

Predicción espacio-temporal de dengue en Costa Rica, 2005-2018

Spatio-temporal prediction of dengue fever in Costa Rica, 2005-2018

Jason F. Madrigal-Miranda ¹, Christian D. Valverde-Solano ², Roger Bonilla-Carrión ³, Ronald Evans-Meza ³, Roberto Salvatierra-Durán ³

RESUMEN

Objetivo: Aplicar un programa para predicción espacio temporal probabilístico de dengue en Costa Rica. **Metodología:** Se utilizan datos numéricos anuales sobre el dengue total y grave en Costa Rica obtenidos por el Ministerio de entre 1993 y 2018. Se utilizan los datos de los 12 años previos al año de estimación y se ejecuta un modelo de regresión lineal para calcular las estimaciones de los casos de dengue del periodo 2005-2018. **Resultados:** En promedio, 8 años de 14 se encuentran dentro del rango de estimación. Los resultados que sobrepasan las estimaciones máximas corresponden a epidemias. La región Chorotega se presenta en primer lugar con más casos y la región Pacífico Central en el tercer lugar a lo largo del periodo de estudio tanto en la realidad como en las estimaciones. La incidencia promedio notificada para cada región socioeconómica coincide casi completamente con las incidencias promedio estimadas medias. **Conclusiones:** El uso de modelos predictivos para el dengue podría contribuir en la toma de decisiones generando impacto en la salud pública. Se deben continuar los esfuerzos para mejorar la comprensión del comportamiento del dengue a nivel local teniendo en cuenta la mayor cantidad posible de variables y realizar modelos predictivos más elaborados.

Palabras clave: Dengue, modelo de predicción, regresión lineal, geoespacial, Costa Rica (Fuente: DECS-BIREME)

ABSTRACT

Objective: To apply a program for spatiotemporal probabilistic prediction of dengue in Costa Rica. **Methodology:** Annual numerical data on total and severe dengue in Costa Rica obtained by the Ministry between 1993 and 2018 are used. Data from the 12 years prior to the estimation year are used and a linear regression model is run to calculate estimates of dengue cases for the period 2005-2018. **Results:** On average, 8 years out of 14 falls within the estimation range. The results that exceed the maximum estimates correspond to epidemics. The Chorotega region is presented in first place with more cases and the Central Pacific region in third place throughout the study period both and in the estimates. The average reported incidence for each socioeconomic region almost completely matches the average mean estimated incidences. **Conclusions:** The use of predictive models for dengue could contribute to decision making by generating public health impact. Efforts should be continued to improve the understanding of dengue behavior at the local level by considering as many variables as possible and to develop more elaborate predictive models.

Keywords: Dengue, prediction model, linear regression, geospatial, Costa Rica (Source: NLM-MeSH)

1. Escuela de Medicina y Cirugía, Universidad Hispanoamericana. San José, Costa Rica.
2. Unidad de Investigación en Salud, Hospital Rafael Calderón Guardia, Caja Costarricense del Seguro Social. San José, Costa Rica.
3. Coordinación de Investigación, Universidad Hispanoamericana. San José, Costa Rica.

Recibido: 01/04/2022 Aprobado: 20/06/2022

Citar como:

Madrigal-Miranda JF, Valverde-Solano CD, Bonilla-Carrión R, Evans-Meza R, Salvatierra-Durán R. Predicción espacio-temporal de dengue en Costa Rica, 2005-2018. *Rev Hisp Cienc Salud.* 2022; 8(2):59-70. DOI <https://doi.org/10.56239/rhcs.2022.82.549>

INTRODUCCIÓN

El dengue es un arbovirus de la familia flaviviridae, una enfermedad no contagiosa transmitida por vectores artrópodos hembras de la especie *Aedes* que llevan consigo alguno de los cuatro serotipos estrechamente emparentados causantes de esta enfermedad dándose principalmente en las zonas tropicales y subtropicales ^(1,2).

Una colaboración en el 2014 entre investigadores estadounidenses y el Ministerio de Salud Pública de Tailandia, implementaron un sistema computacional que generaba predicciones sobre la incidencia de dengue cada dos semanas ⁽³⁾. En el año 2015, la Agencia Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos ^(4,5), desarrolló un programa con la finalidad de realizar modelos que permitiesen predecir diversas métricas sobre la incidencia de esta enfermedad. Rodríguez et al ⁽⁶⁾, establecen de manera predictiva, la proporción anual de dengue total y grave en Colombia.

Costa Rica se habría mantenido libre de dengue por varias décadas hasta 1993 ⁽⁷⁾ cuando por primera vez se reportan las transmisiones indígenas, desde entonces ha sido un problema para la salud pública del país ya que constantemente existe una tendencia hacia el alza y a pesar de esta situación, se dispone de pocas publicaciones científicas en relación con el abordaje predictivo probabilístico contra el dengue, sin embargo, recientemente existe una publicación en el 2020 donde a nivel nacional se analizan las variables climáticas como predictores de la incidencia de dengue ⁽⁸⁾. La incidencia de esta patología se encuentra influenciada por distintos mecanismos; factores climáticos como el ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) ⁽⁹⁾.

La participación de los sectores sociales y económicos que han estado en todo momento siendo parte del problema afectando el ecosistema, pero a su vez, intentando ser parte de la solución. Otros factores como cambios serotípicos del virus pueden estar asociados a brotes o epidemias ^(10, 11). Componentes inmunológicos como la inmunidad colectiva o la inmunidad cruzada contra virus anti-genéticamente similares (por ejemplo, el zika y el dengue) pueden generar protección y provocar descensos importantes en la incidencia. La protección heterotópica ⁽¹²⁾ ante distintos serotipos de dengue puede brindar protección temporal, facilitando así, la elevación de los casos posterior a ese periodo.

El objetivo de esta investigación es aplicar un programa para predicción espacio temporal probabilístico de dengue en Costa Rica 2005-2018 con el fin de manejar de manera oportuna y precisa esta enfermedad. Se describen los diferentes factores que influyen sobre el comportamiento de esta patología para realmente entender sus cambios y determinantes en el tiempo.

METODOLOGÍA

El presente estudio es de tipo observacional, transversal, ecológico mixto y descriptivo con componentes analíticos con el objetivo de aplicar un programa para predicción espacio temporal probabilístico de dengue en Costa Rica. Para la elaboración de la investigación, se utilizaron datos numéricos anuales sobre el total de casos de dengue y los casos graves en Costa Rica obtenidos por el Ministerio de Salud y se ordenaron por región desde el año 1993 hasta el 2018. Se estableció una secuencia para estimar casos futuros. Para esta estimación, se creó un programa computacional en el programa R+ y RStudio ^(13,14).

El modelo estadístico es la regresión lineal simple, en donde las variables correspondientes a los casos de dengue son las variables predictivas y las relacionadas a los años son las variables respuesta. Este análisis de regresión identificó la relación que existe entre estas variables derivando una función matemática, en este caso, una función lineal dada por la fórmula $Y = (a + bX) + e_i$, que modele dicha relación y estime las variables predictivas "Y" (casos de dengue) en función a las variables de respuesta "X" (cada año).

La enfermedad del dengue presenta extrema variabilidad a lo largo de los años, se utilizaron los casos de los 12 años anteriores al año que se quiere predecir para mejorar la calidad de las estimaciones con mayor precisión.

Finalmente, se ejecutó un programa en R Run Code ⁽¹⁵⁾ el cual nos brindó el cálculo de la estimación mínima, media y máxima para delimitar los límites de los posibles casos del año a estimar y se compararon estos resultados con los valores reales notificados por el Ministerio de Salud de manera que se distinguieron los casos reales dentro del rango de estimación, para analizar la precisión del modelo.

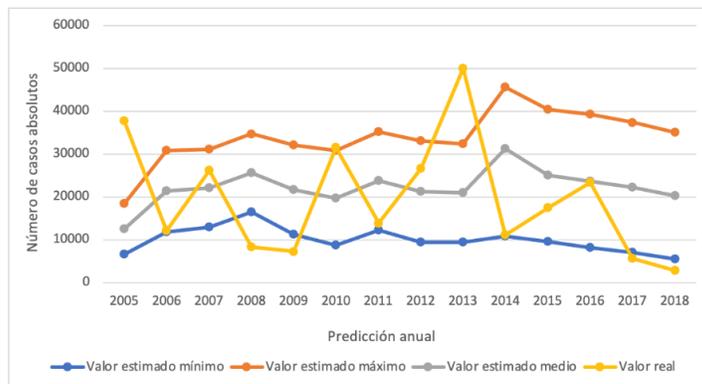
RESULTADOS

En promedio, los casos anuales en el país se mantienen por arriba de los 10 mil. De los 14 años a estimar, 8 están dentro del rango de predicción y 6 por fuera de los cuales dos sobrepasan marcadamente la estimación máxima correspondiendo al 2005 con 37 798 casos que supera la predicción mayor por más de 19 mil casos y el 2013 con casi 50 mil casos excediendo por 17 561 casos (Gráfico 1).

A lo largo del periodo de estudio, los casos graves no superan los 100, incluso están por debajo de los 20 casos como se observa en los últimos 5 años. Se predicen diez años dentro del rango estimado. Los aumentos del dengue

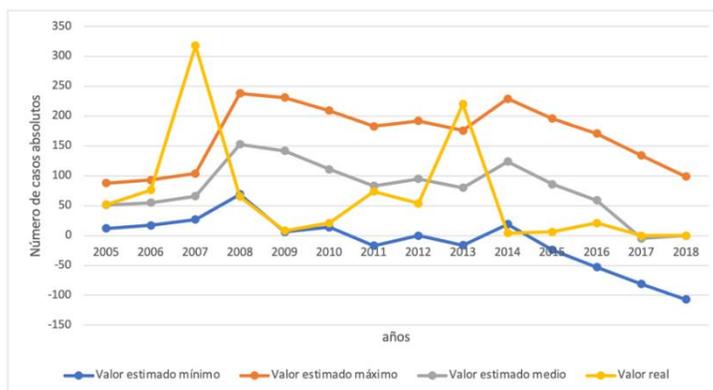
grave no necesariamente están relacionados paralelamente a los casos totales (Gráfico 2).

Gráfico 1. Estimación anual de casos totales de dengue en Costa Rica del 2005 al 2018.



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud.

Gráfico 2. Estimación anual de casos graves de dengue en Costa Rica del 2005 al 2018.



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud.

En la Tabla 1, se presenta la incidencia anual del dengue total por región socioeconómica y muestra una gran diversidad en la densidad de casos reportados para cada región socioeconómica, sin embargo, entre ellas se puede encontrar que se comparten años protagónicos.

El 2013 representa el año con más casos de dengue total reportados a nivel nacional como en Chorotegea, Central Norte y Brunca.

En otras regiones no se observa lo anterior en vista que es el 2005 quien muestra esta tendencia en las regiones Huetar Atlántica, Pacífico Central, Central Este y Huetar Norte. Distintivamente, el 2010 desempeña el primer puesto con más casos documentados en las regiones Central Este y Occidente.

Tabla 1. Incidencia de los casos totales por dengue en Costa Rica durante el periodo 2005-2018 por región socioeconómica.

Años	H Atlán	P Centr	Chorot	C Norte	Brunca	C Sur	C Este	H Norte	Occid
2005	10510	9296	5515	5352	1666	3961	826	547	125
2006	1727	1666	4825	307	1622	1471	236	186	12
2007	8196	3593	9397	749	1517	2145	398	77	45
2008	2083	2861	826	1273	428	385	189	149	18
2009	474	2509	1652	797	1203	407	43	99	17
2010	4070	5083	8073	5462	3859	4114	148	296	379
2011	9598	2048	869	583	100	364	188	84	4
2012	7981	4995	3177	4659	188	909	68	246	20
2013	6758	9102	14887	8151	5910	3863	743	353	226
2014	2215	2089	2221	1815	1945	628	96	113	18
2015	637	3113	6958	2819	2757	953	76	55	70
2016	1601	4562	2826	7110	4296	2524	91	244	65
2017	2223	737	415	1382	306	351	102	35	21
2018	688	338	318	1082	104	113	79	13	0

Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud.

En la región Huetar Atlántica, siete años se encuentran dentro del rango de estimación y de estos años, tres muestran cercanía con el valor estimado medio (2010, 2013 y 2017). Nueve de los catorce años a estimar para la región Pacífico Central se lograron calcular dentro del rango. De estos años, existe poca diferencia en el año 2011 el cual se resalta su cercanía con el valor estimado mínimo. En el 2016 también existe poca diferencia, pero con la estimación media.

La región Chorotega, presentó nueve años dentro del rango de estimación. En este grupo, resalta el 2006 que reporta 4825 casos y se le estimó una media de 4953.

Por otra parte, el 2010, con 8073 casos muestra un pico dentro del rango cercano a la estimación máxima de 8744. Con respecto a la Central Norte, los casos anuales de cuatro años permanecieron dentro del rango estimado correspondiente a los años 2008, 2009, 2012 y 2015 estando sus valores estimados muy cercanos a los valores calculados. Ocho años están dentro del rango en la región Central Sur y los años 2007 y 2014 sobresalen por haber tenido gran precisión en su estimación con el valor medio y mínimo respectivamente.

En la región Brunca, el 2009 y 2015 están muy cercanos a sus estimaciones media y máxima correspondientemente. Cinco de los años se encontraron dentro del rango de estimación y los 5 años restantes por debajo de la estimación mínima.

En la región Central, 11 de los 14 años están dentro del rango de estimación. Los casos para el 2006, 2007, 2016, 2017 y 2018 rodean las estimaciones medias con una diferencia promedio de solo 40 casos. Otros años, muestran mucha cercanía con lo que es el valor estimado mínimo.

Solo el 2005 sobrepasa la estimación máxima en la región Huetar Norte. En esta región, se observan 10 años dentro del rango de estimación con algunas predicciones muy precisas al valor real notificado, ejemplo de lo anterior es el 2009 y 2012.

Finalmente, la región Occidente tiene ocho años en el rango de predicción, entre ellos, algunos presentan una alta precisión como es el 2009 con su estimación mínima. El 2013 sobrepasa la estimación máxima, pero con solo 7 casos de más (Tabla 2).

Tabla 1. Estimaciones anuales de los casos totales de dengue por región socioeconómica en Costa Rica del 2005 al 2018.

Años	Huetar Atlántica		Pacífico Central		Chorotega		Central Norte		Brunca	
	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo
2005	3656	[2545, 4768]	2410	[-1363, 6184]	3936	[1089, 6783]	1439	[701, 2177]	114	[-162, 390]
2006	6212	[3891, 8533]	4047	[-208, 8303]	4953	[2134, 7772]	2936	[1580, 4291]	603	[61, 1145]
2007	5377	[2694, 8061]	4475	[800, 8149]	5721	[3043, 8381]	2649	[1140, 4158]	1003	[384, 1622]
2008	6944	[4190, 9698]	4325	[671, 8039]	7399	[4520, 10278]	2388	[779, 3997]	1324	[702, 1974]
2009	6191	[3093, 9288]	3325	[-211, 6861]	5774	[2300, 9248]	2270	[627, 3913]	1190	[512, 1867]
2010	4609	[1105, 8114]	3324	[1689, 6847]	5093	[1442, 8744]	1981	[279, 3683]	1311	[635, 1988]
2011	4176	[786, 7567]	4375	[1868, 6883]	6108	[2359, 9857]	3184	[1187, 5181]	2431	[1515, 3347]
2012	6209	[2489, 9928]	3473	[950, 5995]	4293	[353, 8234]	2508	[376, 4640]	1998	[848, 3147]
2013	6945	[3196, 10695]	3748	[1211, 6284]	3258	[-438, 6954]	3164	[952, 5375]	1605	[334, 2877]
2014	7159	[3412, 10906]	5168	[2199, 8137]	6845	[1770, 11929]	4787	[2122, 7454]	3088	[1277, 4899]
2015	5544	[1598, 9489]	4377	[1268, 7486]	5338	[118, 10557]	4374	[1584, 7163]	1138	[1138, 2981]
2016	3745	[-406, 7898]	4164	[1044, 7284]	6831	[1939, 11723]	4042	[1222, 6862]	3072	[1231, 4911]
2017	2421	[-1666, 6509]	3936	[901, 6972]	5263	[376, 10149]	5313	[2360, 8267]	3550	[1683, 5417]
2018	2852	[-895, 6600]	3855	[1262, 6449]	3787	[-1311, 8886]	5133	[2273, 7993]	2847	[746, 4948]

Años	Central Sur		Central Este		Huetar Norte		Occidente	
	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo	Valor medio	Valor mínimo y máximo
2005	762	[409, 1115]	67	[26, 107]	72	[-3, 147]	41	[6, 75]
2006	1927	[926, 2929]	324	[96, 553]	242	[85, 400]	75	[32, 117]
2007	2132	[1160, 3104]	349	[122, 576]	268	[112, 423]	65	[19, 112]
2008	2462	[1513, 3411]	418	[193, 643]	248	[84, 413]	67	[20, 113]
2009	2108	[975, 3240]	411	[179, 642]	250	[83, 417]	57	[8, 105]
2010	1764	[521, 3006]	341	[84, 597]	228	[56, 401]	47	[-2, 97]
2011	2632	[1205, 4061]	301	[39, 563]	268	[94, 442]	157	[45, 268]
2012	2057	[483, 3630]	268	[6, 531]	223	[41, 405]	123	[4, 244]
2013	1649	[71, 3226]	186	[-76, 448]	228	[49, 408]	96	[-28, 219]
2014	2231	[541, 3920]	350	[40, 661]	258	[78, 438]	135	[6, 265]
2015	1794	[39, 3551]	255	[-58, 569]	193	[18, 368]	119	[-12, 251]
2016	1373	[-363, 3109]	162	[-147, 472]	154	[-25, 334]	112	[-21, 245]
2017	1448	[-261, 3157]	60	[-221, 341]	135	[-26, 298]	91	[-40, 223]
2018	1417	[-172, 3007]	128	[-98, 353]	152	[31, 272]	79	[-53, 212]

Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud.

La Tabla 3 muestra una comparación entre las tres regiones con más casos reportados y las tres regiones con más casos estimados en donde se observa que la región Chorotega, tanto para la realidad documentada como en las estimaciones, en

promedio, resultó ser la región socioeconómica con más casos respecto a las demás a lo largo del periodo de estudio. Pacífico Central ocupó el tercer lugar en ambos escenarios.

Tabla 3. Comparación entre las tres regiones socioeconómicas con mayor carga de casos notificados de dengue por año en relación con las tres regiones con más casos estimados medios anuales en el periodo del 2005 al 2018.

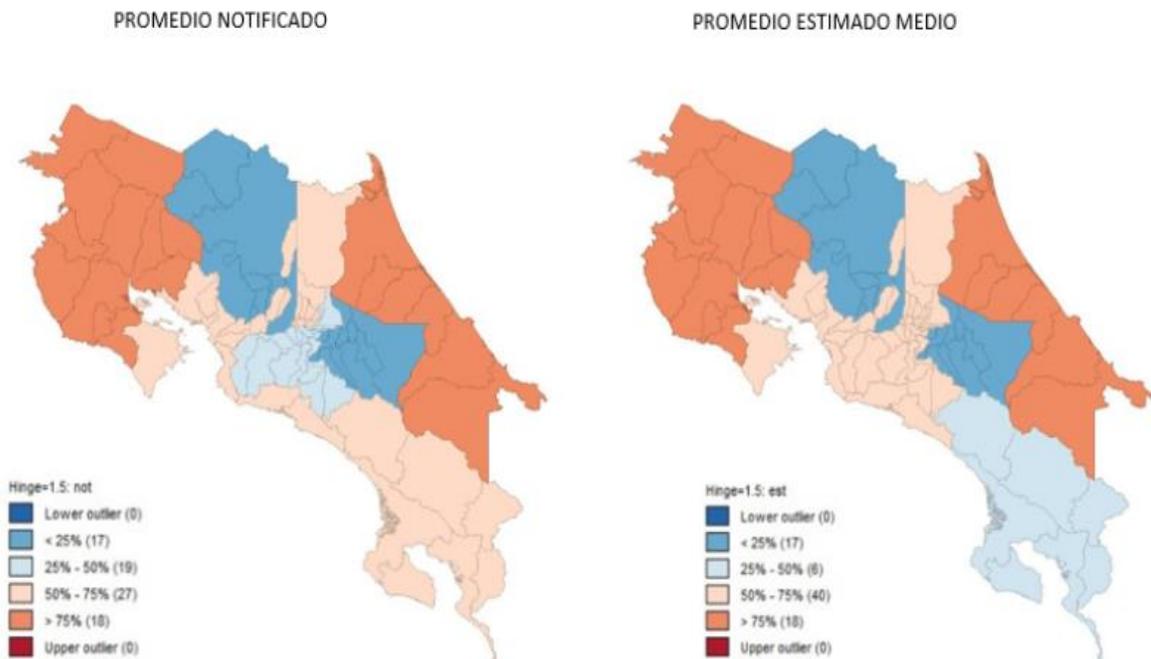
Años	Regiones con más casos de dengue según	
	Notificación real	Estimación media
2005	Huetar Atlántico	
	Pacífico Central	
	Chorotega	
2006	Huetar Atlántico	
	Pacífico Central	
	Chorotega	
2007	Huetar Atlántico	
	Pacífico Central	
	Chorotega	
2008	Pacífico Central	
	Huetar Atlántico	
	Central Norte	Chorotega
2009	Pacífico Central	
	Chorotega	
	Brunca	Huetar Atlántico
2010	Chorotega	
	Pacífico Central	
	Central Norte	Huetar Atlántico
2011	Huetar Atlántico	
	Pacífico Central	
	Chorotega	
2012	Pacífico Central	
	Huetar Atlántico	
	Central Norte	Chorotega
2013	Pacífico Central	
	Chorotega	
	Central Norte	Huetar Atlántico
2014	Huetar Atlántico	
	Pacífico Central	
	Chorotega	
2015	Pacífico Central	
	Chorotega	
	Central Norte	Huetar Atlántico
2016	Central Norte	
	Pacífico Central	
	Brunca	Chorotega
2017	Central Norte	
	Pacífico Central	
	Huetar Atlántico	Chorotega
2018	Central Norte	
	Pacífico Central	
	Huetar Atlántico	Chorotega

Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud.

El gráfico 3 contrasta la incidencia promedio notificada contra la incidencia promedio estimada media y se aprecia que la mayor densidad de casos se presentó en las regiones Chorotega y Huetar Atlántico con una carga mayor al 75% de los casos para el periodo, seguidamente por Central Norte, Pacífico Central con una carga entre el 50% y el 75% de total, coincidiendo completamente con las estimaciones medias.

Una marcada diferencia entre lo notificado y lo estimado se percibe entre la región Brunca y Central Sur, en la realidad, la primera presentaría mayores casos que Central Sur, sin embargo, esto fue inverso en las estimaciones. La menor incidencia promedio se observó en Huetar Norte, Occidente y parte de la región Central Este con una incidencia menor al 25% del promedio, coincidiendo también con las estimaciones.

Gráfico 3. Contraste de la incidencia promedio notificada contra la incidencia promedio estimada media del dengue por región socioeconómica en Costa Rica durante el periodo 2005-2018.



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud.

DISCUSIÓN

Las regresiones anuales a nivel nacional mostraron 57.1% de los años dentro del rango de estimación, el 28.6% por debajo de la estimación mínima y 14.3% por encima de la estimación máxima. En el dengue grave, 71.4% se encontró dentro de este rango.

En las regiones socioeconómicas, en general, 56% de los años del periodo se localizaron dentro del rango de estimación, 25,6% por debajo y 18% correspondiente completamente a epidemias, sobrepasó el máximo. La mayor aprobación la presentó la región Central Este con el 78.6% de los años a predecir seguido por Huetar Norte con 71.4%. Central Norte obtiene la menor aprobación dentro del rango con solo 28,6%.

Tomando en cuenta el promedio de los casos para cada región a lo largo del periodo de estudio en contraste con el promedio estimado medio, predictivamente se sobrestimaron los casos, encontrando un error porcentual absoluto medio de 14,4% y una desviación media absoluta de 4306 casos. Se recalca que en todas estas estimaciones no se consideraron variables de ningún tipo más que la tendencia anual.

De acuerdo con los datos, se observan diversos picos epidemiológicos que se mantienen persistentes no solo de manera nacional sino también a nivel de las diferentes regiones socioeconómicas. Estos picos son epidemias y tienen una periodicidad muy característica de aproximadamente cada tres años significando que existen factores cíclicos externos o internos que interactúan con los componentes de la enfermedad, no obstante, no es observado idénticamente en todas las regiones del país y por otro lado, la incidencia del dengue total y grave no necesariamente están relacionadas paralelamente; todo lo anterior sugiere la existencia de factores locales naturales o artificiales que cambian este patrón.

En el 2017, un estudio observacional realizado por la Universidad de Costa Rica investigó acerca de la influencia del ENOS y su influencia sobre el dengue en un periodo de 1990 al 2011 en las regiones Pacífico Central y Huetar Atlántica y determinó que este fenómeno afecta la incidencia de los casos de dengue en los litorales de manera inversa. En los periodos en los que se presentó El Niño (fase cálida), las incidencias acumuladas promedio mensuales aumentaron en el Pacífico y disminuyeron en el Caribe y contrario ocurría cuando se presentaba La Niña (fase fría), se disminuirán en el Pacífico y se aumentaban en el Caribe ⁽⁹⁾.

Las regiones Chorotega y Huetar Atlántica son las que mayor carga de casos presentaron, no obstante, no siempre se encontraron dentro de las tres primeras con más casos a diferencia de Pacífico Central que continuamente durante todos los 14 años del estudio si se mostró entre estas. Se piensa que la predominancia en la vertiente pacífica se debe a las constantes sequías de estas regiones que llevan a ocasionar de manera indirecta la expansión de la población vectorial al aumentar los almacenamientos de agua por los humanos. Esto explicaría por qué durante la fase cálida del ENOS, que provoca sequias en esta vertiente, se aumentan los casos.

Por el contrario, la región Huetar Atlántica, en su mayoría se encuentra en un periodo lluvioso; incluso en los meses menos lluviosos, las precipitaciones se mantienen entre los 100 y 200 mm⁽¹⁶⁾, lo cual es una cantidad considerable. En la fase cálida, se aumentan las lluvias y a pesar de que las abundantes precipitaciones permiten la disponibilidad del hábitat para la fase acuática del insecto, se observan disminuciones en los casos, quizás porque la lluvia excesiva posibilita el lavado de los criaderos no permitiendo su establecimiento y disminuyendo así la población del *Aedes aegypti*, contrariamente, el aumento del dengue

durante la fase fría podría deberse a la disminución en la intensidad de las lluvias.

El ENOS tiene una ciclicidad de cada 2 a 7 años y se registran leves fenómenos del niño para los años 2005, 2007 y 2010⁽¹⁷⁾ coincidiendo con los picos epidémicos en esos mismos años. El 2013 presentó la mayor incidencia por dengue no solo a nivel nacional sino también a nivel del continente americano⁽¹⁸⁾. No se encontró fenómeno ENOS asociado para ese año ni registro de desastres naturales a nivel nacional, no obstante, sin pretender establecer relaciones causales, pero si mostrar coincidencia, se notó que para la epidemia del 2013 de Costa Rica, el DEN-3 presentó un aumento en relación con el año previo disminuyendo posteriormente para el 2014^(19, 20), lo que podría significar que el aumento de este serotipo asociado a otros factores aumentase los casos por dengue total e incluso en cierto grado, los graves.

Algunos brotes o epidemias pueden estar relacionados al cambio del serotipo dominante por otro. En Singapur, también ocurrió una epidemia por dengue en el 2013; un análisis filogenético reveló que el DEN-1 genotipo III era el dominante sobre todos los demás serotipos elevándose desde el 20%, a más del 50% reemplazando el DEN-2 como el más abundante⁽¹⁰⁾. Es importante tener en cuenta que la desaparición de cepas mayores brinda la oportunidad que cepas menos comunes dominen y se transmitan generando epidemias, sin embargo, este resurgimiento epidémico fue multifactorial.

En otro estudio se menciona que en la epidemia cubana de 1981⁽¹¹⁾, el 98% de los casos graves ocurrieron por una segunda infección con el serotipo DEN-2 teniendo previo DEN-1 y también, la secuencia de infección DEN-1/DEN-3 se ha asociado con mayor gravedad del dengue.

Costa Rica se ha caracterizado por presentar sostenidamente menor incidencia de dengue grave en relación con otros países de América, lo anterior es quizás al mejoramiento de técnicas diagnósticas, implementos de vigilancia epidemiológica y control de vectores o incluso a la menor circulación de serotipos 2 y 3.

Hasta en el 2009, el DEN-3 se reintroduce al país, reduciendo progresivamente después del 2014 hasta no ser detectado en el 2017 y en este mismo año, el DEN-2 apenas comenzaba a predominar sobre el DEN-1.

Por lo anterior y otros factores, las estimaciones de dengue grave por región socioeconómica se dificultan por los niveles tan bajos que este presenta, además, muestra una extrema variabilidad no encontrándose una tendencia mantenida, patrones o determinantes locales para su estimación.

La inmunidad contra el serotipo infectivo es usualmente para toda la vida, pero la protección heterotópica ante otros serotipos tiende a ser de 1 a 3 años⁽¹²⁾, consecuentemente, este factor es un componente fundamental en la ciclicidad epidémica con consiguiente disminución marcada de los casos dada la inmunología colectiva que reduce la susceptibilidad de la población. Luego de que la inmunidad heterotópica se reduce, la epidemia recurre nuevamente al reintroducirse o aumentar otro serotipo.

El ZIKV y el DENV son antigenéticamente similares por ser ambos flavivirus relacionados, la exposición al ZIKV puede provocar altas respuestas protectoras cruzadas inmunes y posiblemente también respuestas protectoras cruzadas colectivas contra el DENV⁽¹²⁾. En el 2016 se documentó el inicio de la circulación autóctona del virus Zika en Costa Rica y se enfrentó por primera vez a tres enfermedades transmitidas por el mismo vector, *Aedes aegypti*⁽²¹⁾; esto

puede estar relacionado a la incidencia tan baja que se presentó en los dos últimos años del estudio (2017 y 2018). Los factores que influyen sobre la sobrevivencia del mosquito son importantes porque solo los mosquitos que viven más allá del periodo de incubación extrínseco actúan como vectores. La mayor sobrevivencia en el ciclo de vida del mosquito se encuentra entre temperaturas⁽²²⁾ de 20°C a 30°C. Temperaturas sub óptimas son muy perjudiciales y aumentos de esta dentro de las condiciones óptimas, se asocian a multiplicidad de alimentación, promoviendo que el mosquito se alimente de distintos huéspedes aumentando así la transmisión.

El clima y la temperatura influyen no solo sobre el vector, sino también controla la replicación viral dentro del mosquito, se ha visto que la replicación y el periodo de incubación extrínseco de este virus se modifican con variaciones en la temperatura. Un incremento de esta provoca una tasa de replicación viral más rápida y un periodo de incubación extrínseco (PIE) menor. Además, se ha identificado que, a mayor rango entre las oscilaciones de temperaturas, menor probabilidad de que el mosquito se infecte⁽²²⁾.

No necesariamente altas concentraciones del vector se asocian a altos índices de dengue, puede ser producto de la inmunidad colectiva o la posibilidad de que localmente las condiciones son suficientes para apoyar el desarrollo del mosquito, pero no la más preferibles para la replicación viral.

Finalmente, la participación de los sectores sociales y económicos han estado en todo momento siendo parte del problema y a su vez de la solución. En Costa Rica, a lo largo de los años ha existido un incremento de la densidad poblacional; la globalización del transporte, la urbanización, la migración internacional y el comercio, son actividades humanas que alteran los ecosistemas permitiendo la

movilización de personas y vectores. Existen programas de detección ante brotes y acciones anti vectoriales donde participan agentes gubernamentales en conjunto con actores sociales

Esta investigación es innovadora y puede ser tomada como punto de referencia para el inicio de acciones en salud que realicen proyecciones más elaboradas tomando en cuenta las variables detalladas anteriormente (climáticas, virales, vectoriales y humanas) de manera que las estimaciones sean minuciosas centrandó la metodología en áreas geográficas más reducidas disminuyendo así el grado de incertidumbre en las predicciones. Se describe como los modelos actuales que utilizan la población del mosquito para estimaciones pueden ser mejorados al incluir los componentes virales, los modelos resultantes serían capaces de realizar proyecciones con poblaciones vectoriales infectantes y no solo el total de ellos.

Finalmente, se destaca que los sistemas de vigilancia epidemiológica y alerta de los casos de dengue trabajen en coordinación con los Institutos Meteorológicos, para una mayor precisión al intensificarse las medidas de prevención y control.

Conflictos de interés

Los autores niegan tener conflictos de interés

Financiamiento

Autofinanciado

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Virus transmitidos por artrópodos y otros virus zoonóticos | Sherris. Microbiología médica, 6e | AccessMedicina | McGraw-Hill Medical [Internet]. [citado el 26 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3faKcux>

2. Dengue y dengue grave [Internet]. [citado el 8 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
3. Reich NG, Lauer SA, Sakrejda K, Iamsirithaworn S, Hinjoy S, Suangtho P, et al. Challenges in Real-Time Prediction of Infectious Disease: A Case Study of Dengue in Thailand. *PLoS Negl Trop Dis*. el 15 de junio de 2016;10(6):e0004761.
4. Buczak AL, Baugher B, Moniz LJ, Bagley T, Babin SM, Guven E. Ensemble method for dengue prediction. *PLoS ONE*. el 3 de enero de 2018;13(1):e0189988.
5. Dengue Forecasting Project NOAA [Internet]. [citado el 23 de enero de 2020]. Disponible en: https://dengueforecasting.noaa.gov/docs/project_description.pdf
6. Rodríguez-Velásquez JO, Prieto-Bohórquez SE, Pérez-Díaz CE, Pardo-Oviedo JM, Correa-Herrera SC, Mendoza-Beltrán F del C, et al. Predicción espacio-temporal probabilista de la epidemia de dengue total y grave en Colombia. *Rev Salud Pública*. junio de 2018;20(3):352–8.
7. Trejos AM, Rodríguez RM, Ávila-Agüero ML. evolución histórica, situación actual y desafíos. :21.
8. Vásquez P, Loría A, Sanchez F, Barboza LA, Vásquez P, Loría A, et al. Climate-driven statistical models as effective predictors of local dengue incidence in Costa Rica: a generalized additive model and random forest approach. *Rev Matemática Teoría Apl*. junio de 2020;27(1):1–22.
9. Solano AMR, Garcia HAC, Sojo JCF. El Fenómeno ENOS y el dengue, Regiones Pacífico Central y Huetar Atlántico, Costa Rica, 1990 a 2011. *Poblac Salud En Mesoamérica* [Internet]. el 30 de junio de 2017 [citado el 22 de abril de 2022]; Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/psm/article/view/26189>
10. Hapuarachchi HC, Koo C, Rajarethinam J, Chong CS, Lin C, Yap G, et al. Epidemic resurgence of dengue fever in Singapore in 2013-2014: A virological and entomological perspective. *BMC Infect Dis*. el 17 de junio de 2016;16:300.
11. Virus del dengue de serotipo 1 (DENV-1) de Colombia: su contribución a la presentación del dengue en el departamento de Santander | *Biomédica* [Internet]. [citado el 22 de abril de 2022]. Disponible en: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/717>
12. Ribeiro GS, Hamer GL, Diallo M, Kitron U, Ko AI, Weaver SC. Influence of herd immunity in the cyclical nature of arboviruses. *Curr Opin Virol*. febrero de 2020;40:1–10.
13. Matloff N. *Probability and Statistics for Data Science: Math + R + Data*. CRC Press; 2019. 445 p.
14. Horton NJ, Kleinman K. *Using R and RStudio for Data Management, Statistical Analysis, and Graphics*. CRC Press; 2015. 280 p.
15. Run R code online [Internet]. [citado el 15 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://rdr.io/snippets/>
16. Climate of Costa Rica - IMN [Internet]. [citado el 22 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/en/52>
17. Center NCP. NOAA's Climate Prediction Center [Internet]. [citado el 22 de abril de 2022]. Disponible en: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
18. Alerta Epidemiológica: Dengue [Internet]. [citado el 12 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2013/21-June-2013-Dengue-1.pdf>

19. Informe anual preliminar de vigilancia basada en laboratorio del dengue, Enero a Diciembre 2013.pdf [Internet]. [citado el 19 de abril de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3LGTN8G>
20. Elizondo MG. Informe de vigilancia basada en laboratorio. Tres Ríos, Costa Rica. Inciensa, 2014.
21. Ministerio de Salud Costa Rica. Memoria institucional 2016 [Internet]. [citado el 22 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.ministeriodesalud.go.cr/images/stories/docs/DPI/2017/DPI_memoria_institucional_2016.pdf
22. Morin Cory W., Comrie Andrew C., Ernst Kacey. Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications. *Environ Health Perspect.* el 1 de enero de 2013;121(11–12):1264–72.

Correspondencia

Roger Bonilla-Carrión

Email: roger.bonilla@uhispano.ac.cr

