

Gestión espacial de riesgos entomoecológicos en Santiago de Cuba

Space management of entomoecologic risks in Santiago de Cuba

Dr. Adrián Palú Orozco,^I Dra. Marcela Vera Sánchez,^{II} Dra. María Iluminada Orozco González^{III} e Ing. Ana Lourdes Brito Moreno^{IV}

^I Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Universidad de Ciencias Médicas, Santiago de Cuba, Cuba.

^{II} Hospital San Rafael de Leticia, Amazonas, Colombia.

^{III} Universidad de Ciencias Médicas, Santiago de Cuba, Cuba.

^{IV} Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Se realizó un estudio observacional y descriptivo, de tipo ecológico, en el municipio de Santiago de Cuba, en el año 2015, con el propósito de identificar la existencia de patrones espaciales respecto a la infestación por *Stegomyia aegypti* y así desarrollar un análisis pronóstico espacial al respecto. Para ello se utilizaron variables simples y complejas, resumidas y con utilización de paradigmas de la complejidad (redes neuronales y gestión geoespacial). Se observó que la dispersión aleatoria de *Stegomyia aegypti* condiciona patrones difusos de la infestación, mayormente definida por la dinámica social, más que por las propias características biológicas del vector. De igual modo, la utilización de la Epidemiología panorámica proveyó nuevas aristas de conocimientos en el análisis del problema.

Palabras clave: epidemiología panorámica, ecoepidemiología, redes neuronales, análisis espacial, dengue, *Stegomyia aegypti*.

ABSTRACT

An observational, descriptive and ecological study was carried out in Santiago de Cuba, in the year 2015, with the purpose of identifying the existence of space patterns regarding the *Stegomyia aegypti* infestation and in this way developing a space prognosis analysis in this respect. Thus, summarized simple and complex variables were used, as well as complexity paradigms (neuronal nets and geospace management). It was observed that the randomized dispersion of *Stegomyia aegypti* conditions diffuse patterns of the infestation, mostly defined by the social dynamics, more than by the common biological characteristics of the vector. In the same way, the use of the panoramic Epidemiology provided new edges of knowledge in the analysis of the problem.

Key words: panoramic epidemiology, echoepidemiology, neuronal nets, space analysis, dandy fever, *Stegomyia aegypti*.

INTRODUCCIÓN

El entender que los cambios y las interacciones del medio ambiente poseen una fuerte influencia sobre las diversas enfermedades, ha generado la necesidad de estudiar los

factores ambientales. De ello surgió el concepto de ecoepidemiología o epidemiología panorámica (*landscape epidemiology*), es decir, la comprensión de cuáles son los factores del medio ambiente que significan un riesgo para la salud del ser humano. Así, la visión del entorno o el paisaje que rodea al individuo que puede enfermarse es lo que genera el concepto de ecoepidemiología, epidemiología panorámica o sus sinónimos: epidemiología de paisajes o epidemiología paisajística.¹⁻⁴

Por su parte, la epidemiología satelital es un nuevo concepto que implica el uso de información capturada desde satélites para aplicaciones en salud pública. Este es, a su vez, parte de la epidemiología panorámica, en la cual esta variante da la visión de entorno macroglobal con información generada desde el espacio por sensores remotos.¹⁻⁴

En otro orden de ideas, la ubicación geográfica de Cuba, su topografía y condiciones climáticas son favorables para la reproducción del vector transmisor del dengue, la fiebre amarilla y, más recientemente, el Chikungunya. El incremento de la población urbana y su concentración en grandes ciudades, resultantes de los procesos migratorios, no han podido ir aparejados a dotaciones adecuadas de abastecimiento de agua o de recolección de desechos; aspectos que provocan condiciones favorables para la reproducción del vector y la aparición de enfermedades de transmisión vectorial.

La provincia de Santiago de Cuba se localiza al sureste de la isla, donde el municipio de Santiago de Cuba constituye su ciudad capital, que es la más poblada de Cuba y la segunda más importante del país, después de La Habana. Esta cuenta con una bahía conectada al Mar Caribe que posee un importante puerto. La ciudad ha ido creciendo al fondo de su bahía y está rodeada, en tierra firme, por la Sierra Maestra, lo cual condiciona el clima cálido y húmedo, a la vez que posee un relieve irregular.

En 1997, después de más de 15 años sin circulación viral de dengue en el país, se detectó una epidemia producida por el virus del dengue de tipo 2 en Santiago de Cuba. Los altos índices de infestación vectorial, junto con otros riesgos socioambientales de marcada importancia, han constituido aspectos de elevada vulnerabilidad para el territorio, por lo que su adecuada vigilancia es un reto para las autoridades sanitarias.

Hoy día las medidas de control y la prevención del dengue se basan en tratamientos químicos, físicos, biológicos y educativos contra el vector, pero la efectividad de estas acciones depende de una adecuada vigilancia entomológica. Al respecto, las variaciones de los indicadores entomológicos en el tiempo y el espacio permiten planificar estrategias encaminadas a disminuir el contacto vector-hombre.

Ahora bien, ¿es posible identificar oportunamente los probables focos de *Stegomyia aegypti* mediante una gestión espacial de riesgo entomoecológico, a partir de la identificación previa de focalidad? Con el propósito de satisfacer esta interrogante, se desarrolló el presente estudio en el municipio de Santiago de Cuba.

MÉTODOS

Se realizó una investigación observacional y descriptiva, de tipo ecológico, en el municipio de Santiago de Cuba, en el año 2015, que abarcó el territorio geográfico completo del municipio como universo por tratarse de un estudio geoespacial, con vistas a identificar la existencia de patrones espaciales respecto a la infestación por *Aedes aegypti* y además realizar un análisis pronóstico espacial de infestación por *Stegomyia aegypti* basado en inteligencia artificial. Se consideraron como unidades de observación,

las delimitaciones geográficas más pequeñas para el trabajo de la lucha antivectorial, o sea, las manzanas (100 m²), que fueron también las unidades georeferenciadas más pequeñas desde el punto de vista del análisis espacial.

A tal fin se seleccionaron como variables simples los índices de infestación por manzana en periodos semanales, así como la cantidad de microbasurales, fosas desbordadas y salideros de agua. Toda la información se introdujo en la base de datos de georeferencia, junto con otras variables propias de dicha base, y fue resumida a través de medidas estadísticas complejas. Se diseñaron hojas de trabajo estadístico en Eviews, Statistical, SPSS y Mapinfo y se obtuvieron los datos de los satélites Modis y Terra, para definir elementos topográficos y de vegetación del territorio.

Esta investigación se basó en el análisis de sistemas complejos, y partió de considerar la infestación vectorial, la dinámica poblacional y la arquitectura de Santiago de Cuba como redes complejas; se trabajó con simulaciones de redes neuronales (algoritmo de Kohonen), con el análisis espacial: triangulación inversa, método de Kriging y el de cokriging; y el análisis de vecinos cercanos, con una confiabilidad entre 65 a 85 %, que se estimó como elevada para el análisis espacial. Como técnicas estadísticas básicas se desarrollaron las correlaciones bivariadas y multivariadas, para un nivel de significación de 95 % y un error alfa permisible de 0,05 o menor.

RESULTADOS

El variograma obtenido se realizó con el modelo de "efecto completo", que tomó 4 direcciones espaciales, para obtener un rango de 63,27 metros, lo cual indicó que la distancia mínima desde donde comienza a apreciarse la correlación espacial (en términos del estudio, es la relación entre los focos de *Stegomyia aegypti*, cercanía, dependencia) es a partir de los 63 metros.

La meseta expresa el valor máximo a partir del cual ya no se obtiene correlación espacial o esta se pierde. En el estudio esta fue de 551,29 metros, lo cual mostró que la distancia de 551 metros aproximadamente es la mayor posible para que exista relación espacial; por encima de esta se hace más débil, e incluso nula, dicha relación.

En cuanto a la focalidad, guarda mayor variabilidad de dispersión espacial en la dirección sur-norte (aumento y disminución de focos), lo cual puede deberse a que la densidad de población va en crecimiento y compactación desde las áreas de salud ubicadas al sur (policlínicos "28 de Septiembre", Municipal y "Josué País García") y hacia el norte (policlínicos "Camilo Torres Restrepo", "Carlos Juan Finlay", "Ramón López Peña", "30 de Noviembre", "Armando García Aspuru" y "Julián Grimau García"). Ello pudiera relacionarse, además, con la forma de organización de las acciones de lucha antivectorial. Espacialmente simula una especie de rombo (figura 1).

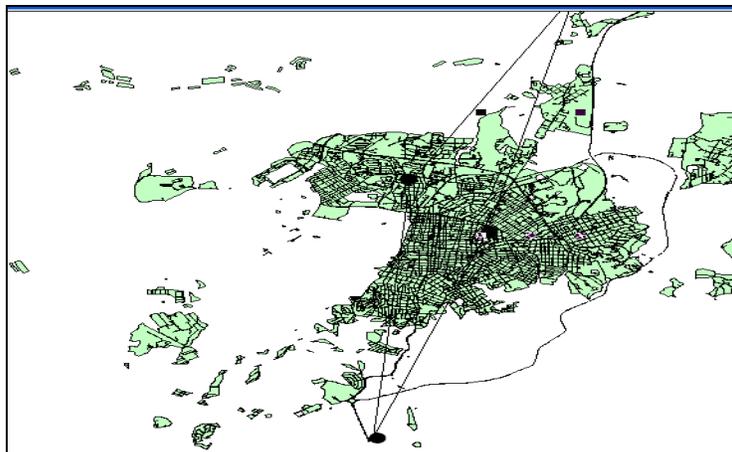


Fig. 1. Rombo de máximo riesgo espacial para la ciudad de Santiago de Cuba

Las "estabilidades" de varianza en el análisis espacial mediante el método de Kriging, o de cokriging, de triangulación y análisis de vecinos más cercanos, corroboradas por variogramas experimentales, oscilaron en alrededor de los 500, 700, 800 y 1 200 metros, lo que puede sugerir, de acuerdo a su magnitud, que la traslación de la focalidad por *Stegomyia aegypti* en Santiago de Cuba está comenzando a ser determinada con mayor fuerza por la dinámica poblacional (migraciones, traslación, movilidad, relaciones sociales, entre otras) que por la propia dinámica vectorial, o sea, que "estamos trasladando los focos de un lugar a otro, más efectivamente que el propio vector".

La estabilización de la varianza en dirección norte a partir de los 1 500 metros, considerando los nodos neuronales de mayor importancia en el análisis realizado (dos de ellos ubicados cartográficamente en las áreas de salud de los policlínicos "Carlos Juan Finlay" y "Camilo Torres Restrepo", respectivamente), indica que a nivel de estas áreas, según mediciones de la base cartográfica digital, la proximidad de los focos es corta (menor dispersión y mayor correlación estadística espacial) y, por tanto, es mayor el riesgo epidemiológico, tanto en infestación como en probabilidades de transmisión de dengue.

El predominio de los vientos procedentes del mar Caribe pudiera influir también en la dispersión del vector. Además, la influencia de los vientos procedentes de la bahía, que soplan en dirección noreste (hacia el mar), pudiera crear una especie de "empuje" de la focalidad en dicha dirección, o de contención al cruzarse las corrientes sur-norte y oeste-este.

Del análisis realizado se obtuvo que los coeficientes de correlación entre los focos de *Aedes* con los riesgos ambientales fueran los siguientes:

- Saladeros: correlación de 0,78 y regresión logística de 6,78
- Obstrucciones: correlación de 0,63 y regresión logística de 4,36
- Microbasurales: correlación de 0,47 y regresión logística de 4,02

DISCUSIÓN

El aporte fundamental de esta investigación para la epidemiología en Santiago de Cuba, sobre un fenómeno complejo como la infestación vectorial, partió de los siguientes aspectos:

- a) Se tomó el paradigma de la complejidad para trabajar la infestación vectorial.
- b) Se tomaron los paradigmas de las redes: las teorías de grafos y de las redes sociales, específicamente el de 6 grados de separación, para explicar la dinámica poblacional, como determinante en la infestación vectorial y posible diseminación de virus del dengue.
- c) Se trabajó con simulaciones de redes neuronales, considerando que la focalidad por *Stegomyia aegypti* sigue un patrón de red neuronal, con interconexiones y grados de separación.
- d) Se consideró el espacio como dimensión compleja, con gestión satelital y análisis mediante bases cartográficas georeferenciadas, lo que permitió trabajar 3 dimensiones en el análisis de una misma variable compleja (manzana) con sus dimensiones (longitud, latitud y altura).

Pudiera decirse que las mejores varianzas calculadas del semivariograma (cálculo de la semivarianza espacial) estuvieron dadas en 2 direcciones: sur y oeste; en esta última se apreció mayor estabilidad en la varianza. La volatilidad apreciada en la dirección sur puede explicarse en el hecho de que las construcciones y los sitios sociales son menores y más dispersos, pues constituye el límite geográfico de la ciudad (bahía de Santiago de Cuba y mar Caribe). Al existir menos objetivos socioeconómicos, la dinámica social local es más débil, lo que pudiera justificar también que en estos asentamientos la velocidad de transmisión de enfermedades como el dengue, es menor. Tales resultados fueron similares a los de Niño ⁵ en Colombia.

Lagrotta *et al* ⁶ identificaron distancias de correlación entre 100 a 150 metros, con un máximo de 600, que correspondieron a favelas, donde el conglomerado de viviendas es más evidente. Meentemeyer *et al* ² plantean que el desafío central en el estudio de las enfermedades infecciosas emergentes es un dilema ecológico. Por su parte, Nnadi Nnaemeka *et al* ⁷ analizaron que la epidemiología panorámica describe cómo la dinámica temporal del huésped, los vectores y la población de agentes patógenos interactúan espacialmente dentro de un ecosistema determinado para mantener la transmisión.

Las redes de neuronas artificiales (denominadas habitualmente como RNA) son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático. En inteligencia artificial es frecuente referirse a ellas como redes de neuronas o redes neuronales. ⁸ A partir de los datos introducidos, el sistema es capaz de construir un árbol anidado, en el que muestran las neuronas con mayores pesos estadísticos, las que espacialmente tienen mayor importancia, y a partir de las cuales se generan otras relaciones espaciales.

Una vez realizado este procedimiento, se vuelve a efectuar un proceso de retroalimentación espacial cartográfico, para apreciar en el mapa cuáles fueron los sistemas de coordenadas obtenidos del análisis de redes neuronales (figura 2).

Los puntos en negro representan coordenadas de neuronas con mayor peso estadístico; los círculos negros los radios de 551 metros calculados en el variograma, con la correspondiente extensión territorial según escala de la base cartográfica. Los puntos en rojo constituyen neuronas de segundo nivel (menos pesadas estadísticamente).

Las áreas de salud de mayor importancia debido a la complejidad de sus redes sociales fueron las de los policlínicos "Carlos Juan Finlay", "Camilo Torres Restrepo", Municipal, "Ramón López Peña", "28 de Septiembre", zona norte del 30 de Noviembre, y límites del "Julián Grimau García" y "José Martí Pérez" (radio de 550 metros).

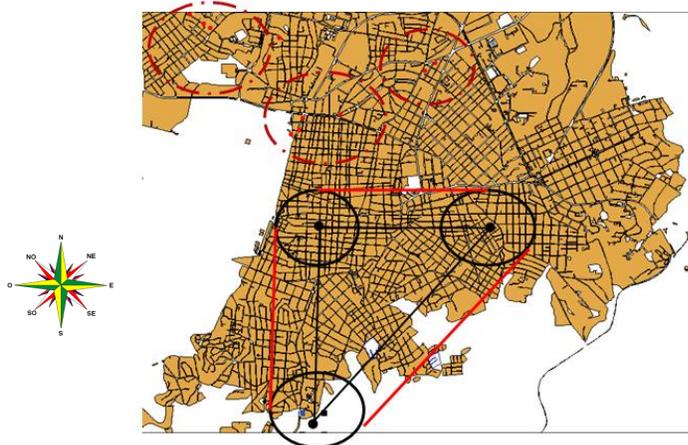


Fig. 2. Identificación de neuronas de interés de acuerdo al análisis espacial

Las zonas de naranja en la figura 3 (áreas de fuerte correlación espacial) correspondieron a las áreas de los policlínicos "Carlos Juan Finlay", "Camilo Torres Restrepo", "José Martí Pérez", "Armando García Aspuru", "Julián Grimau García", "Josué País" y como poblados de Boniato, El Cristo y El Caney. Como zonas de mediana correlación espacial (en color amarillo) fueron identificadas las áreas de los policlínicos "28 de Septiembre", "Ramón López Peña", Municipal, zonas del 30 de Noviembre, "Armando García Aspuru", "José Martí Pérez" y "Frank País García".

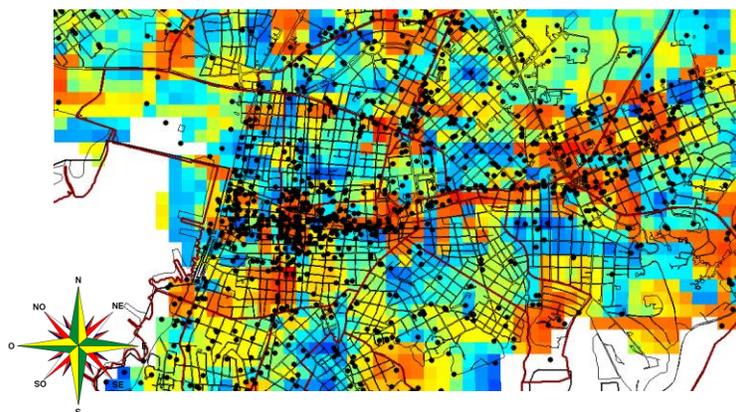


Fig. 3. Relación espacial entre objetivos, sitios sociales y densidad de población

Reisen ⁹ describe que los focos definidos espacialmente o la transmisión pueden estar caracterizados por la vegetación y el clima, la latitud, la elevación y geología. Ciota y Kramer ¹⁰ señalan la importancia de la dinámica poblacional, los factores climáticos y otros elementos extrínsecos e intrínsecos en la transmisión del virus del Nilo Occidental por vectores.

Igualmente se evaluó espacialmente el peso de macrofactores ambientales: microbasurales, salideros de agua, obstrucciones y desbordamientos de alcantarillas y fosas; conjuntamente con la identificación de focos, se realizó un variograma experimental para realizar un Krigging, en busca de la posible correlación espacial y la identificación de zonas calientes o rojas.

El rango obtenido osciló entre 25,29 metros a 3 129 metros; la semivarianza alcanzó su estabilidad a 4 249 metros. Esto significa que la presencia de estos macrofactores garantiza ante la identificación de focos de *Stegomyia aegypti*, una dispersión de la focalidad tan pequeña como en la misma manzana (hasta 50 metros) y máxima hasta 4 kilómetros; aspecto que obviamente ya no depende del radio de vuelo del vector, pero sí de la capacidad de movilidad promedio de las personas dentro de la ciudad o la propia de los trabajos de saneamiento.

En la figura 4 se encuentran los focos primarios, representados con rombos rojos, el pronóstico realizado mediante el método de cokriging (variante del método de Kriging) y los nuevos focos identificados (circunferencias violáceas). Nótese la coincidencia de los focos con el pronóstico efectuado en solo 1 semana de búsqueda.

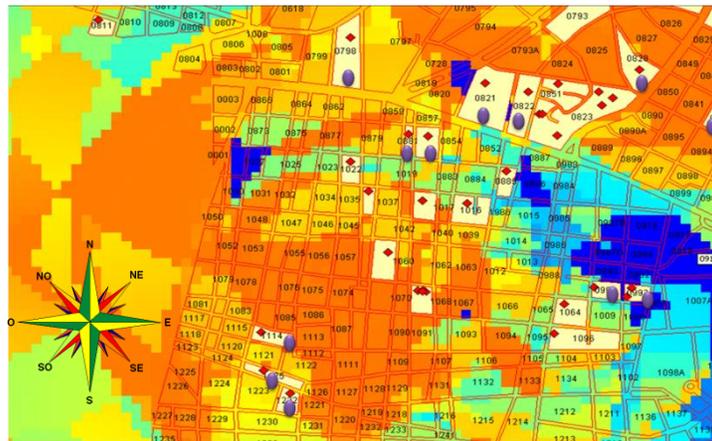


Fig. 4. Focos identificados una semana después del pronóstico

Evidentemente este procedimiento ayudaría en la diferenciación de estrategias para la lucha antivectorial y la vigilancia epidemiológica, pues resulta un modo de estratificación espacial dinámica de riesgo en tiempo real. Puede observarse, en la figura anterior, que existen zonas en las cuales, aun teniendo focos cercanos, la probabilidad de aparición futura es menor (verde y azul), esto se debe a que en las cercanías de estas manzanas o en el radio especificado al sistema, no fueron hallados riesgos ambientales; por tanto, la probabilidad de aparición de focos disminuye.

Los resultados del estudio permitieron concluir que la dispersión aleatoria de *Stegomyia aegypti* durante todo el año, condicionan que en Santiago de Cuba se aprecien patrones difusos o "borrosos" de la infestación vectorial, con lo cual resulta difícil establecer un único patrón espacial, de manera que pudiera afirmarse que esta responde a procesos no explicados, descontrolados y de complejidad elevada. La dinámica de la infestación vectorial está mayormente modelada por la dinámica social (migraciones, movimientos, relaciones sociales, rutas comerciales y de transporte) que por las propias características biológicas del vector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez Morales AJ. Ecoepidemiología y epidemiología satelital: nuevas herramientas en el manejo de problemas en salud pública. Rev Perú Med Exp Salud Pública. 2005 [citado 21 Jul 2015]; 22(1). Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342005000100009&script=sci_arttext
2. Meentemeyer RK, Haas SE, Vaclavik T. Landscape epidemiology of emerging infectious diseases in natural and human-altered ecosystems. Annu Rev Phytopathol. 2012; 50: 379-402.
3. Hantsch L, Bien S, Radatz S, Braun U, Auge H, Bruelheide H. Tree diversity and the role of non-host neighbour tree species in reducing fungal pathogen infestation. J Ecol. 2014; 102(6): 1673-87.
4. Estep LK, Sackett KE, Mundt CC. Influential disease foci in epidemics and underlying mechanisms: a field experiment and simulations. Ecological Applications. 2014; 24(7): 1854-62.
5. Niño L. Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. Rev Panam Salud Pública. 2011 [citado 8 Ago 2015]; 29(6): 416-22. Disponible en: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892011000600006
6. Lagrotta MT, Silva Wda C, Souza-Santos R. Identification of key areas for *Aedes aegypti* control through geoprocessing in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil. Cad Saude Publica. 2008; 24(1): 70-80.
7. Nnadi Nnaemeka E, Nimzing Loha, Ojogba Okolo M, Onyedibe Kenneth I. Landscape epidemiology: An emerging perspective in the mapping and modelling of disease and disease risk factors. Asian Pacific Journal Tropical Disease. 2011 [citado 8 Ago 2015]; 1(3): 247-50. Disponible en: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/Michelle/Referencias/Emmanuel_et_al_Landscape_epidemiology_2011.pdf
8. Redes neuronales de Kohonen [citado 8 Jul 2015]. Disponible en: <http://www.dma.fi.upm.es/docencia/cursosanteriores/02-03/segundociclo/redesdeneuronas/Temas/5/Competitivas.pdf>
9. Reisen WK. Landscape epidemiology of vector-borne diseases. Annu Rev Entomol. 2010; 55: 461-83.
10. Ciota AT, Kramer LD. Vector-virus interactions and transmission dynamics of West Nile virus. Viruses. 2013; 5(12): 3021-47.

Recibido: 1 de septiembre de 2015.

Aprobado: 3 de septiembre de 2016.

Adrián Palú Orozco. Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología, avenida Cebrero entre 1ra y 3ra, reparto Ampliación de Terrazas, Santiago de Cuba, Cuba.
Correo electrónico: paluorozco@yahoo.es