

ISSN 0120-4157

# Biomédica

## Revista del Instituto Nacional de Salud

### PUBLICACIÓN ANTICIPADA EN LINEA

El Comité Editorial de *Biomédica* ya aprobó para publicación este manuscrito, teniendo en cuenta los conceptos de los pares académicos que lo evaluaron. Se publica anticipadamente en versión pdf en forma provisional con base en la última versión electrónica del manuscrito pero sin que aún haya sido diagramado ni se le haya hecho la corrección de estilo.

Siéntase libre de descargar, usar, distribuir y citar esta versión preliminar tal y como lo indicamos pero, por favor, recuerde que la versión impresa final y en formato pdf pueden ser diferentes.

### Citación provisional:

**Salinas MA, Soto VE, Prada SI.** Análisis de costo-efectividad del uso del software VECTOS en el control rutinario de enfermedades transmitidas por el vector *Aedes aegypti* en dos municipios del departamento de Santander, Colombia. *Biomédica*. 2020;40 (2).

Recibido: 22-08-18

Aceptado: 22-08-19

Publicación en línea: 27-08-19

**Análisis de costo-efectividad del uso del software VECTOS en el control rutinario de enfermedades transmitidas por el vector *Aedes aegypti* en dos municipios del departamento de Santander, Colombia**

**Costo-efectividad del software VECTOS en el control de *A. aegypti***

**Cost-effectiveness analysis of VECTOS software for the control of diseases transmitted by the *Aedes aegypti* vector in two Colombian municipalities**

Manuel Alejandro Salinas, Victoria Eugenia Soto, Sergio Iván Prada

Centro de Estudios en Protección Social y Economía de la Salud-PROESA,

Universidad Icesi, Cali, Colombia

**Correspondencia:**

Manuel Alejandro Salinas, Calle 32<sup>a</sup> #33<sup>a</sup> 20, Palmira, Colombia.

Tel: 57+3177536893

manuelsalis@hotmail.com

**Contribución de los autores**

Todos los autores manifiestan participaron en la concepción y el diseño del estudio, en la recolección e interpretación de los datos analizados y en la escritura del manuscrito.

**Introducción.** Las enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* son consideradas un problema de salud pública. VECTOS es un software novedoso de integración de estrategias de control de vectores.

**Objetivo.** Evaluar la costo-efectividad del uso del software VECTOS en los programas de control rutinario de enfermedades transmitidas por el vector *Aedes aegypti* en el municipio de Girón (Santander).

**Materiales y métodos.** Se realizó un análisis de costo-efectividad empleando un modelo de análisis de decisión desde la perspectiva de las autoridades locales de salud. Como grupo tratamiento se tomó el uso del software VECTOS en las actividades rutinarias de control en el municipio de Girón durante el 2016, mientras que como comparador se tomó el control rutinario en el municipio de Floridablanca, en donde no se implementó el software. Se calculó la razón incremental de costo-efectividad RICE teniendo como medida de efectividad los años de vida ajustados por discapacidad (DALY, por sus siglas en inglés).

**Resultados.** Los resultados indican que el uso del software VECTOS fue costo efectivo a una razón de US \$660,4 de ahorro por cada DALY evitado frente al control rutinario en Floridablanca, el modelo probabilístico indicó que el sistema fue costo efectivo en un 70 % de las 10.000 iteraciones para los rangos de disponibilidad a pagar de 1 a 3 PIB per cápita.

**Conclusiones.** El software VECTOS implementado en el municipio de Girón es altamente costo-efectivo. El uso de este software puede ser replicado en otros municipios del país donde las enfermedades transmitidas por *A. aegypti* son endémicas.

**Palabras clave:** *aedes aegypti*; dengue; control de vectores; análisis costo-beneficio; programas informáticos.

**Introduction:** The diseases transmitted by the vector *Aedes aegypti* are considered a public health problem, VECTOS is a novel software for the integration of vector control strategies.

**Objective:** To assess the cost-effectiveness of the use of the software VECTOS in the routine control programs of diseases transmitted by the *A. aegypti* vector in the municipality of Girón (Santander).

**Materials and methods:** A cost-effectiveness analysis was carried out using a decision analysis model from the perspective of the local health authorities. As a treatment group the use of the VECTOS software was used in the routine control activities in the municipality of Girón during 2016, while as a comparator the routine control was taken in the municipality of Floridablanca, which does not implemented the software. The incremental cost-effectiveness ratio ICER was calculated, taking as a measure of effectiveness the disability-adjusted life years (DALY).

**Results:** VECTOS was cost effective at a rate of US \$ 660,4 savings per each DALY avoided compared to the routine control in Floridablanca. The probabilistic model showed that the system was cost effective in 70% of the 10.000 iterations for a threshold between 1 to 3 GDP per capita.

**Conclusions:** VECTOS software as implemented in the municipality of Girón is highly cost-effective and could be used in other municipalities in the country where diseases transmitted by the *A. aegypti* are endemic.

**Keywords:** *Aedes aegypti*; dengue; vector control; cost-benefit analysis; software.

*Aedes aegypti* es el principal vector transmisor de enfermedades como el dengue, Zika y chikungunya en Colombia. Estas enfermedades representan un grave problema de salud pública para Colombia, cerca de 103.822 personas contrajeron el virus del dengue en el año 2016 (1) y 151.774 personas en el año 2010, siendo este el peor episodio en la última década (2). Cerca del 55 % de la población colombiana se encuentra en riesgo de contraer estas enfermedades o morir a causa de ellas, debido a que *A. aegypti* está presente en zonas que se encuentran por debajo de 2.200 msnm (3).

En términos económicos, el costo del dengue para Colombia se cuantificó en aproximadamente \$167 millones de dólares en el año 2010, con un registro de 292 muertes confirmadas por dengue para ese año. En términos de discapacidad, la carga del dengue para Colombia fue estimada en 57.017 DALY (siglas en inglés de Años de Vida Ajustados por Discapacidad) para ese mismo año (4).

El Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas (CIDEIM) en conjunto con la corporación para la investigación de la corrosión (CIC) y las Secretarías de salud de Girón-Santander, Yopal-Casanare y Buga-Valle desarrollaron un Sistema Integrado de Gestión el cual tiene como producto principal un software llamado VECTOS. Este software permite visualizar la información epidemiológica, entomológica y social a nivel de georreferencia, en un periodo de tiempo diario, además de generar alertas tempranas por barrio, y realizar un análisis estratificado del riesgo de acuerdo a índices de infestación, casos reportados, número de criaderos, entre otras variables. La información suministrada por el software busca responder a los diversos determinantes de transmisión del dengue en contextos locales, a través de un análisis y evaluación

de las variables asociadas a la transmisión del dengue (epidemiológica, entomológica y social), con el fin de facilitar la toma de decisiones basadas en información y así facilitar el diseño y evaluación de estrategias de prevención y control del dengue.

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de costo-efectividad (ACE) del uso del software VECTOS en el control rutinario de vectores en el municipio de Girón (Santander) para el año 2016. Se evaluaron los factores que afectan la costo-efectividad del software usando como comparador el control rutinario del municipio de Floridablanca, de características similares a las de Girón, que no hace uso del software y que como el municipio de Girón planea y ejecuta estrategias de control vectorial de acuerdo a los lineamientos de las guías del INS (Instituto Nacional de Salud).

### **Materiales y métodos**

En los estudios de costo-efectividad es usual definir la pregunta de evaluación económica en el formato PICOT (Población, Intervención, Comparador o Control, “Outcome” o Desenlace y Tiempo) (5). A continuación, se definirá cada uno de los elementos que fueron empleados en la pregunta de evaluación económica:

#### ***Población***

VECTOS se diseñó para ser implementado en las cabeceras urbanas de los municipios donde el dengue es una enfermedad endémica. Para este estudio en particular se empleó la información recolectada en Girón, municipio que implementó desde el año 2015 el uso del software VECTOS, ubicado en el departamento de Santander con una cabecera urbana de 170.917 habitantes para el año 2016 (6).

### ***Perspectiva del análisis***

Este estudio se realizó desde la perspectiva del ente territorial municipal. Se adoptó esta perspectiva dado que VECTOS está concebido como un sistema de planeación y focalización local. La autoridad de salud local tiene como objetivo reducir la morbilidad de las enfermedades transmitidas por el vector *A. aegypti*, dado una disponibilidad de recursos limitada. Teniendo en cuenta esta perspectiva, los costos a tener en cuenta son los incurridos por las secretarías de salud de los entes territoriales en la planeación y ejecución de sus programas de control vectorial.

### ***Intervención***

VECTOS es un software integrado de análisis y estratificación de variables asociadas a la transmisión de dengue (epidemiológicas, entomológicas y sociales). El software permite facilitar la toma de decisiones basadas en información, a través de la visualización georreferenciada de la información epidemiológica, entomológica y social recolectada, en un periodo de tiempo diario, con una interfaz que permite generar alertas tempranas por barrio, y realizar un análisis estratificado del riesgo de acuerdo a índices de infestación, casos reportados y número de criaderos, entre otras variables. Lo anterior, con el fin de diseñar y evaluar las estrategias de prevención y control de las enfermedades transmitidas por el vector *A. aegypti* en contextos locales.

El software integra esta información para generar indicadores de estratificación del riesgo a nivel de barrio y visualiza estos indicadores en una georreferenciación en tiempo real, permitiendo que las autoridades puedan adoptar estrategias de



control focalizado a nivel de barrios o comunas adaptadas a los factores de riesgo preponderantes en cada localidad.

La información entomológica es recolectada a través de la aplicación móvil SPECTRA, que a su vez está integrada con VECTOS permitiendo el cargue directo de los datos al sistema por parte de los técnicos del municipio cuyo trabajo es realizar los levantamientos entomológicos. El aplicativo tiene en cuenta la productividad de mosquitos por hogar a través del conteo de pupas y la identificación positiva o negativa de la presencia de larvas en recipientes de agua (Índice de breteau). Adicionalmente, caracteriza los contenedores de agua en los hogares con el fin de identificar factores de riesgo a nivel de hogar, extrapolándolos a la unidad espacial de barrio.

A nivel epidemiológico, el software obtiene la información de los datos suministrados al Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA). Las secretarías de salud municipales tienen la función de recolectar el reporte de casos en eventos de salud pública reportados por los prestadores de salud. Esta información fue compilada y cargada semanalmente al SIVIGILA y de forma paralela al sistema VECTOS, el cual se encargó de depurar la información, caracterizarla por caso y georreferenciarla a nivel de barrio por la dirección reportada. El componente social del sistema obtiene información de las encuestas realizadas por los técnicos en la visita de los hogares. La encuesta busca capturar información sobre condiciones de riesgo socioeconómicas como estado de la vivienda, acceso a servicios públicos y hacinamiento, entre otros.

Una vez integrados estos componentes, el software estratifica el riesgo por barrio y sugiere que estrategias se deben implementar en cada barrio de acuerdo a los

factores de riesgo de transmisión en cada uno de estos. El software prioriza las estrategias de control implementadas en el municipio de acuerdo a si el riesgo proviene de presencia de criaderos, potenciales criaderos, alta presencia de vectores adultos, incidencia de enfermedades y condiciones sociales de los hogares. Las estrategias implementadas en ambos municipios fueron las recomendadas por la guía del INS y el Ministerio de Salud y Protección Social. Estas incluyen la eliminación de criaderos, la intervención de focos específicos (e.g. tanques altos y sumideros) y el control químico del vector en etapas larval y adulta, incluyendo para Girón la entrega de mosquiteros tratados con insecticida. También se hicieron campañas educativas y entrega de información de prevención en barrios, IPS, y a poblaciones vulnerables.

El software está comprendido por una interfaz intuitiva y de fácil manejo, está dirigido para que sea usado por los coordinadores de ETV de los municipios y tiene un módulo de consulta que puede ser usado por secretarios de Salud o personal involucrado en las estrategias de control de ETV.

### ***Comparador***

Como comparador (i.e. grupo control) se utilizó el programa rutinario de control vectorial de Floridablanca, el cual no hizo uso de VECTOS y ejecuta las estrategias de control de ETV basado en las guías del INS y la información entomológica y epidemiológica que recolectan a nivel local. Este municipio limita con Girón y al igual que este, hace parte del área metropolitana de Bucaramanga estando a 1 km de distancia. Este municipio cuenta con una población proyectada en cabeceras urbanas de 257.265 habitantes (7).

La figura 1 ilustra el comportamiento temporal de la incidencia de dengue por cien mil habitantes en los dos municipios evaluados, la cual presentó un aparente alto grado de correlación para el periodo enero de 2014 a diciembre de 2016 con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,802. En cuanto a la magnitud de la incidencia, en el periodo comprendido entre el año 2014 y 2015 el comportamiento de las incidencias fue similar a un nivel de confianza del 95% ( $t= 1,8709$ ,  $gl= 25$ ,  $p= 0,07$ ), mientras que durante el año 2016 se presentó una divergencia entre febrero y mayo, siendo la incidencia significativamente mayor en el municipio comparador a un nivel de confianza del 95% ( $t= 3,2736$ ,  $gl= 12$ ,  $p=0,007$ ).

**Desenlace**

En este estudio se analizó como desenlace final los DALY (abreviatura en inglés para años de vida ajustados por discapacidad) derivados de los casos reportados de dengue y muertes por dengue. La ecuación 1 muestra el cálculo empleado para estimar esta variable:

$$DALY = YLL + YLD \dots\dots\dots(1)$$

A su vez para el cálculo de los YLL (abreviatura en ingles de Años de Vida Perdidos) se empleó la ecuación 2:

$$YLL = N C e^{(ra)} / (\beta + r)^2 [e^{-(\beta+r)(L+a)} [-(\beta + r)(L + a) - 1] - e^{-(\beta+r)a} [-(\beta + r)a - 1]] \dots\dots\dots(2)$$

Y para los YLD (abreviatura en ingles de Años vividos en discapacidad) la ecuación 3:

$$YLD = I DW C e^{(ra)} / (\beta + r)^2 [e^{-(\beta+r)(L+a)} [-(\beta + r)(L + a) - 1] - e^{-(\beta+r)a} [-(\beta + r)a - 1]] \dots\dots(3)$$

En donde: I: Número de casos incidentes, DW: Ponderador de discapacidad, N: Número de muertes por dengue, C: Constante correctora del ponderador de edades, r: Tasa de descuento,  $\beta$ : Parámetro de la función ponderadora de edades, a: Edad de inicio de síntomas y L: Tiempo (días) perdidos por discapacidad o muerte prematura.

En este estudio no se tuvo en cuenta la información reportada de Zika y chikungunya, dado que no se dispone de información para Colombia de la carga de estas enfermedades y son virus introducidos en el país recientemente. Se emplearon los parámetros estimados en un estudio sobre la carga de enfermedad del dengue para Colombia (4). Del diferencial entre la razón de costos y efectividad de implementación de VECTOS y la alternativa de no implementación del software se obtiene la Razón Incremental de Costo-Efectividad (RICE) representada por la ecuación 4:

$$RICE = \frac{(COSTOS_1) - (COSTOS_2)}{DESENLACES_1 - DESENLACES_2} \dots\dots\dots(4)$$

En esta razón el subíndice 1 denota el uso de VECTOS mientras que el subíndice 2 denota el programa de control de vectores rutinario en Floridablanca.

**Horizonte temporal**

El horizonte temporal de este estudio fue de un año, los datos fueron recolectados para el año 2016. Este horizonte refleja los efectos de llevar a cabo estrategias de control vectorial basadas en evidencia (8).

## **Costos**

Los costos fueron recolectados empleando la metodología de micro costeo de abajo hacia arriba, cuantificando los recursos empleados en cada una de las actividades ejecutadas mensualmente (9). Los costos fueron clasificados por estrategia y en costos recurrentes y de capital de acuerdo a la metodología de la OMS (10). La fuente de los datos de los costos de las intervenciones proviene de la contabilidad de los municipios, la contratación, los registros trimestrales de ejecución de recursos y las bitácoras diarias de ejecución de actividades realizada por CIDEIM. En esta fase del proyecto los costos del sistema VECTOS fueron asumidos por CIDEIM y para esta evaluación fueron imputados al programa de control de vectores de Girón. El costo asignado a VECTOS corresponde a un valor mensual cobrado a un municipio por los servicios prestados de implementación, puesta en marcha y acompañamiento continuo en el uso del sistema, este costo incluye recurso humano, insumos y recurso tecnológico. La totalidad el costo del software no podía ser asignada a un solo municipio ya que este está concebido como un sistema que integre un número significativo de entes territoriales.

Parte del costo del programa de ETV de Girón empleado en este estudio tuvo como insumo el trabajo sobre costos de programas de control vectorial para entes territoriales en Colombia de Salinas-López et al. (11).

Para otros costos a los que no se pudo acceder a una fuente confiable se empleó la tabla de precios internacionales disponibles en el portal WHO-CHOICE de la OMS (12). Los costos fueron recolectados en pesos colombianos (\$COP) del año 2016 y se convirtieron a Dólares Americanos (\$USD) a la tasa de cambio de \$1

USD= \$3.053,42 (\$COP), esta tasa de cambio corresponde al promedio anual de la tasa representativa del mercado en el 2016.

### **Modelo**

Para las evaluaciones económicas de enfermedades infecciosas se considera más apropiado el uso de modelos dinámicos, ya que estos ofrecen una aproximación más realista de la trasmisión de estas enfermedades (13). En el caso del dengue, para realizar una modelación de este tipo se requiere capturar parámetros que involucran una interacción compleja entre humanos, vectores, ambiente y serotipos del virus (14), información que no estaba disponible para los casos estudiados de los controles rutinarios de Girón y Floridablanca.

Por tanto, se consideró el uso de un árbol de decisión como modelo de análisis, este modelo asume la trasmisión del dengue como estática al estar capturada únicamente en la tasa de incidencia por cien mil habitantes para cada una de las poblaciones analizadas, pero, refleja las condiciones de incertidumbre y las disyuntivas relevantes que implica la evaluación de un programa de este tipo (15). Ante la ausencia de un umbral en términos de DALY evitados para Colombia, se tomó como umbral de costo-efectividad el planteado por la comisión macroeconómica de la OMS, la cual estableció que una estrategia es muy costo efectiva si tiene un valor de un PIB per cápita por DALY evitado y costo efectiva si es inferior a tres veces el PIB per cápita de cada país (16).

Los parámetros empleados en la estimación del modelo pueden ser vistos en el cuadro 1, estos son tomados de la recolección de datos realizada y de la literatura. Para la estimación del modelo se empleó el software TreeAge Pro 2012 (TreeAge Software Inc., Williamstown, MA, USA).

## Resultados

Como primer resultado, el análisis de costos de cada uno de los programas de control de ETV de los municipios estudiados puede verse en el cuadro 2, en general el programa de Floridablanca fue más costoso que el de Girón, siendo la mayor fuente de costos los recurrentes con cerca del 77 % del total, el rubro de personal representó cerca de un 45 % del total. El uso e implementación del VECTOS representó para control rutinario de vectores Girón cerca del 28 % del total de los costos, lo que equilibró la composición entre costos recurrentes y de capital del programa, no obstante, excluyendo VECTOS el programa es predominantemente intensivo en costos recurrentes y principalmente de personal. Los resultados del modelo determinístico sugieren que la alternativa del software VECTOS implementada en Girón es más costo efectivo que el programa rutinario de ETV ejecutado en Floridablanca. El cuadro 3 resume los resultados del Análisis Determinístico, se puede destacar que el programa Rutinario de ETV de Floridablanca cuesta US\$23.172 más que el de Girón, aun teniendo el programa de Girón un costo mensual adicional promedio de US\$3.398 atribuibles al VECTOS (cuadro 2). En cuanto a efectividad, aunque el programa de Floridablanca destina más recursos, se observa que la carga del dengue es de 35,09 DALY más que en Girón, lo que indica una baja efectividad en relación a Girón a reducir la morbilidad del dengue. La Razón Incremental de Costo-Efectividad (RICE) indica que el control rutinario más VECTOS Girón empleó US\$660,4 menos que el control rutinario de Floridablanca por cada DALY evitado. Teniendo en cuenta el modelo planteado, el resultado a nivel de individuo se resume en el cuadro 4. Este resultado se obtiene de ingresar un individuo al

modelo teniendo en cuenta las probabilidades de contraer la enfermedad en cada una de las alternativas del árbol de decisión. Este resultado indica que continúa siendo más costo efectiva la alternativa del sistema VECTOS implementada en Girón, donde se evitaron 0,24 DALY a un costo inferior de US\$23.586 respecto al control rutinario de Floridablanca. Cabe anotar que el desenlace disminuye su magnitud debido a que la probabilidad de que un individuo se infecte en cada uno de los municipios es baja, esta probabilidad es derivada de incidencia anual de dengue en el año 2016.

Un análisis univariado tomando la variable de efectividad de DALY para el control rutinario más VECTOS en Girón indica que el umbral de indiferencia entre ambas alternativas se alcanza cuando esta variable toma el valor de 103,5 DALY.

Mientras que el análisis univariado de los costos ubica el umbral de indiferencia de costo-efectividad en \$169.836 USD para la variable del Costo Total en el control rutinario de Girón. Los resultados de estos análisis de sensibilidad indican que la costo-efectividad es mucho más sensible a cambios en el costo del programa, puesto que el umbral en términos de DALY equivale a casi seis veces la medición inicial del programa rutinario más VECTOS Girón, mientras que el umbral de costos equivale a cerca de un 16 % de la estimación de costos inicial del programa rutinario más VECTOS de Girón.

Los resultados del análisis probabilístico sugieren que el sistema VECTOS continúa siendo la alternativa más costo efectiva. La figura 2 muestra un gráfico de dispersión de las 10.000 iteraciones de la simulación de Montecarlo, se puede observar que la mayor parte de los puntos de la alternativa VECTOS se ubican en la zona de mayor efectividad y menor costo frente a la alternativa del control



rutinario de Floridablanca. En promedio la efectividad de la alternativa VECTOS fue de 0,05 DALY y su costo promedio fue de US\$146.484, mientras que para la alternativa del control rutinario de Floridablanca la efectividad promedio fue de 0,28 DALY y el costo promedio fue de US\$170.070. La curva de aceptabilidad expresa el porcentaje de iteraciones que resultaron costo efectivas para cada alternativa en varios niveles disponibilidad a pagar por las alternativas. Cerca del 70 % de las 10.000 iteraciones fueron costo efectivas para la alternativa VECTOS para un rango de disponibilidad a pagar de 1 a 3 PIB per cápita de Colombia en el año 2016.

## **Discusión**

Los resultados indican que el software VECTOS implementado en el control rutinario del municipio de Girón fue más costo efectivo frente al programa rutinario de control de vectores en Floridablanca para el periodo analizado. El análisis de costo-efectividad evaluó el valor económico de un sistema de planeación de programas de ETV a nivel de entes territoriales. El modelo basado en la metodología del árbol de decisión permitió determinar que el software VECTOS implementado en Girón generó una aparente menor carga de dengue en términos de DALYs y a un costo inferior, que el programa rutinario de ETV en Floridablanca. Este resultado puede indicar que sistemas basados en generar evidencia, al momento de tomar decisiones en el control vectorial para prevenir el dengue, son más costo efectivo, como ya lo ha señalado la literatura (8).

En cuanto a los costos de los programas de ETV evaluados, los resultados son consistentes con lo hallado en la literatura, las intervenciones en ETV involucran

un uso importante de personal remunerado y no remunerado, principalmente si los programas están enfocados en estrategias que involucran a la comunidad (17-19). La literatura muestra que los estudios de costo-efectividad se han enfocado sobre todo en analizar intervenciones específicas sobre grupos poblacionales focalizados (20-24). Una limitación del estudio es no analizar las estrategias específicas implementadas en cada uno de los municipios, lo que impidió identificar la costo-efectividad a nivel de estrategias y población focalizada. La hipótesis que se plantea es que las estrategias implementadas en Girón fueron planeadas y priorizadas de acuerdo a factores de riesgo (entomológicos, epidemiológicos y sociales) que brindó y estratificó el software en tiempo real y de manera integrada, lo que permitió realizar intervenciones basadas en riesgo focalizados por barrio, por tanto, una parte significativa de la efectividad de las estrategias aplicadas puede estar explicada por el uso del software.

Los análisis de sensibilidad demostraron que la alternativa VECTOS es costo efectiva en escenarios de incertidumbre sobre los principales parámetros tales como la disponibilidad a pagar, el costo de cada uno de los programas y los pesos de la discapacidad en el cálculo de los DALY. El análisis mostró que la decisión es más sensible a cambios en el costo de cada programa que a la magnitud de la carga de enfermedad generada en cada municipio. Esto coincide con la realidad que enfrentan los municipios colombianos con múltiples necesidades de salud y recursos limitados; por tanto, es prioritario el uso de análisis como el presentado aquí para optimizar el uso de los recursos.

En relación a los factores no controlables, este estudio presenta limitaciones.

Primero, los múltiples factores implicados en la transmisión de la enfermedad no

son cubiertos por los programas de salud pública locales que solo se encargan de controlar la población de adultos del vector y sus potenciales criaderos (25).

Segundo, la información epidemiológica de casos reportados puede presentar subestimación para ambos municipios. El sub registro viene desde la notificación de los casos, si los casos son reportados en los centros ambulatorios o si son de origen hospitalario, si son confirmados por laboratorio o son casos sospechosos por síntomas ,así como por la no asistencia de las personas a los puestos de salud en cuanto presentan los síntomas (26,27). Por tanto, la estimación presentada de carga de la enfermedad puede estar afectada en ambos municipios por este hecho ya que esta está calculada con los indicadores de morbilidad reportados en SIVIGILA (26). Si bien el municipio intervenido con VECTOS mostró una carga de enfermedad menor, cabe resaltar que aislar el efecto del software sobre la morbilidad es complejo, más aun si en periodos anteriores la magnitud de la incidencia del dengue era dispar entre los municipios analizados. Por último, no fue posible realizar un modelo dinámico que pudiese dar una aproximación más realista de la trasmisión del dengue en los municipios, metodologías que son más apropiadas para el análisis de enfermedades infecciosas (13).

En términos per cápita, los controles rutinarios de ambos municipios son comparables si no tenemos en cuenta el costo de VECTOS. Para el municipio de Girón el costo per cápita es de \$0,62 USD, mientras que para Floridablanca es de \$0,66 USD, por tanto el efecto de la escala mayor en los costos por cuenta de una mayor población expuesta en el municipio comparador no se considera determinante. Aunque el enfoque de este estudio se centra en el costo de la ejecución de los programas de control vectorial, cabe resaltar que los costos de

mayor magnitud asociados al dengue reportados en la literatura corresponden a los costos del sistema de salud y los indirectos producidos por pérdida de productividad, que podrían a su vez indicarnos que cada caso evitado tiene un impacto mayor en términos de carga para la sociedad (28).

Las implicaciones en términos de política de los resultados de esta investigación podrían ser la adopción por parte de los entes territoriales del software VECTOS o una herramienta similar. Esta herramienta mejora la planeación de estrategias y recursos dirigidos al control de enfermedades transmitidas por el vector *A. aegypti*. El software responde a las necesidades de los entes territoriales que presentan un déficit en personal capacitado para el manejo de los programas de ETV (29). Los reportes que genera el software y su interfaz están diseñados para ser de fácil manejo y entendimiento, facilitando la planeación para optimizar el manejo de los recursos escasos de los programas de ETV (30). Además, el software VECTOS permite integrar el componente de vigilancia epidemiológica y entomológica en un sistema de información en tiempo real para la toma de decisiones. La ventaja del software es que se ajusta a las políticas locales de ETV y las mejora, es un trabajo coordinado con los entes territoriales y no una intervención introducida por un tercero.

La dificultad que puede tener el software es que requiere que los municipios en los que se implemente tengan una dependencia municipal de ETV que se encargue de recolectar información, garantizar su fiabilidad y que cuente con los recursos suficientes para realizar un plan integral de intervenciones. Dado este contexto, podemos decir que el máximo aprovechamiento del software se logra en municipios de categoría de autonomía fiscal y de población 1, 2 y 3. Para los

municipios de categoría 4, 5 y 6 el software debería ser administrado por el ente departamental, dado la necesidad de recursos económicos, humanos y tecnológicos que requiere el software.

Por último, los resultados de este estudio son relevantes en el sentido de que generan evidencia de costo-efectividad de una tecnología nueva en el control de las enfermedades transmitidas por *A. aegypti*. El marco metodológico empleado puede ser replicado con información futura, con el fin de ampliar el horizonte del estudio y capturar impactos perdurables en el tiempo. Así como puede ser replicado para otras localidades donde el sistema sea implementado, dado que el modelo de análisis tiene como insumos información disponible en los entes territoriales de Colombia.

### **Agradecimientos**

Se agradece a la Secretaría de Salud de Girón y su respectiva coordinación de ETV y a la Secretaría de Salud de Floridablanca por el suministro de la información necesaria para realización de este estudio. A la Corporación CIDEIM, por su orientación en el manejo de datos epidemiológicos y la literatura sobre las arbovirosis urbanas. Por último, se agradece al equipo del centro de estudios en protección social y economía de la salud PROESA por el apoyo recibido.

### **Conflictos de interés**

Los autores manifiestan no presentar ningún tipo de conflicto de interés.

### **Financiación**

Este proyecto fue financiado a través del programa “Desarrollo investigación aplicada para contribuir a un modelo efectivo y sostenible de intervención del dengue en Santander, Casanare y Valle del Cauca”, financiado por el Sistema

General de Regalías (SGR), Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) aprobado por el Órgano Colegiado de Administración y Decisión (OCAD), mediante el Acuerdo 009 de 2013.

## Referencias

1. **Instituto Nacional de Salud.** Boletín epidemiológico semanal No. 52 de 2016. INS: Bogotá D.C; 2016. Fecha de consulta: 28 de noviembre de 2017  
Disponibile en: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2016%20Bolet%C3%ADn%20epidemiol%C3%B3gico%20semana%2052%20-.pdf>
2. **Castrillón JC, Castaño J, Urcuqui S.** Dengue en Colombia, diez años de evolución. Rev Chil Infectol. 2015;32. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182015000300002>
3. **Chaparro P, León W, Castañeda CA.** Comportamiento de la mortalidad por dengue en Colombia entre 1985 y 2012. Biomédica 2016;36(Supl.2):125-34. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i0.3009>
4. **Castro Rodríguez R, Carrasquilla G, Porras A, Galera-Gelvez K, Yescas JG, Rueda-Gallardo JA.** The burden of dengue and the financial cost to Colombia, 2010-2012. Am J Trop Med Hyg. 2016;94:1065-72. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0280>
5. **Guyatt G, Rennie D, Meade M, Drummond MD.** Users' guides to the medical literature: essentials of evidence-based clinical practice. Second Edition. New York: American Medical Association, McGraw-Hill Education; 2002. <https://doi.org/10.1036/0071590382>

6. **Departamento Nacional de Planeación.** Fichas de caracterización territorial módulo territorial. Bogotá D.C: DNP; 2017. Fecha de consulta: 30 de marzo de 2018. Disponible en:  
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/FIT/PDF/81000.pdf>
7. **Departamento Nacional de Planeación.** Fichas de caracterización territorial Floridablanca. Bogotá D.C; 2017. Fecha de consulta: 30 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Paginas/Fichas-de-Caracterizacion-Regional.aspx>
8. **Pepin KM, Marques-Toledo C, Scherer L, Morais MM, Ellis B, Eiras AE.** Cost-effectiveness of novel system of mosquito surveillance and control, Brazil. *Emerg Infect Dis.* 2013;19:542-50. <https://doi.org/10.3201/eid1904.120117>
9. **Hendriks ME, Kundu P, Boers AC, Bolarinwa OA, Te Pas MJ, Akande TM, et al.** Step-by-step guideline for disease-specific costing studies in low- and middle-income countries: A mixed methodology. *Glob Health Action.* 2014;7:23573. <https://doi.org/10.3402/gha.v7.23573>
10. **Johns B, Baltussen R, Hutubessy R.** Cost effectiveness and resource programme costs in the economic evaluation of health interventions. *Cost Eff Resour Alloc.* 2003;1:1. <https://doi.org/10.1186/1478-7547-1-1>
11. **Salinas-López MA, Soto-Rojas VE, Ocampo CB.** Costos de un programa de control del vector *Aedes aegypti* en municipios de Colombia: el caso de Girón y Guadalajara de Buga, 2016. *Cad Saúde Pública.* 2018;34:e00044518. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00044518>

12. **World Health Organization (WHO)**. Table: Prices and useful lives of tradable capital goods. Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2017. Disponible en: [http://www.who.int/choice/cost-effectiveness/inputs/capital\\_goods/en/](http://www.who.int/choice/cost-effectiveness/inputs/capital_goods/en/)
13. **Lugner AK, Mylius SD, Wallinga J**. Dynamic versus static models in cost-effectiveness analyses of anti-viral drug therapy to mitigate an influenza pandemic. *Health Econ*. 2010;19:518-31. <https://doi.org/10.1002/hec.1485>
14. **de Castro Medeiros LC, Castilho CA, Braga C, de Souza WV, Regis L, Monteiro AM**. Modeling the dynamic transmission of dengue fever: Investigating disease persistence. *PLoS Negl Trop Dis*. 2011;5:1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000942>
15. **Ryder HF, McDonough C, Tosteson AN, Lurie JD**. decision analysis and cost-effectiveness analysis. *Semin Spine Surg*. 2009;21:216-22. <https://doi.org/10.1053/j.semss.2009.08.003>
16. **Sachs JD**. Macroeconomics and health: investing in health for economic development: report of the commission on macroeconomics and health. *Nat Med*. 2001;8:1-200. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nm0602-551b>
17. **Baly A, Toledo ME, Lambert I, Benítez E, Rodriguez K, Rodriguez E, et al**. Cost of intensive routine control and incremental cost of insecticide-treated curtain deployment in a setting with low *Aedes aegypti* infestation. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2016;49:418-24. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0368-2015>
18. **Thalagala N, Tissera H, Palihawadana P, Amarasinghe A, Ambagahawita A, Wilder-Smith A, et al**. Costs of dengue control activities and hospitalizations in the public health sector during an epidemic year in urban Sri



Lanka. PLoS Negl Trop Dis. 2016;10:1-13.

<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004466>

19. **Alfonso-Sierra E, Basso C, Beltrán-Ayala E, Mitchell-Foster K, Quintero J, Cortés S, et al.** Innovative dengue vector control interventions in Latin America: what do they cost? *Pathog Glob Health*. 2016;110:14-24.

<https://doi.org/10.1080/20477724.2016.1142057>

20. **Suaya JA, Shepard DS, Chang MS, Caram M, Hoyer S, Socheat D, et al.** Cost-effectiveness of annual targeted larviciding campaigns in Cambodia against the dengue vector *Aedes aegypti*. *Trop Med Int Heal*. 2007;12:1026-36.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01889.x>

21. **Baly A, Toledo ME, Boelaert M, Reyes A, Vanlerberghe V, Ceballos E, et al.** Cost effectiveness of *Aedes aegypti* control programmes: participatory versus vertical. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 2007;101:578-86.

<https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2007.01.002>

22. **Hanson K, Kikumbih N, Armstrong Schellenberg J, Mponda H, Nathan R, Lake S, et al.** Cost-effectiveness of social marketing of insecticide-treated nets for malaria control in the United Republic of Tanzania. *Bull World Health Organ*. 2003;81:269-76.

23. **Mendoza-Cano O, Hernández-Suárez CM, Trujillo X, Díaz-López HO, Lugo-Radillo A, Espinoza-Gómez F, et al.** Cost-effectiveness of the strategies to reduce the incidence of dengue in Colima, México. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080890>

24. **Tozan Y, Ratanawong P, Louis VR, Kittayapong P, Wilder-Smith A.** Use of insecticide-treated school uniforms for prevention of dengue in schoolchildren: A

cost-effectiveness analysis. PLoS One. 2014;9:1-9.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108017>

25. **WHO.** Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention, and control.

Geneva: WHO; 2009. P. 147. Fecha de consulta: 29 de diciembre de 2017.

Disponible en:

[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44188/9789241547871\\_eng.pdf;jsessionid=C8E3B9C4C8AA3569A0353015DCD389FD?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44188/9789241547871_eng.pdf;jsessionid=C8E3B9C4C8AA3569A0353015DCD389FD?sequence=1)

26. **Pacheco O, Martínez M, Alarcón A, Bonilla M, Caycedo A, Valbuena T,**

**et al.** Estimación del subregistro de casos de enfermedad por el virus de

Chikungunya en Girardot, Colombia, noviembre de 2014 a mayo de 2015.

Biomédica. 2017;37:507-15. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v37i4.3370>

27. **Constenla D, Armien B, Arreondo J, Carabali M, Carrasquilla G, Castro**

**R, et al.** Costing dengue fever cases and outbreaks: recommendations from a

costing Dengue Working Group in the Americas. Value Health Reg Issues.

2015;8:80-91. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2015.06.001>

28. **Laserna A, Barahona-Correa J, Baquero L, Castañeda-Cardona C,**

**Rosselli D.** Economic impact of dengue fever in Latin America and the Caribbean:

a systematic review. Rev Panam Salud Pública. 2018;42:e111.

<https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.111>

29. **Carrasquilla G.** Descentralización, reforma sectorial y control de la malaria

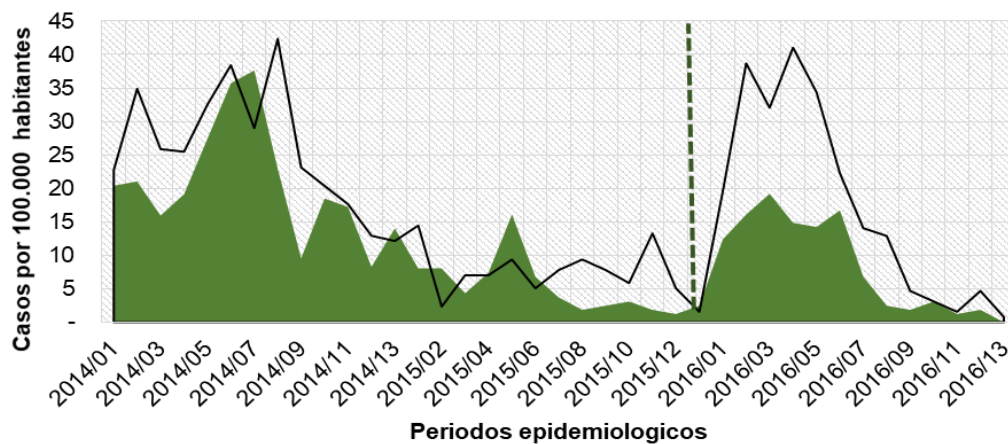
en Colombia. En: Yadón ZE, Gürtler RE, Tobar F, Medici AC, editores.

Descentralización y gestión del control de las enfermedades transmisibles en

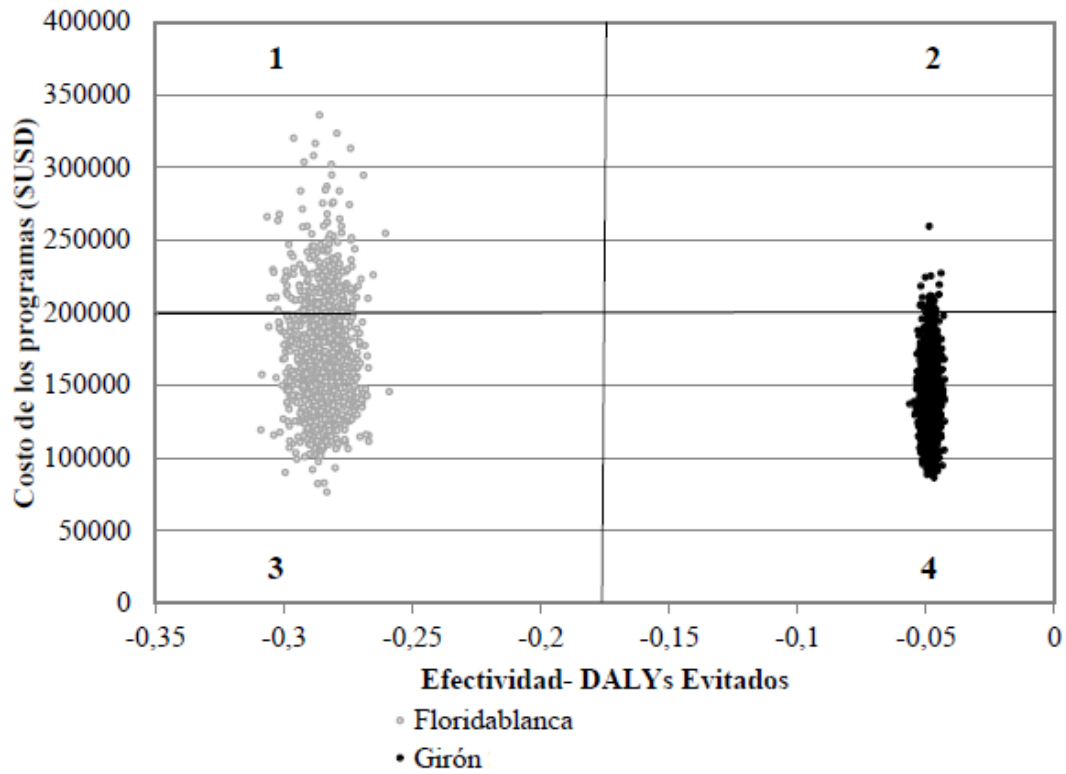
América Latina. Washington D.C.: OPS; 2006.

30. **Kroeger A, Ordoñez-Gonzalez J, Aviña AI.** Malaria control reinvented: Health sector reform and strategy development in Colombia. *Trop Med Int Health.* 2002;7:450-8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3156.2002.00876.x>

**Figura 1.** Incidencia del dengue (2014-2016) en el municipio de Girón (área verde) intervenido con el software VECTOS e intervenciones de control rutinarias y el municipio de Floridablanca (línea negra), que actuó como control, con solo intervenciones rutinarias. La línea punteada vertical indica el mes de enero de 2016, cuando se empezó a usar VECTOS en el municipio de Girón. (Fuente de datos: SIVIGILA).



**Figura 2.** Análisis de sensibilidad, diagrama de dispersión de 10.000 iteraciones del modelo de Costo-Efectividad. En el plano de costo-efectividad, se identifican cuatro cuadrantes: 1: Escenario menos deseable, más costoso y menos efectivo, 2 y 3: Trade-off entre ahorro en costo u obtener más efectividad y 4: Escenario más deseable, menos costoso, más efectivo.



Cuadro 1. Parámetros del Modelo de decisión. Describe los parámetros empleados en el modelo de decisión, incluye los valores, los rangos en que fluctúan los parámetros, las distribuciones de probabilidad y el origen o fuente de los datos. Los parámetros que acompañan la distribución Gamma son  $\kappa$  y  $\lambda$ , para la distribución Beta son  $\alpha$  y  $\beta$  calculados partir de una aproximación de la media y la desviación estándar.

Parámetro	VECTOS y Control Rutinario (Girón)			Control Rutinario (Floridablanca)		
	Valor base (Rango)	Distribución	Fuente	Valor base (Rango)	Distribución	Fuente
Tasa de incidencia anual de dengue (%)	0,28	Beta (459, 166,149)	SIVIGILA	0,54	Beta (1,391, 255,315)	SIVIGILA
Peso de discapacidad del dengue	0,81 (0,6-0,92)	Estimación fija	(4)	0,81 (0,6-0,92)	Estimación fija	(4)
Costo promedio mensual de Personal (\$USD)	4.188	Gamma (6,46, 0,00154)	Recolección de datos	6.321	Gamma (6,45, 0,00102)	Recolección de datos <sup>1</sup>
Costo promedio mensual operacionales(\$USD)	1.833	Gamma (6,45, 0,003)	Recolección de datos	3.603	Gamma (6,46, 0,00179)	Recolección de datos
Costos de promedio mensual Insumos (\$USD)	0	-	-	846	Gamma(6,45, 0,00763)	Recolección de datos
Costos de promedio mensual Capital (\$USD)	1.424	Gamma (6,47, 0,00454)	Recolección de datos	3.383	Gamma (6,45, 0,00191)	Recolección de datos
Costo promedio mensual de VECTOS(\$USD)	3.398	Gamma (6,46, 0,0019)	Recolección de datos	0	-	-
Costo promedio mensual de Toldillos (\$USD)	776	Gamma(6,47, 0,00834)	Recolección de datos	0	-	-
Costo promedio mensual de larvicida (\$USD)	88	Gamma (6,32, 0,07184)	Recolección de datos	0	-	No se modeló
Costo promedio mensual de adulticida (\$USD)	515	Gamma (6,44, 0,0125)	Recolección de datos	0	-	No se modeló
DALY	17,62 (13,05-20,01)	Estimación fija	Cálculos propios	52,71 (39,05-59,87)	Estimación fija	Cálculos propios
Umbral de Costos (\$USD) 5,861-17,583 Análisis de umbral						

<sup>1</sup> Contabilidad de los municipios, contratación y registros trimestrales de ejecución de recursos y la bitácora diaria de ejecución de actividades del CIDEIM.

Cuadro 1. Costos de los programas de ETV en cada municipio en el año 2016  
(Cifras en \$USD).

Rubros	VECTOS y Control Rutinario (Girón)	%	Control Rutinario (Floridablanca)	%
<b>Recurrentes</b>	<b>79.488</b>		<b>129.237</b>	
Personal	50.254	34,3	75.855	44,7
Operacionales	22.001	15,0	43.230	25,5
Insumos	7.233	4,9	10.153	6,0
<b>Capital</b>	<b>67.163</b>		<b>40.596</b>	
VECTOS	40.770	27,8	-	0,0
Capital	26.393	18,0	40.596	23,9
<b>Total</b>	<b>146.651</b>	<b>100</b>	<b>169.834</b>	<b>100</b>





Cuadro 3. Estimación del modelo determinístico en términos de la razón incremental de costo-efectividad (RICE).

Alternativas	Costo (USD)	Costo incremental (USD)	DALY	DALY Evitados	RICE	Resultado
VECTOS y Control Rutinario (Girón)	\$146.664		17,62			
Control Rutinario (Floridablanca)	\$169.836	\$23.172	52,71	35,09	\$660,36	Dominada



Cuadro 4. Estimación del modelo determinístico en términos de la razón incremental de costo-efectividad (RICE) a nivel de individuo en el modelo de decisión.

Alternativas	Costo (USD)	Costo incremental (USD)	DALY	DALY Evitados	RICE	Resultado
VECTOS y Control Rutinario (Girón)	\$146.664		0,05			
Control Rutinario (Floridablanca)	\$169.836	\$ 23.586	0,29	0,24	98.033	Dominada