

T-10

Tecnologías innovadoras del futuro: nuevos métodos de identificación y vigilancia de vectores

Mikel Alexander González

Grupo SASTI, España; Estación Biológica de Doñana (EBD-CSIC), Sevilla
mikel_alexander@hotmail.com

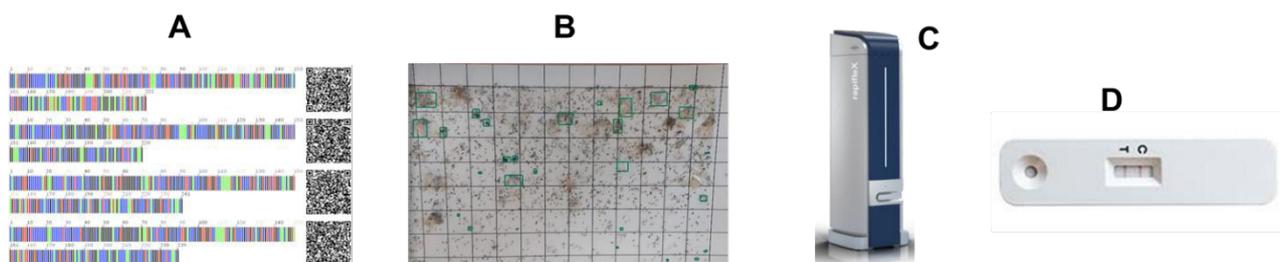
En el ámbito de la salud pública y la epidemiología, la identificación y vigilancia de vectores desempeña un papel crucial en la toma de decisiones, que repercute directamente en la elaboración de los programas de prevención y el control de enfermedades transmitidas por estos organismos. Los sistemas de vigilancia de hospedadores, vectores y/o patógenos son importantes mecanismos de alerta temprana que contribuyen a prevenir la aparición o reducir la gravedad y duración de los brotes de enfermedades transmitidas por vectores. En los últimos años, se han desarrollado y explorado una serie de tecnologías innovadoras que prometen revolucionar la forma en que se identifican y vigilan los vectores, permitiendo así una respuesta más eficaz y rápida.

IDENTIFICACIÓN DE ORGANISMOS PLAGA

Los mecanismos tradicionales de identificación taxonómica implican la observación de las características físicas de un organismo (externas e internas) visibles a simple vista o con el uso de lupas y microscopios acompañados de claves de identificación, descripciones taxonómicas o colecciones de referencia. Esta técnica clásica es lenta, requiere de especialistas y ejemplares bien conservados, es laboriosa y no resuelve siempre la problemática de especies crípticas, entre otros motivos. En los últimos años se han desarrollado una serie de tecnologías y metodologías que han permitido avanzar en la identificación.

- **Biología molecular:** Aunque no tradicionalmente considerada como un método de identificación taxonómica, la biología molecular ha ganado importancia en la taxonomía moderna. La técnica más empleada es el **código de barras de ADN** (figura 1A), conocido en inglés como *barcoding*. Consiste en secuenciar una región corta y bien conservada de ADN que se debe comparar con bases de datos disponibles. Esta técnica se aplica en la identificación de varios vectores, como mosquitos, flebótomos, moscas negras, *Culicoides* y garrapatas, entre otros, para identificar con precisión las especies, siendo especialmente útil para detectar especies crípticas que son morfológicamente similares, pero genéticamente distintas. También son empleados otros **marcadores moleculares (16S, 18S, 28S, NAD1, ITS, etc.)**. La **metagenómica**, más actual pero más cara, promete revolucionar este campo, permitiendo tanto diferenciar entre especies de vectores como sus patógenos asociados.
- **Sistemas de inteligencia artificial.** Los sistemas de inteligencia artificial (IA) se utilizan cada vez más en la identificación y monitoreo de insectos. Estos sistemas aprovechan técnicas de aprendizaje automático y visión por computadora para analizar imágenes de insectos y clasificarlos en función de características específicas. Las empresas de Sanidad Ambiental incorporan estos dispositivos para la clasificación y conteo de láminas con insectos voladores, por

Figura 1. Resumen de las principales herramientas novedosas de identificación de vectores. (A) Barcoding; (B) clasificación y conteo automático por inteligencia artificial; (C) MALDI-TOF-MS; (D) test rápido



ejemplo. Los sistemas de IA pueden entrenarse utilizando grandes conjuntos de imágenes. Estos sistemas aprenden a identificar patrones visuales distintivos, y una vez entrenados, pueden analizar imágenes nuevas y clasificar (con diferentes niveles de precisión) automáticamente los insectos detectados (figura 1B).

- **Espectrometría de masas de desorción/ionización por láser asistida por matriz tiempo de vuelo (MALDI-TOF-MS).** Esta técnica que sirve para tanto identificar especies como para discriminar especies crípticas dentro de complejos de especies, es una herramienta rápida y barata que únicamente requiere unos minutos de preparación. Del mismo modo, las técnicas de **espectroscopia óptica**, como la espectroscopia en el infrarrojo cercano y en el infrarrojo medio, se han investigado también en estudios taxonómicos y de clasificación por edades de insectos (figura 1C).
- **Pruebas de diagnóstico rápido:** Son herramientas de diagnóstico portátiles y fáciles de usar que detectan antígenos o anticuerpos específicos asociados a

insectos o enfermedades transmitidas por vectores en muestras humanas o de vectores. Estas pruebas proporcionan resultados rápidos. Como ejemplo, recientemente, se ha lanzado al mercado el TruDetx™ Bed Bug **Rapid Test**. Es un nuevo y revolucionario dispositivo de detección de chinches que ayuda a los profesionales del control de plagas a identificar incluso infestaciones de bajo nivel (figura 1D).

VIGILANCIA DE ORGANISMOS PLAGA

La vigilancia entomológica es un proceso que implica la recolección, identificación y monitoreo continuo de artrópodos con el fin de recopilar datos relevantes de distribución, abundancia y dinámica de poblaciones de insectos, especialmente en aquellos que son vectores de enfermedades. La información obtenida a través de la vigilancia entomológica es crucial para la toma de decisiones en términos de control de enfermedades transmitidas. Comúnmente la vigilancia se lleva a cabo con trapeo activo o pasivo y/o mediante inspecciones visuales. En los últimos años, se han desarrollado una serie de tecnologías y metodologías que han permitido avanzar en la vigilancia entomológica.

Figura 2. Resumen de las principales herramientas novedosas de vigilancia-monitoreo. (A) Dispositivo remoto óptico; (B) drones; (C) aplicaciones móviles; (D) tarjetas FTA; (E) perros



- Dispositivos digitales, ópticos y sensores remotos. Un sector en notable auge, que consiste en sistemas de vigilancia, como trampas equipadas con sensores y cámaras, para detectar la llegada o aparición de insectos en tiempo real. Estas herramientas proporcionan datos valiosos sobre la abundancia de vectores, la composición de las especies y los patrones de actividad, ayudando en la aplicación de medidas específicas de control. Se trata de una herramienta útil para la detección a tiempo real de organismos plaga como cucarachas, roedores, etc. Un ejemplo que promete revolucionar la vigilancia a tiempo real de mosquitos es el dispositivo óptico remoto Vectrack, que consiste en un sensor capaz de discriminar entre mosquitos y otros insectos, discernir el género y diferenciar por sexos, entre otras cosas (figura 2A).
- **Drones.** Los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores especializados pueden ser utilizados con diferentes fines, como para detectar lugares de cría de mosquitos en zonas inaccesibles y mapear áreas afectadas por vectores. La capacidad de vuelo de los drones permite acceder a áreas remotas o de difícil acceso para los equipos de vigilancia tradicionales, lo que facilita una cobertura más amplia y detallada del territorio. Además, los drones pueden ser programados para realizar vuelos de vigilancia regulares, permitiendo un monitoreo continuo de los vectores y una detección temprana de posibles brotes de enfermedades (figura 2B).
- **Aplicaciones móviles y ciencia ciudadana:** Las aplicaciones móviles permiten a los ciudadanos de a pie fotografiar y notificar datos sobre la distribución y

abundancia de vectores. La iniciativa más conocida es **Mosquito Alert**, (un proyecto de ciencia ciudadana, cuyo objetivo es estudiar, vigilar y reducir la expansión de mosquitos que pueden transmitir enfermedades) pero más recientemente se han unido otras iniciativas similares para flebótomos y garrapatas. Estas aplicaciones suelen incluir funciones de recopilación de datos, identificación de especies y notificación de avistamientos de vectores, lo que contribuye a los esfuerzos de vigilancia de vectores (figura 2C).

- **Análisis de ADN ambiental.** Existen varias iniciativas, entre ellas una muy conocida son las tarjetas **FTA**. Incluye métodos no invasivos de identificación y vigilancia de vectores y sus patógenos. Son tarjetas de papel impregnadas con una matriz especial que preserva y estabiliza el ADN, ARN y proteínas presentes en muestras biológicas. Por ejemplo, se pueden utilizar estas tarjetas impregnadas con atrayentes azucarados (miel) en campo para atraer mosquitos, la saliva de estos quedará en la tarjeta adherida, lo que permitirá posteriormente conocer tanto la identidad del vector (especie de mosquito) que ha contactado como explorar los patógenos asociados a la saliva (ej. dengue, malaria, virus del Nilo, Zika, etc.) Esta técnica es particularmente útil en entornos donde no es posible almacenar las muestras a temperaturas frías, como en estudios de campo en regiones tropicales donde los mosquitos son más abundantes y donde las enfermedades transmitidas por mosquitos son una preocupación importante (figura 2D).
- **Perros entrenados.** Los perros son parte de los equipos de detección de plagas y son entrenados para usar su agudo sentido del olfato para detectar la presencia de diferentes plagas. Por ejemplo, chinches de las camas en lugares como hoteles, apartamentos, casas y otros espacios donde estas plagas puedan habitar. También se está explorando la posibilidad de emplear perros para la detección de lugares de cría de mosquitos (detección de larvas en imbornales y otros contenedores de agua) con excelentes resultados en varios países europeos (figura 2D).

CONCLUSIÓN

Las tecnologías innovadoras del futuro en identificación y vigilancia de vectores prometen mejorar significativamente la capacidad de los sistemas de salud pública para prevenir y controlar enfermedades transmitidas por estos organismos. Estas tecnologías ofrecen nuevas herramientas y enfoques para abordar los desafíos cada vez mayores asociados con la vigilancia y el control de vectores, ayudando a prevenir