

Nuevas tecnologías para la vigilancia y control de mosquitos vectores de enfermedades

M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado

Jefa de Departamento en Área Médica “A” con funciones en Sistemas de Salud. Centro Regional de Investigación en Salud Pública. kenia.valdez@insp.mx

Comprender la dinámica espacial de las poblaciones de mosquitos y cómo diversos factores afectan su abundancia y distribución, es central para prevenir brotes de enfermedades. La cobertura terrestre, la transformación del paisaje antropogénico y los factores ambientales, tienen una gran influencia sobre la presencia de mosquitos y crean hábitats adecuados, donde es necesario identificar áreas prioritarias para la vigilancia de patógenos y el control vectorial^{1,2}. La pandemia actual de Covid-19 ha concentrado los recursos, infraestructura y personal para la mitigación de este virus en el país, por lo que es de suma importancia contar con estrategias que nos permitan dirigir y retroalimentar las acciones de programa de control de vectores en las viviendas.

Los sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS), la teledetección y las estadísticas espaciales, son herramientas para analizar e integrar el componente espacial en la epidemiología de las enfermedades transmitidas por vectores (ETV) en los programas de investigación, vigilancia y control, basados en un enfoque de ecología del paisaje. Los ecotopos son la característica paisajística ecológicamente distinta más pequeña que sustentará a las especies que estamos estudiando. Cuando intentemos encontrar vectores de manera proactiva, estaremos desarrollando criterios para crear mapas ecológicos específicos y sistemas de clasificación que identifiquen los ecotopos donde interaccionen los vectores, los humanos y los patógenos. El uso de mapas SIG, facilita el reconocimiento de ecotopos. Asimismo, la creación de algoritmos y técnicas de inteligencia artificial, son herramientas que están tomando cada vez más fuerza, para interpretar los datos que podemos obtener de satélites y otros mapas georreferenciados³.

La industria de los vehículos aéreos no tripulados (VANT), mejor conocidos como drones, se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, sus aplicaciones, aparte de los dominios militares y recreativos, han crecido exponencialmente^{4,5}. Actualmente, los principales mercados se ampliaron al mantenimiento de infraestructura, agricultura de precisión, topografía y logística⁶. Su uso evita muchas de las limitaciones asociadas con los datos de satélite como: tiempos de repetición largos, contaminación por nubes, baja resolución espacial, falta de homogeneidad en el ángulo de la cámara u horario de la toma y ofrecen la posibilidad de recopilar información espacial detallada en tiempo real a un costo relativamente bajo⁷. Realizan trabajos de alto detalle en la toma de imágenes con las características esenciales de alta resolución espacial, espectral y temporal^{8,9,10}. Asimismo, en los drones se desarrolla la tecnología para aplicaciones de teledetección que se basan en el uso de sensores pasivos, como cámaras RGB, multiespectrales, hiperespectrales y térmicas y sensores activos como LiDAR o RADAR⁶.

Los drones pueden proporcionar datos espaciales y temporales precisos para comprender los vínculos entre la transmisión de la enfermedad y los factores ambientales¹¹. En cuanto a la

vigilancia de mosquitos, usando drones se pueden recolectar imágenes aéreas que luego son analizadas para identificar y mapear sitios de cría. Proporcionan una solución flexible y de bajo costo para mapear los criaderos y para la difusión operativa de las estrategias en campañas de eliminación de enfermedades transmitidas por vectores (ETV) y se pueden usar en materiales de comunicación para demostrar las condiciones de riesgo específicas para un área determinada^{9,12}. Los ortomosaicos proporcionan información vital para otras actividades de planificación de la salud pública ¹².

La detección de objetos en imágenes aéreas tomadas por drones, como una especie de técnica floreciente, tiene numerosas aplicaciones, como el análisis de imágenes aéreas, vigilancia inteligente y enrutamiento de inspección ¹³. De tres años a la fecha se han realizado diferentes estudios donde se explora el uso de drones para identificar los criaderos larvarios de diferentes especies de mosquitos. En Perú se utilizó cartografía multispectral junto con el análisis Random Forests (Bosques Aleatorios) para identificar criaderos larvarios de *Anopheles darlingi* ¹⁴. En Brasil, para detectar criaderos de *Aedes aegypti* ¹⁵. En México se realizó el primer estudio que evaluó el uso de drones para identificar criaderos de *Ae. aegypti*. Un hallazgo valioso de esta investigación fue que, por medio de la vigilancia aérea, se podían identificar posibles lugares de reproducción de mosquitos en áreas domésticas inaccesibles a la vigilancia terrestre tradicional, lo cual permite proponerlos como una herramienta útil y complementaria en los programas de vigilancia y control de mosquitos. Este nuevo enfoque tecnológico indudablemente mejoraría la vigilancia de *Ae. aegypti* en entornos domésticos y, por lo tanto, las actividades de control que se llevan a cabo en países donde el dengue es endémico ¹⁶.

Las técnicas de detección de objetos han experimentado recientemente un gran progreso. Especialmente con el desarrollo de conjuntos de datos visuales a gran escala y mayor poder de cálculo, la red neuronal profunda (*Deep neural network*) y, particularmente, la red neuronal convolucional (*Convolutional neural network*), ha demostrado batir récords de desempeño en tareas de visión por computadora, incluida la detección de objetos. Por otro lado, con el desarrollo del hardware de computación, los métodos basados en el aprendizaje profundo no solo pueden mejorar la precisión, sino también realizar la detección en tiempo real ¹³.

A este respecto, se ha utilizado un algoritmo basado en redes neuronales entrenado con imágenes multispectrales para la detección de criaderos larvarios de *Aedes albopictus* en zonas suburbanas de Nueva York. Este enfoque, combinando imágenes VANT y análisis de redes neuronales, tiene el potencial de aumentar drásticamente la capacidad de vigilancia, aumentando el alcance y reduciendo el tiempo necesario para los métodos convencionales de vigilancia sobre el terreno ¹⁷. Otra técnica empleada, el análisis de imágenes aéreas basado en objetos geográficos (GEOBIA), identificó con precisión las características del medio ambiente asociadas al hábitat larvario de *Anopheles gambiae* sensu lato, *An. coustani*, *An. pretoriensis* y *An. funestus*, lo cual la convierte en una herramienta con mucho potencial ¹⁸.

Finalmente, es importante mencionar que todo cambio de paradigma involucra una revolución de ideas dentro del conocimiento existente hacia el nuevo paradigma en nacimiento. Será necesario, con evidencia, promover las políticas públicas requeridas para la implementación de nuevas tecnologías en los programas de vigilancia y control de

mosquitos; fortaleciendo todos los mecanismos/procedimientos multidisciplinarios para trabajar en las comunidades, junto con la normatividad requerida para su correcta operación.



Referencias:

1. Kolivras K.N. Mosquito Habitat and Dengue Risk Potential in Hawaii: A Conceptual Framework and GIS Application. *The Professional Geographer*. 2006; 58: 139-154. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9272.2006.00521.x>
2. Ferraguti M., Martínez-de la Puente J., Roiz D., Ruiz S., Soriguer R., Figuerola J. Effects of landscape anthropization on mosquito community composition and abundance. *Nature Scientific Reports*. 2016; 6, 29002. <https://doi.org/10.1038/srep29002>
3. Markwardt R. and Sorosjinda-Nunthawarasilp P. *Innovations in the Entomological Surveillance of Vector-borne Diseases*. Cambridge Scholars Publishing. ISBN: 1-5275-7024-X. p. 120-144. <https://www.cambridgescholars.com/product/978-1-5275-7024-5>
4. Wilson, R. L. Ethical issues with use of Drone aircraft. In 2014 IEEE International Symposium on Ethics in Science, Technology and Engineering, ETHICS 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2014; 1-4. <https://doi.org/10.1109/ETHICS.2014.6893424>
5. Luppicini, R., & So, A. A technoethical review of commercial drone use in the context of governance, ethics, and privacy. *Technology in Society*. 2016; 46: 109-119. DOI:10.1016/J.TECHSOC.2016.03.003

6. González-Jorge H., Martínez-Sánchez J., Bueno M., Arias A. P. Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones*. 2017; 1, 2. <https://doi.org/10.3390/drones1010002>
7. Nex F., & Remondino, F. UAV for 3D mapping application: A review. *Appl. Geomat.* 2014; 6, 1–15. DOI:10.1007/S12518-013-0120-X
8. Bendig J., Bolten A., Bareth G. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal and multispectral imaging. *Int. Arch. Photogramm. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012; 39(B1): 345–349. DOI:10.5194/ISPRSARCHIVES-XXXIX-B1-345-2012
9. Landau K.I., Van Leeuwen W.J. Fine scale spatial urban land cover factors associated with adult mosquito abundance and risk in Tucson, Arizona. *J. Vector Ecol.* 2012; 37: 407–418. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2012.00245.x>
10. Ivošević B., Yong-Gu H., Ohseok K. Calculating coniferous tree coverage using unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Journal of Ecology and Environment*. 2017; 41:10. DOI 10.1186/s41610-017-0029-0
11. Fornace K.M., Drakeley C.J., William T, Espino F, Cox J. Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology. *Trends Parasitol.* 2014; 30(11):514-519. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2014.09.001>
12. Hardy A., Makame M., Cross D. et al. Using low-cost drones to map malaria vector habitats. *Parasites Vectors*. 2017; 10, 29. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-1973-3>
13. Liu M., Wang X., Zhou A., Fu X., Ma, Y., Piao C. UAV-YOLO: Small Object Detection on Unmanned Aerial Vehicle Perspective. *Sensors*. 2020; 20, 2238. <https://doi.org/10.3390/s20082238>
14. Carrasco G, Manrique E, Ruiz J, Saavedra M, Alava F, Bickersmith S, et al. High-accuracy detection of malaria vector larva habitats using drone-based multispectral imagery. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 2019; 13: e0007105. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007105>
15. Aragão F. V., Cavicchioli Zola F., Nogueira Marinho L.H., de Genaro Chiroli D.M., Braghini A, Colmenero J.C. Choice of unmanned aerial vehicles for identification of mosquito breeding sites. *Geospatial Health*. 2020; 15: 810. <https://doi.org/10.4081/gh.2020.810>
16. Valdez-Delgado K.M., Moo-Llanes D.A., Danis-Lozano R., Cisneros-Vázquez L.A., Flores-Suarez A.E., Ponce-García G., Medina-De la Garza C.E., Díaz-González E.E., Fernández-Salas, Field Effectiveness of Drones to Identify Potential *Aedes aegypti* Breeding Sites in Household Environments from Tapachula, a Dengue-Endemic City in Southern Mexico. *Insects*. 2021; 12, 663. <https://doi.org/10.3390/insects12080663>.

17. Case E., Shragai T., Harrington L., Ren Y., Morreale S., Erickson D. Evaluation of Unmanned Aerial Vehicles and Neural Networks for Integrated Mosquito Management of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.* 2020; 57, 1588–1595. <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa078>
18. Stanton M.C., Kalonde P., Zembere K. *et al.* The application of drones for mosquito larval habitat identification in rural environments: A practical approach for malaria control? *Malar J.* 2021; 20, 244. <https://doi.org/10.1186/s12936-021-03759-2>