

Análisis wavelet de la ocurrencia del dengue en dos departamentos de Colombia

Guido Camargo* Andrés Olarte** Hernando Diaz***
Willem Van Panhuis****

* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia (e-mail: gfcamargo@unal.edu.co)

** Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia (e-mail: hdiazmo@unal.edu.co)

*** Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia (e-mail: hdiazmo@unal.edu.co)

**** University of pittsburgh, Pittsburgh, 15261 PA, (e-mail: wav10@pitt.edu)

Abstract:

En este documento presentamos el análisis espacio-temporal del dengue en dos departamentos de Colombia, por medio de transformadas wavelet. Este análisis permite estudiar los componentes en frecuencia de la ocurrencia del dengue en dichos departamentos. Particularmente, la transformada wavelet cruzada y su ángulo de fase permiten encontrar la relación entre las epidemias de ambos departamentos. Los resultados obtenidos muestran una frecuencia predominante de cuatro años entre los dos departamentos. Sin embargo, en el año 2008, la periodicidad de los brotes disminuye a aproximadamente tres años. Adicionalmente, según el análisis de ángulos de fase, la epidemia de dengue en el departamento de Norte de Santander adelanta a Santander en la mayoría del tiempo estudiado. Como trabajo futuro, esta metodología se puede expandir a toda Colombia con el fin de encontrar patrones espacio-temporales de la epidemia en el país.

Keywords: Epidemiología, Wavelets, Sistemas no-lineales, Sistemas Biológicos, Dengue.

1. INTRODUCCIÓN

El dengue es clasificado como la enfermedad transmitida por vector más importante en el mundo según la Organización Mundial de la Salud (?), con aproximadamente 300 millones de casos anuales en el mundo (?). El principal vector transmisor del virus es el mosquito residencial, es decir, que se alimenta de sangre humana. En varios países de Suramérica, como es el caso de Colombia, se encuentran en circulación los cuatro serotipos del virus con reportes de brotes periódicos desde su re-introducción (?) el último, ocurrió en el 2010 con 140,000 casos reportados. No obstante, en el país, la presencia del serotipo DENV4 no ha sido significativa.

Actualmente, las medidas de control de la epidemia se basan en la erradicación del vector. Sin embargo, estas medidas han mostrado baja eficacia, en parte debido a su aplicación limitada a temporadas de brote (?). Por esta razón, se hace necesario el uso de herramientas de control más efectivas. En consecuencia, varios laboratorios trabajan en el desarrollo de una nueva vacuna eficaz contra los cuatro serotipos del virus. Entre ellas, la opción más avanzada es la propuesta de Sanofi Pasteur que se encuentra en fases finales de pruebas (?) y proporcionaría una nueva herramienta de control disponible en los próximos años (?).

Comprender la dinámica epidemiológica del virus y su distribución espacio-temporal en el país proporcionan información valiosa para los entes encargados de salud pública. Por otro lado, la dinámica de transmisión del dengue es no lineal, por lo que los métodos convencionales de análisis de series de tiempo como Fourier no son adecuados.

Una opción para analizar los componentes en frecuencia de la ocurrencia de dengue es la transformada Wavelet, la cual proporciona información acerca de los componentes en frecuencia de una serie de datos con componentes en frecuencia no estacionarios. Adicionalmente, el análisis wavelet permite encontrar asociaciones entre dos series de tiempo diferentes ?.

El análisis wavelet ha sido usado en diversas ramas de la ciencia, desde economía, ecología hasta en epidemiología (?????). Particularmente en el estudio de la dinámica del dengue, ? analizaron la relación entre el fenómeno del Niño y la incidencia del dengue en Puerto Rico, México y Tailandia mediante la descomposición en frecuencia de las series de tiempo de dengue y del clima. ? realizaron un análisis espacio-temporal de la ocurrencia de dengue en la provincia de Binh Tuhan, Vietnam usando el espectro de potencia de la transformada wavelet para hallar ángulos de desfase entre los diferentes distritos. Usando esta técnica, ? encontraron la relación entre la humedad, lluvias y los brotes anuales de dengue reportados en la región de Hanoi, Vietnam.

Según la revisión bibliográfica realizada, en Colombia no hay ningún estudio que emplee la transformada wavelet para analizar la dinámica espacio-temporal del virus.

En este documento presentamos el análisis espacio-temporal mediante el uso de wavelets de dos departamentos de Colombia donde el dengue es endémico, ubicados al noreste del país, en las cercanías a la frontera con Venezuela.

2. MÉTODOS

2.1 Ubicación de los departamentos estudiados

En este estudio se seleccionaron los departamentos de Santander y Norte de Santander, debido a que el dengue se presenta de forma endémica y con brotes periódicos en estas regiones. En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica de los departamentos, observando que Norte de Santander se ubica en la frontera con Venezuela, mientras que Santander se ubica más al interior del país. El dengue se presenta de forma endémica con brotes periódicos en ambos departamentos, razón por la cuál fueron escogidos para este estudio.

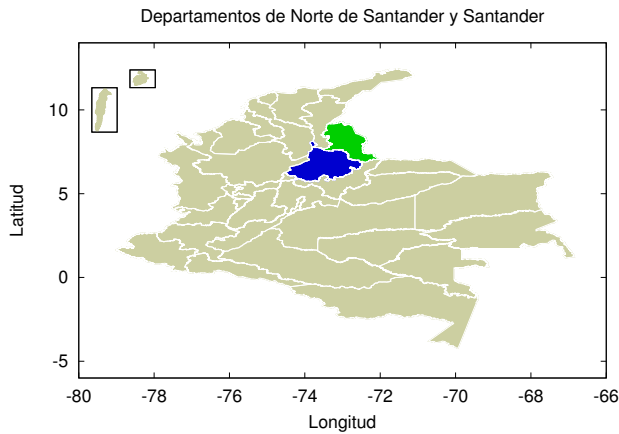


Fig. 1. Ubicación geográfica de los departamentos de Santander (azul) y Norte de Santander (Verde) en Colombia

2.2 Datos

Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos de la dirección de vigilancia epidemiológica (SIVIGILA) del Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS). Estos datos son obtenidos semanalmente por cada uno de los 33 departamentos del país. Esta base de datos constituye la más completa serie de tiempo de casos confirmados de dengue de las últimas décadas.

En la figura 2 se presenta la curva de casos reportados entre los años 1997 y 2012 para ambos departamentos. En esta Figura es posible observar cuatro brotes de la enfermedad para este periodo de tiempo.

Teniendo en cuenta que el interés de este estudio es evaluar la periodicidad en los datos y no su magnitud, se aplicó el logaritmo a cada serie de tiempo. Como se muestra en la figura 3, este procedimiento arroja como resultado señales en donde los cambios en magnitud son menos significativos y de esta forma, facilita la comparación de las señales.

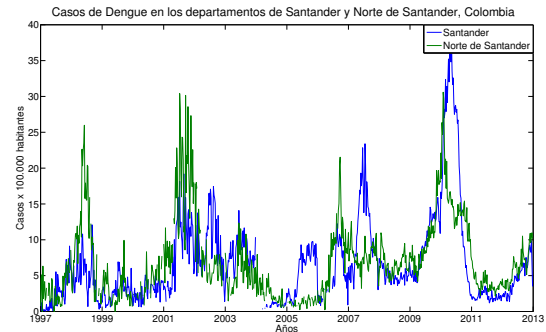


Fig. 2. Incidencia de dengue (Casos x 100,000 habitantes) en los departamentos de Santander (azul) y Norte de Santander (Verde)

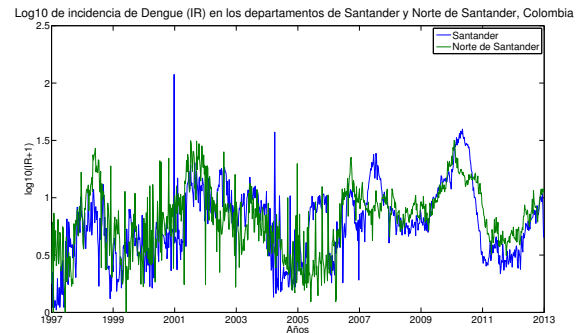


Fig. 3. Logaritmo de la serie de tiempo de la incidencia de dengue (Casos x 100,000 habitantes) en los departamentos de Santander (azul) y Norte de Santander (Verde)

2.3 Transformada Wavelet

Para analizar series de tiempo en términos de frecuencia, frecuentemente se utiliza la transformada de Fourier que permite analizar los diferentes componentes en frecuencia de la señal. Sin embargo, no permite obtener información acerca cambios en estos componente a través del tiempo.

La transformada Wavelet es una alternativa que reproduce los componentes en frecuencia de series de tiempo no estacionarias, de tal manera que es posible abstraer el espectro de potencia en un instante determinado de tiempo. Tendiendo en cuenta que la naturales de los sistemas epidemiológicos, esta técnica fue espada para analizar las series de tiempo de casos de dengue en dos departamentos de Colombia.

En la transformada Wavelet, la señal se reconstruye a partir de una función madre $\Psi_{\omega_0}(t)$. Esta función debe estar definida en tiempo y frecuencia y tener promedio cero (?).

La transformada wavelet continua de una serie de tiempo discreta $x(n)$, se define (?):

$$W_n(s) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \Psi_{\omega_0}^* \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (1)$$

En donde, n representa cada instante instante de tiempo, n' es el parámetros de traslación, Ψ , la función wavelet

madre, $(*)$ representa el complejo conjugado, s representa el factor de escala.

De acuerdo con estudios previos en el análisis de epidemias mediante el uso de wavelets, utilizamos la función wavelet Morlet (??). Esta se define en la ecuación 2 (??).

$$\Psi_{\omega_0}(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (2)$$

En donde ω_0 , representa la frecuencia y t el tiempo. Se escogió un valor de $\omega_0 = 6.0$ de acuerdo con el método seguido en (?). El análisis fue realizado en Matlab, mediante el *toolbox* ASToolbox de Aguiat et al (?).

El análisis espacio-temporal de las epidemias de dengue en los departamentos seleccionados fue realizado usando la transformada wavelet cruzada y ángulos de fase para determinar el retraso de la epidemia de un departamento respecto al otro.

2.4 Wavelet Cruzada

La wavelet cruzada indica la relación entre dos transformadas wavelet de diferentes series de tiempo. De esta manera, permite detectar relaciones en frecuencia y tiempo entre dos series de tiempo no estacionarias. La transformada cruzada wavelet de dos señales x, y se define en la ecuación 3:

$$W_{xy} = W_x W_y^* \quad (3)$$

En donde $*$ representa el complejo conjugado.

2.5 Ángulos de Fase

El ángulo de fase entre dos transformadas wavelet se define en la ecuación 4 y describe el ángulo entre las dos señales wavelet para un determinado ancho de banda en frecuencia. En una epidemia, este ángulo de fase se puede interpretar como la relación en el tiempo entre dos brotes que ocurren en diferentes regiones.

$$\phi_{xy} = \arctan\left(\frac{I(W_{xy})}{\Re(W_{xy})}\right) \quad (4)$$

En donde I, \Re , representan la parte imaginaria y real de la señal, respectivamente.

3. RESULTADOS

En esta sección presentamos el análisis de frecuencia por medio de la transformada wavelet para los datos de dengue en los departamentos seleccionados. A partir de este análisis, encontramos los componentes en frecuencia en cada instante de tiempo para ambas epidemias.

3.1 Transformada Wavelet del dengue en Santander y Norte de Santander

En la figura 4 se presenta el espectro de potencia de la transformada Wavelet para el caso de Santander. En este espectro es posible observar los componentes fundamentales en frecuencia de la señal para cada instante de tiempo en el periodo de estudio. De esta forma, la Figura 4 presenta un espectro de potencia más fuerte en el

periodo de cuatro años hasta el 2007, lo que significa que la ocurrencia de dengue estuvo fuertemente relacionada con una componente periódica de cuatro años. Sin embargo, a partir del año 2008, es posible observar un corrimiento en el espectro de potencia hacia la franja de periodo de 3 años.

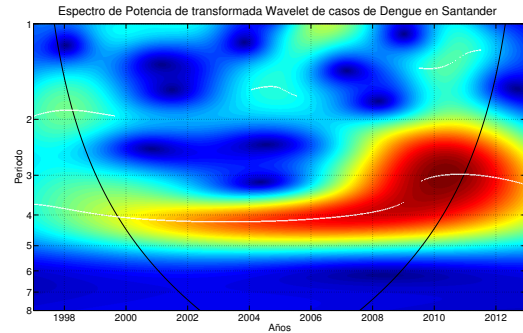


Fig. 4. Transformada Wavelet de incidencia dengue en Santander.

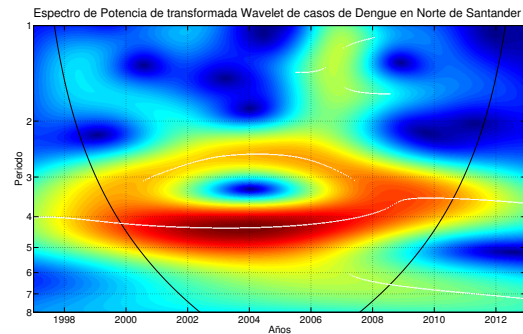


Fig. 5. Transformada wavelet de incidencia de dengue en Norte de Santander

En la Figura 5 se presenta el espectro de potencia obtenido al analizar los casos reportados en Norte de Santander. En esta Figura, se observan dos componentes en frecuencia importantes: en las franjas de periodo de dos y cuatro años aproximadamente. Además, se aprecia que en el 2010, la señal se caracteriza por un solo componente en frecuencia en la banda de 3 a 4 años. En ambos casos se puede ver que el periodo de ocurrencia disminuye de 4 a 3 años.

3.2 Wavelet Cruzada entre Santander y Norte de Santander

En la Figura 6 se muestra el espectro de potencia de la wavelet cruzada de la ocurrencia de dengue en ambos departamentos. Este espectro muestra una sincronía de las series en el periodo de cuatro años. Sin embargo, a partir del año 2007, este periodo de deslaza hacia la banda de tres años. Sin embargo, después del 2007 el espectro en frecuencia se deslaza hacia la banda de 3 a 4 años.

Los ángulos de fase entre estas dos series permiten evaluar la dinámica espacial del virus, entendida como el desplazamiento de la epidemia de un departamento al otro. Teniendo en cuenta que el espectro de potencia de la wavelet cruzada tiene dos componentes fundamentales, los ángulos de fase se calcularon para los periodos de 4-5 años y 3-4 años.

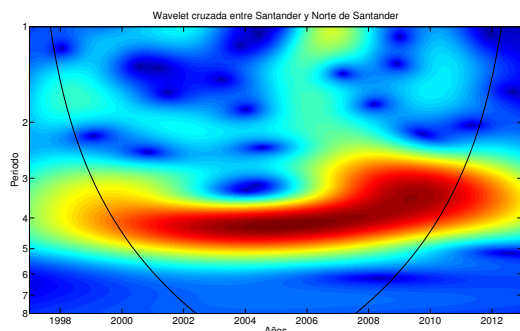


Fig. 6. Wavelet Cruzada entre los departamentos de Santander y Norte de Santander

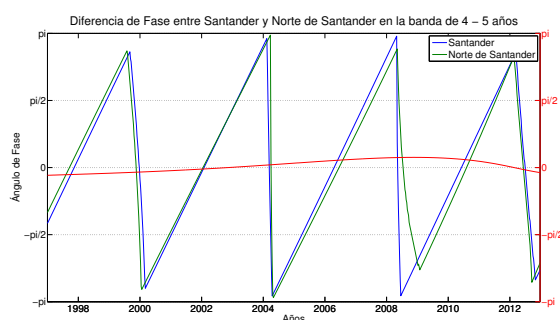


Fig. 7. Ángulo de fase de las Wavelets de Santander y Norte de Santander para la banda de 4 a 5 años

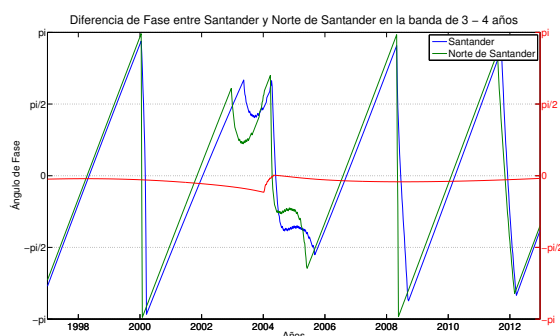


Fig. 8. Ángulo de fase de las Wavelets de Santander y Norte de Santander para la banda de 3 a 4 años

En las figuras 7 y 8 se encuentra el ángulo de fase de ambas series de tiempo en diferentes frecuencias. Las bandas de frecuencia para este análisis fueron seleccionadas teniendo en cuenta que son las bandas de frecuencia donde la señal tiene mayor espectro de potencia en el periodo de análisis.

La figura 7 muestra el ángulo de fase de la ocurrencia de dengue en ambos departamentos en la franja de 4 - 5 años de periodicidad. Se puede ver como en los primeros años de la serie, Norte de Santander adelanta a Santander. Sin embargo, a partir del 2004 la señal de Santander adelanta a Norte de Santander en esta banda de frecuencia. Esto indica que la epidemia de dengue antes del 2004 ocurrió primero en Norte de Santander y luego en Santander.

Teniendo en cuenta el corrimiento de frecuencia de los brotes de dengue hacia la franja de 3 - 4 años, analizamos el ángulo de fase en esta banda de frecuencia, como se ve

en la figura 8. Se puede apreciar que Norte de Santander adelanta nuevamente a Santander en el periodo posterior al 2006. En el periodo 2002 - 2006 los ángulos de fase tienen un comportamiento no lineal que se puede atribuir al cambio en el espectro de potencia en las señales que se evidencia en la transformada wavelet cruzada.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El análisis realizado en este estudio muestra que la ocurrencia de dengue en Santander y Norte de Santander está en sincronía en diferentes bandas de frecuencia para diferentes instantes de tiempo, lo que sugiere una relación de las epidemias entre ambos departamentos. Además, el corrimiento del espectro de potencia sugiere que las próximas epidemias en estos departamentos tendrán un periodo de 3 años.

Adicionalmente, el movimiento espacial de la epidemia se aprecia desde Norte de Santander hacia Santander, de acuerdo con los ángulos de fase entre las transformadas wavelet en dos diferentes bandas de frecuencia. Es necesario entonces determinar factores geográficos o sociales que contribuyen a la ocurrencia del virus en Norte de Santander en adelante a Santander.

Este análisis puede expandirse a nivel nacional o por diferentes regiones para encontrar componentes periódicos en la ocurrencia de dengue en las diferentes regiones del país. Sin embargo, habría que tener en cuenta el número de variables a análisis y la complejidad del análisis. Además, permitiría identificar la dirección geográfica de la diseminación de la ocurrencia de dengue en Colombia, lo que contribuiría a la detección de epidemias en y la selección prioritaria de los métodos de control en diferentes regiones del país.

REFERENCES

- Aguiar-Conraria, L. and Soares, M.J. (2010). The continuous wavelet transform: a primer. *University of Minho*.
- Bhatt, S., Gething, P.W., Brady, O.J., Messina, J.P., Farlow, A.W., Moyes, C.L., Drake, J.M., Brownstein, J.S., Hoen, A.G., Sankoh, O., and Others (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*.
- Boshell, J., Groot, H., Gacharna, M., Márquez, G., González, M., Gaitán, M.O., Berlie, C., and Martínez, M. (1986). Dengue en Colombia. *Revista Biomédica*, 6(3-4), 101-106.
- Cazelles, B., Chavez, M., Berteaux, D., Ménard, F., Vik, J.O., Jenouvrier, S., and Stenseth, N.C. (2008). Wavelet analysis of ecological time series. *Oecologia*, 156, 287-304. doi:10.1007/s00442-008-0993-2.
- Cazelles, B., Chavez, M., de Magny, G.C., Guégan, J.F., and Hales, S. (2007). Time-dependent spectral analysis of epidemiological time-series with wavelets. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 4, 625-636. doi:10.1098/rsif.2007.0212.
- Cuong, H.Q., Hien, N.T., Duong, T.N., Phong, T.V., Cam, N.N., Farrar, J., Nam, V.S., Thai, K.T.D., and Horby, P. (2011). Quantifying the emergence of dengue in Hanoi, Vietnam: 1998-2009. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 5. doi:10.1371/journal.pntd.0001322.

- Grenfell, B.T., Bjørnstad, O.N., and Kappey, J. (2001). Travelling waves and spatial hierarchies in measles epidemics. *Nature*, 414, 716–723. doi:10.1038/414716a.
- Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. doi:10.5194/npg-11-561-2004.
- Guzmán, M.G. and Kouri, G. (2002). Dengue: an update. *The Lancet infectious diseases*, 2(1), 33–42.
- Johansson, M.A., Hombach, J., and Cummings, D.A.T. (2011). Models of the impact of dengue vaccines: A review of current research and potential approaches. *Vaccine*, 29, 5860–5868.
- Thai, K.T.D., Cazelles, B., van Nguyen, N., Vo, L.T., Boni, M.F., Farrar, J., Simmons, C.P., van Doorn, H.R., and de Vries, P.J. (2010). Dengue dynamics in binh thuan province, southern vietnam: Periodicity, synchronicity and climate variability. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 4. doi:10.1371/journal.pntd.0000747.
- Torrence, C. and Compo, G.P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(1), 61–78.
- World Health Organization (2012). *Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020*. World Health Organization.