;11(3): 443-453.
10. Rodríguez J, Vitery 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 [acceso enero 10 de 2012]; 49(1):74-83. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v49n1/hie09111.pdf>.

11. OMS. Centro de prensa: Dengue y Dengue hemorrágico. Nota descriptiva No. 117. [Internet] Enero de 2012. [acceso febrero 1 de 2012]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>
12. Instituto Nacional de Salud. Boletín epidemiológico semanal: Semana epidemiológica. [Internet] Número 46 de 2011. [acceso enero 1 de 2012]. Disponible en: http://www.ins.gov.co/boletin-epidemiologico/Boletn%20Epidemiologico/2011%20Boletin%20epidemiologico_Semana%2046.pdf
13. Instituto Nacional de Salud. Boletín No. 2 Vigilancia epidemia por Dengue en Colombia. [Internet]. 23 de enero de 2012. [acceso febrero 10 de 2012]. Disponible en: http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Boletin2-12_Dengue.pdf
14. Actualisalud. Alerta epidemiológica por dengue. [Internet]. Circular 012 de 2012. [acceso marzo 1 de 2012]. Disponible en: http://www.actualisalud.com/index.php?option=com_content&view=article&id=89:alerta-epidemiologica-por-dengue&catid=3:noticias&Itemid=5
15. Instituto Nacional de Salud. Circular 0012 del 22 de febrero de 2012. [Internet]. [acceso marzo 1 de 2012]. Disponible en: <http://actualisalud.com/images/stories/circular012.pdf>
16. Fuller D, Troyo A, Calderon-Arguedas O, Beier J. Dengue vector (*Aedes aegypti*) larval habitats in an urban environment of Costa Rica analysed with ASTER and QuickBird imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2010; 31(1): 3-11. DOI:10.1080/01431160902865756
17. Fuller D, Troyo A, Beier and Vegetation JC. ENSO Dynamics as Predictors of Dengue Fever Cases in Costa Rica. *Environ Res Lett*. 2009; 4(014011): 1 -8.
18. Morrison A, Gray K, Getis A, Astete H, Sihuincha M, Focks D, et al. Temporal and Geographic Patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Production in Iquitos, Peru. *Journal of Medical Entomology*. [Internet]. 2004. [acceso enero 30 de 2012];41(6):1123-1142. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585-41.6.1123>.
19. Esselman P. Desarrollo de un Modelo de Predicción de riesgo de fiebre del dengue en León Nicaragua. [Internet]. 2009. [acceso enero 10 de 2012]. Disponible en: http://www.sinia.net.ni/vectores/files/InformeTecnico_ModeloMaxent.pdf
20. EER Noticias. Enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes, Región de las Américas [Internet]. 26 septiembre 2007. [acceso abril del 2009]. 4(9). Disponible en: <http://www.paho.org/spanish/ad/dpc/cd/eid-eer-2007-09-26.htm>.

Apéndice

A continuación se mostrará a modo de ejemplo el cálculo del rango de distancias para el 2006. Para tal año las variables toman los valores que se muestran a continuación:

$$a_{\min} = -0,241(1/\text{año}^2)$$

$$a_{\max} = 1,183(1/\text{año}^2)$$

$$v_{\min} = 2,071(1/\text{año})$$

$$v_{\max} = 4,919(1/\text{año})$$

$$r_{0\min} = r_{0\max} = 0 \text{ y } t = 1 \text{ año};$$

Al reemplazar en las ecuaciones 3 y 4 se obtiene:

$$r_{\min} = \frac{1}{2}[-0,241(1)^2] + (2,071)(1) + r_{0\min} = 1,950$$

Asimismo con la ecuación 4, se obtiene como resultado para $r_{\max} = 5,511$

Mediante este procedimiento queda delimitado un espacio en el que se predice que se encontrará la trayectoria de la epidemia de dengue para cada año estudiado; específicamente para el 2006 se obtiene:

$$r_{\max} = 5,511 \text{ y } r_{\min} = 1,950 \text{ (Ver tabla 2 y figura 1).}$$

Para establecer las predicciones de los años 2005 y 2007 se procede equivalentemente.