



Mosquitos invasores a través de la mira del teléfono: contexto, retos y oportunidades

Roger Eritja¹ y Frederic Bartumeus^{1,2,3}

¹ CREAM, Cerdanyola del Vallès 08193, Spain.

² Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC), Blanes 17300, Spain. E-mail: fbartu@ceab.csic.es

³ ICREA, Institut Català de Recerca i Estudis Avançats, Barcelona 08010, Spain.

RESUMEN

El ritmo de dispersión global de las especies invasoras de mosquitos se ha incrementado exponencialmente en las últimas décadas, y lo ha hecho paralelamente a la globalización económica y sus consiguientes vías de transporte masivo y rápido. Siendo transmisoras de enfermedades humanas graves, la aparición de algunas de estas especies representa un problema grave de sanidad pública, como ya había sucedido con la introducción de *Aedes aegypti* en todo el Mediterráneo tres siglos atrás. Por ello es imprescindible la vigilancia sobre el territorio para la evaluación de riesgos. Sin embargo, el problema se ha abordado siempre mediante el establecimiento de sistemas de muestreo entomológico que pueden ser inadecuados para la situación actual, debido a las escalas y frecuencias actuales del fenómeno, que requieren nuevas herramientas de detección y seguimiento. La ciencia ciudadana basada en nuevas tecnologías es una de ellas, y gracias a su escalabilidad puede complementar muy bien los métodos existentes. Además, proporciona beneficios adicionales en el tratamiento social del problema, ya que al empoderar la ciudadanía ésta puede participar activamente al recibir conocimientos concretos que facilitan soluciones a escala local. En un futuro próximo debería ser posible establecer sistemas combinados de vigilancia, alerta y gestión que integren datos provenientes de herramientas tradicionales y datos ciudadanos en base a nuevas tecnologías. Estos sistemas prometen ser más coste-efectivos y mucho más eficaces a escala de país, pero requieren de la complicidad de muchos actores y de la capacidad de innovación en sanidad pública.

PALABRAS CLAVE: Mosquito, *Aedes albopictus*, invasor, vigilancia, ciencia ciudadana.

MOSQUITOS INVASORES: EL MOSQUITO TIGRE COMO PARADIGMA

La introducción de algunas especies invasoras de mosquito que son vectores de enfermedades humanas conlleva un importante factor de riesgo sanitario. Estos eventos se están multiplicando en Europa en las últimas décadas, paralelamente al desarrollo de nuevas vías y tecnologías de transporte global que los hacen posibles. El éxito de estas especies reside, por una parte, en su capacidad para explotar estos nuevos canales de transporte, y por la otra, su adaptación a hábitats larvarios artificiales, también disponibles gracias a la actividad humana (Juliano y Lounibos, 2005). Les ayuda a ello su facultad de producir huevos resistentes a la desecación, y en algunos casos, poseer capacidad de hibernación.

El paradigma actual en Europa meridional es el mosquito tigre (*Aedes albopictus*, **Figura 1**), que desde sus orígenes asiáticos se ha establecido en amplias áreas en todos los continentes, excepto el Antártico. En el caso de España, a su detección en

2004 (Aranda et al., 2006) le ha seguido una rápida dispersión a lo largo de la costa mediterránea (Collantes et al., 2015). Este mosquito es vector de dengue, chikunguña y Zika así como de más de 20 otras enfermedades (Paupy et al., 2009; Wong et al., 2013; Grard et al., 2014; Vega-Rua et al., 2014). El riesgo sanitario en nuestro país es secundario al no ser endémica ninguna de las principales, estando limitado a posibles brotes autóctonos locales originados a partir de la llegada de viajeros enfermos e infectivos, si se produjese en una área colonizada por el vector y en las condiciones adecuadas. Estos eventos ya se han producido en varios casos europeos tanto para dengue en Francia y Croacia (ej. La Ruche et al., 2010) como por chikunguña en Italia (Angelini et al., 2007) y en Francia. La simple presencia de la especie, por otra parte, implica una pérdida grave de calidad de vida, tratándose de un insecto agresivo, diurno y fuertemente ligado a las viviendas, cuyas larvas explotan aguas en recipientes artificiales que la población no percibe como un riesgo al formar parte del acervo cultural.





Figura 1. Algunos mosquitos invasores y vectores de enfermedades del género *Aedes*. De izquierda a derecha: *Ae. albopictus*, *Ae. aegypti*, *Ae. koreicus*.

OTRAS ESPECIES INVASORAS

Desgraciadamente, el problema no se refiere a una única especie. Desde 1979 en que se produjo la llegada del mosquito tigre a Albania (Adhami y Murati, 1987), otras cuatro especies invasoras de mosquito han sido identificadas y están progresando en el ámbito europeo (Schaffner et al., 2013). Aunque presentan algunas diferencias en su ecología, preferencias ambientales y capacidad vectorial, las 5 especies pertenecen al género *Aedes* y comparten sus rasgos básicos, como el uso de pequeñas masas de agua para su cría larvaria.

El establecimiento de *Aedes japonicus ssp japonicus* se comprobó por primera vez en Suiza en 2008. Anteriormente se había detectado en Francia en el año 2000 en un cargamento de neumáticos, de donde se le pudo erradicar; y en Bélgica en 2002 donde se estableció localmente sin expandirse posteriormente. Es especie menos agresiva que *Ae. albopictus* y parece tener preferencia por climas más fríos que éste: se ha establecido en regiones de Suiza, Bélgica, Alemania, Austria, Eslovenia (Medlock, 2012) y norte de Francia. Se asume que en estas áreas representará la molestia principal, por delante de *Aedes albopictus* si se llegase a establecer. Aunque presenta cierta capacidad vectorial para varias arbovirosis entre las cuales encefalitis japonesa, chikunguña, dengue y virus del oeste del Nilo, su papel en condiciones naturales está por determinar y no se le considera como un riesgo de primer orden (Kauffman y Fonseca, 2014).

Aedes koreicus (Figura 1) se detectó en primer lugar en 2011 en Italia (Montarsi et al., 2015) donde se expande internamente desde entonces. Sin embargo, posteriormente fue detectado también en Bélgica. Siendo su aparición relativamente reciente, su capacidad invasora está por evaluar no conociéndose sus medios de dispersión. De biología y morfología próximas a *Ae. japonicus*, posee como éste la capacidad de hibernar y está bien adaptado al entorno urbano, alimentándose sobre humanos con facilidad. Su capacidad vectorial aparentemente

presenta un espectro menor, siendo el riesgo principal la encefalitis japonesa.

A diferencia de las demás, que tienen un origen asiático o africano, *Aedes atropalpus* es una especie norteamericana que se detectó por primera vez en Italia en 1996 y ha tenido apariciones locales en Holanda y en Francia desde entonces, casi siempre relacionadas con el comercio de neumáticos (Medlock, 2012). A pesar de que en Holanda se la ha encontrado en hábitats larvarios diferentes de los neumáticos, su capacidad invasora está por evaluar, así como su potencial como vector.

Aedes aegypti (Figura 1) es un importante vector global cuya trayectoria pasada en el Mediterráneo describimos más adelante. A diferencia de su pariente próximo el mosquito tigre -que penetra esporádicamente en las viviendas pero se siente más a gusto entre la vegetación-, es fuertemente endófilo, y totalmente antropófilo. Su característica más relevante, sin embargo, probablemente sea su incapacidad para producir formas hibernantes, lo que limita en teoría su distribución geográfica.

En nuestra opinión, las dos especies invasoras que deben preocuparnos más desde una perspectiva histórica, geográfica y ambiental son *Aedes albopictus* y *Ae. aegypti*, que reunimos bajo la denominación "Aedes urbanos". Aun siendo conscientes de lo simplista de esta nomenclatura, resulta útil y descriptiva al incluir dos especies de espectro vectorial muy similar, perfectamente adaptadas a las viviendas y con fuertes tendencias antropófilas en la picadura. Ciertamente es posible encontrar puntualmente otros *Aedes* en las ciudades pero están ligados a hábitats naturales -muy especialmente limnodendrófilos-, mientras que las larvas de las dos especies que nos interesan se encuentran rutinariamente en objetos producidos y utilizados por las personas, dispuestos o abandonados en las viviendas.



LA RECURSIVIDAD HISTÓRICA DE LAS INVASIONES

La intensidad de la oferta actual de oportunidades de desplazamiento de mosquitos ofrecidas por las actividades humanas se ha multiplicado en varios órdenes de magnitud en muy pocos años, con lo que el fenómeno se acelera en paralelo a la globalización económica.

Sin embargo, éste no es un problema nuevo en nuestras latitudes, puesto que alguna de estas especies ya causó gravísimos problemas trescientos años atrás. Concretamente, el tráfico de esclavos desde África había propiciado la introducción de *Aedes aegypti* y la fiebre amarilla en las Américas recién descubiertas, y del mismo modo, preparó el terreno para el fenómeno equivalente desde allí hacia Europa entre 1700 y principios del siglo XX.

Así, los episodios de fiebre amarilla -y esporádicamente de dengue- se iniciaban en los puertos al desembarcar las mercancías de ultramar, los mosquitos y las tripulaciones enfermas. Duraban meses y penetraban tierras adentro, hasta latitudes de clima totalmente desfavorable. Conocedores del riesgo, algunas autoridades alertadas por otros buques de la enfermedad a bordo de un navío en aproximación, podían perfectamente negarle el desembarco e incluso cañonearlo frente a la costa.

Esta situación pudo cobrarse la vida de más de medio millón de españoles únicamente en el período 1800-1850 (Rico-Avelló y Rico, 1953). Hubo que enfrentarse a epidemias muy severas sin muchos recursos, siendo una incógnita su causa real al desconocerse el papel del mosquito en la transmisión de la enfermedad. Los científicos, divididos en bandos contagionistas e infeccionistas, se enfrentaban en ardientes discusiones, que quedaron zanjadas en 1881, cuando el médico cubano Carlos Finlay describió la responsabilidad de *Aedes aegypti* en la transmisión de la fiebre amarilla.

Este caso de *Aedes aegypti* en su conjunto constituye una historia apasionante, especialmente considerando que posteriormente la especie declinó hasta desaparecer completamente de todo el Mediterráneo durante la primera mitad del siglo XX. No existen más que suposiciones sobre los motivos, que debieron ser múltiples. La ampliación y mejora de la red de distribución de agua potable suprimió innumerables focos de cría al convertir en innecesarios los bidones en los zaguanes. Se postula generalmente que las campañas de control del paludismo tuvieron un efecto colateral sobre *Aedes aegypti* (Reiter, 2001). Es cierto que las aplicaciones residuales de insecticida en los interiores de los domicilios debieron de afectar mucho la especie, que es fuertemente endófila; pero no es menos cierto que el problema del paludismo se daba con intensidad en zonas más bien rurales, mientras que el mosquito de la fiebre amarilla siempre fue -como su primo

Aedes albopictus- muy urbano. Al carecer de capacidad de hibernación, *Aedes aegypti* se halla limitado en cuanto a rango geográfico potencial a isothermas de enero superiores a 10 grados centígrados aunque los pocos modelos existentes (ECDC, 2012a) sugieren que puede perfectamente adaptarse a grandes áreas del Mediterráneo sur, de donde desapareció.

Sabemos que la última cita de *Aedes aegypti* en España es la proporcionada por Ramon Margalef en el año 1939 (Margalef, 1943). No se le ha vuelto a encontrar desde entonces, a pesar de la confusión generada por algunas revisiones de su distribución realizadas sobre bibliografía y sin poder sospechar una desaparición de la que no había registros (Rico-Avelló y Rico, 1953). No es hasta una época más moderna en que se consideró *Ae.aegypti* extinguida (Eritja et al., 2000).

El caso del resto del Mediterráneo es muy parecido, lo cual es harto chocante si consideramos que en el bienio 1927-28, la especie había provocado una epidemia de dengue en Grecia con un millón de casos, (entre ellos el 90% de la población de Atenas) y 1.500 fallecimientos registrados (Rosen, 1986; Schaffner y Mathis, 2014).

Conocer los motivos de su desaparición un siglo atrás sería útil en vistas a su preocupante avance contemporáneo; por una parte, en la costa meridional del Mar Negro (Yunicheva et al., 2008, Akiner et al., 2016) de donde se sospecha que pudo no llegar a desaparecer nunca en realidad (Schaffner y Mathis, 2014), y por la otra, en la isla de Madeira en 2004 (Margarita et al., 2006), donde propició entre 2012 y 2013 una epidemia de dengue con más de 2.200 casos confirmados (Sousa et al., 2012). Finalmente, en 2017 la especie apareció en la isla de Fuerteventura, en Canarias (Gobierno de Canarias, 2017), lo cual, obviamente, es un toque de atención relevante para el Mediterráneo español.

MECANISMOS DE DISPERSIÓN Y SU POTENCIACIÓN EN UN CONTEXTO DE GLOBALIZACIÓN

El fenómeno de la globalización económica ayudada por nuevas tecnologías de la comunicación ha producido una auténtica revolución en los estilos de vida, especialmente en lo que se refiere a la aceleración del consumo en la sociedad occidental. Los bienes producidos a gran escala en países-factoría se transportan ahora de forma masiva y llegan a destino en cuestión de horas. Las personas por su parte, gozan de una capacidad de desplazamiento a nivel mundial nunca vista. Como resultado, se dan ahora multitud de nuevas oportunidades de transporte accidental de los vectores, así como facilidades para las personas para enfermar





en países endémicos transportando a su vez los patógenos correspondientes a los vectores ya establecidos en sus domicilios.

Se ha comprobado que los mosquitos invasores se dispersan mediante una diversidad de vías de transporte ligadas a la actividad comercial humana, bien sea masivamente en cargamentos, o bien como especímenes adultos desplazados individualmente. En el primer caso, se trata del desplazamiento accidental a larga distancia de fases inmaduras (larvas, pupas y los resistentes huevos) a bordo de embarcaciones y camiones que transportan mercancías tales como neumáticos usados, o ciertas plantas como el Bambú de la Suerte (*Dracaena sandariana*). Son mercancías que no sólo pueden contener elevadas cantidades de agua y altas densidades de mosquitos, sino que por su naturaleza se almacenan al aire libre, lo cual incrementa sus posibilidades de establecimiento a su llegada y depósito en descampados periurbanos. Se ha comprobado en múltiples ocasiones que éste es el mecanismo responsable de los saltos intercontinentales a bordo de barcos (Hawley et al., 1987; Dalla Pozza y Majori, 1992) así como de los desplazamientos internos a distancias moderadas, a través de camiones cargados con neumáticos en EEUU y en Italia (Moore y Mitchell, 1997; Knudsen et al., 1996).

La paradoja de una especie invasora extremadamente eficaz reside en que los adultos tienen una capacidad de vuelo autónomo muy baja (Hawley, 1988; Honório et al., 2003; Marini et al., 2010), lo cual descarta la hipótesis más intuitiva para explicar su expansión local a partir de los núcleos de introducción. Se ha comprobado, sin embargo, que la dispersión a menor escala puede ser facilitada por los automóviles particulares (Eritja et al., 2017). A diferencia del anterior, este mecanismo involucraría individuos en fase adulta y en baja densidad en cada evento individual, lo que sin embargo es compensado por la elevada frecuencia de repetición del fenómeno. Esto es fácilmente visualizable si se piensa en los 6,5 millones de viajes diarios en automóvil en el área de Barcelona, y en un 0,5% de vehículos positivos por mosquito tigre (Eritja et al., 2017). Este mecanismo podría ser menos relevante a distancias largas puesto que los adultos son vulnerables, especialmente frente a las condiciones ambientales de un automóvil en verano a causa de la climatización interior.

Se describe así un esquema de dispersión estratificada (Roche et al., 2015, Liebhold y Tobin, 2008), frecuente en especies invasoras y que combina varios mecanismos de transporte a diferentes escalas geográficas, involucrando diferentes fases biológicas de la especie. El resultado global en este caso es un rápido desplazamiento a localidades remotas con una alta probabilidad de establecimiento, seguido por posteriores radiaciones locales más lentas.

VIGILANCIA Y CONTROL DE MOSQUITOS INVASORES: EL BINOMIO TRADICIÓN E INNOVACIÓN

Métodos tradicionales de vigilancia: el problema de escala

El evidente riesgo sanitario así como la protección de la calidad de vida de la ciudadanía obligan a mantener una vigilancia sobre la dispersión del mosquito tigre y un monitoreo de la posible llegada de las otras especies, y muy concretamente de *Aedes aegypti*. En el caso de *Aedes albopictus* existe una exigencia adicional derivada desde el área de Medio Ambiente por su inclusión en el Catálogo español de especies invasoras creado por la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Esto implica la obligación legal de plantear planes no ya solamente de vigilancia, sino de contención y erradicación.

¿Cómo se articula esta red de alertas? La vigilancia de los mosquitos invasores no puede estructurarse únicamente usando muestreos dirigidos, porque la dispersión estratificada sobre múltiples frentes tal y como la hemos descrito, permite a las especies invasoras superar muy rápidamente las jurisdicciones. Las campañas tradicionales de vigilancia entomológica son necesarias (ECDC, 2012b) pero quedan muy limitadas a nivel de escalas puesto que los saltos a gran distancia son el resultado de actividades comerciales no monitorizables y fundamentalmente desconocidas por la Administración pública. En lo referente al tráfico internacional existe la obligación de la vigilancia y control de vectores en puntos de entrada en puertos y aeropuertos según el Reglamento Sanitario Internacional (OMS, 2005), así como inspección de cargamentos, que es dificultada por cuestiones comerciales, normativa de libre circulación de mercancías, fragmentación de competencias y ausencia de los recursos necesarios.

No es mejor la situación en lo referente al comercio a nivel nacional, al no existir posibilidad de control del transporte de productos entre zonas colonizadas por mosquitos invasores y las zonas libres de ellos; ni al transporte rodado diario por movilidad laboral, que implica un gran número de coches circulando desde las principales ciudades costeras (que normalmente presentan altas densidades de mosquito tigre) hacia el interior (Eritja et al., 2017). Examinando el preocupante ejemplo del comercio de los neumáticos usados (Roiz et al., 2007) así como los primeros resultados de flujos de mosquito entre provincias en España por carretera (Eritja et al., 2017), no podremos más que asumir -con gran desazón- que existen probabilidades altísimas de desplazamiento de *Aedes albopictus* a lo largo de toda la estación activa, hacia cualquier punto del territorio español.

De hecho, los resultados de los métodos de vigilancia tradicionales no invitan realmente al optimismo, puesto que



muchos de los nuevos hallazgos de especies invasoras, incluido el caso español de *Aedes albopictus* (Aranda, 2006) o el portugués en Madeira con *Ae.aegypti* (Almeida et al., 2007) no han sido obtenidos gracias a dispositivos formales de vigilancia gubernamental sobre puntos de entrada de mercancías o viajeros, sino por el público en general. En unas ocasiones estas alarmas se desencadenaron por comunicaciones ciudadanas a sus autoridades municipales; en otras, se identificaron a través de los profesionales sanitarios (Giménez et al., 2007) por las consecuencias de unas picaduras antes inexistentes; y finalmente, otra vía es la ciencia ciudadana, que tratamos a continuación.

La ciencia ciudadana: el problema de la calidad y la apertura de datos

La dispersión estratificada que se halla en la misma base del éxito del insecto sugiere que su seguimiento también debería de realizarse incorporando simultáneamente diferentes escalas, tanto locales como globales, siendo claves los mecanismos que permitan una recopilación masiva de datos, y que además puedan ser escalables con la misma agilidad de la especie invasora (Kampen et al., 2015, Palmer et al., 2017). Gracias a las nuevas tecnologías como Internet, las redes sociales, y los teléfonos móviles inteligentes, los programas de ciencia ciudadana actuales proporcionan un mecanismo de este tipo permitiendo la participación del público en general a grandes escalas. La educación y la concienciación ciudadana han sido y siguen siendo claves en los programas de vigilancia y control de vectores, pero las nuevas tecnologías están amplificando las posibilidades y los canales de comunicación y participación.

En Europa, pero también en Estados Unidos y Australia, existen ya un buen número de programas de ciencia ciudadana que, explotando nuevas tecnologías, alientan a la sociedad civil a participar en una amplia gama de aspectos relacionados con la presencia de mosquitos transmisores de enfermedades, o mosquitos en general. Los objetivos de estos proyectos son muy diversos y pueden ir desde la catalogación de la biodiversidad de mosquitos (ej. Muckenatlas), la evaluación de su molestia e impacto social en grandes ciudades (ej. Bitebytes, Zanzamap), la colaboración directa en la gestión diaria de vigilancia y control de mosquitos diana junto con agencias de salud pública y servicios de control de mosquitos (ej. Mosquito Alert), o el mapeo de criaderos de mosquitos para educar en la prevención de la emergencia de posibles enfermedades (ej. Mosquito Habitat Mapper). Es importante destacar que la mayoría de los programas tienen en común un fuerte componente educativo y de sensibilización, que es clave para prevenir el riesgo de enfermedad y controlar las especies en áreas privadas. Los resultados de estas iniciativas se pueden ya empezar a ver, y son tan diversos como sus objetivos y métodos. En Holanda, el proyecto Muggenradar se ha utilizado como un método eficaz para la recolección de

especímenes para aclarar la distribución de biotipos de *Culex pipiens* (Vogels Chantal et al., 2015). En Alemania, Mückenatlas ha demostrado ser eficaz en la detección de cambios en la fauna de mosquitos, incluyendo la llegada de nuevas especies (Walther y Kampen, 2017), y en España, Mosquito Alert ha añadido pruebas a la dispersión del mosquito tigre en coche (Eritja et al., 2017).

La ventaja de todas estas redes de participación ciudadana es que están bien posicionadas para eludir las barreras geográficas o administrativas que, junto a imposibilidades presupuestarias, reducen los métodos tradicionales al estudio local de unas pocas áreas que se supone por algún motivo que son susceptibles de ser invadidas. Sin embargo, la duda reside en la calidad de los datos que este tipo de aproximaciones pueden llegar generar, y en particular, su capacidad predictiva y utilidad para la gestión y evaluación de riesgos. En este sentido, cada vez hay más pruebas de que la combinación de datos ciudadanos con otras fuentes de información (**Figura 2**) puede mejorar significativamente nuestro conocimiento entomológico (Kampen et al., 2015; Barceló et al., 2015; Collantes et al., 2015; Collantes et al., 2016; Delacour-Estrella et al., 2014; Delacour-Estrella et al., 2016). Más recientemente, Palmer et al. (2017) demuestran que una vez minimizados los sesgos asociados al uso de móviles como herramientas de recolección de datos, los datos de ciencia ciudadana pueden tener la misma calidad y poder predictivo que los datos obtenidos mediante métodos de trapeo tradicional (ej. trampas de oviposición), siendo la diferencia clave su mayor escalabilidad y flexibilidad. Así pues, la combinación de datos de ciudadanos con otras fuentes de datos (**Figura 2**), agrega solidez estadística y ofrece una base sólida para implementar estrategias de gestión más rentables a largo plazo (Palmer et al., 2017; Eritja et al., 2017).

En contextos de salud pública, el hecho que la ciencia ciudadana es una ciencia abierta y participativa podría verse como una limitación. Empoderar a la ciudadanía con determinada información podría llegar a ser contraproducente o poco funcional (ej. generación de falsas alarmas, falta de jerarquización en la transmisión de información). Pero el empoderamiento ciudadano bien gestionado, en base a información contrastada y filtrada científicamente, siempre debe considerarse positivo a largo plazo, y de hecho, una sociedad madura debería tender a él.

Mosquito Alert como caso de referencia en España

Mosquito Alert (www.mosquitoalert.com) es un proyecto de ciencia ciudadana que empieza con un proyecto piloto en 2013 bajo el nombre de AtrapaelTigre (Oltra et al., 2016) y que se ha abierto al gran público e ido desarrollando desde 2014 hasta ahora. La misión de Mosquito Alert es ofrecer herramientas útiles, innovadoras y actualizadas para el estudio, seguimiento y control de mosquitos distribuidos globalmente y vectores de enfermedades (i.e. *Aedes albopictus*, *Ae. aegypti*). Mosquito





Alert es un observatorio, una plataforma, y una comunidad para:

- (i) la detección temprana de mosquitos invasores de interés,
- (ii) el seguimiento y control de mosquitos vectores, complementando métodos tradicionales,
- (iii) la investigación y predicción de riesgos de enfermedades transmitidas por mosquitos,
- (iv) la información, educación y generación de conocimiento general sobre mosquitos y sus riesgos,
- (v) el empoderamiento ciudadano y la innovación.

Gracias a este observatorio han sido posibles en España varios descubrimientos de la especie en regiones muy alejadas del frente de invasión asumido (Delacour-Estrella et al., 2014; Delacour-Estrella et al., 2016; Palmer et al., 2017). En los años 2014 y 2015 aproximadamente el 50% de descubrimientos de mosquito tigre en nuevos municipios se originó desde el observatorio Mosquito Alert, el otro 50% via métodos de vigilancia tradicional (Palmer et al., 2017). Mosquito Alert, ha permitido también descubrir nuevas distribuciones provinciales de otras especies de mosquitos de interés (Eritja et al., 2018). A lo largo de estos años, Mosquito Alert se ha ido integrando paulatinamente en el sistema de vigilancia y control a nivel de país (MSSSI, 2016). También existen colaboraciones en marcha a nivel de CCAA (Madrid, Cataluña, Canarias) y de grandes ciudades (ej. Barcelona o Valencia), e iniciativas de colaboración con municipios pequeños. Igualmente, se están desarrollando proyectos educativos transversales donde se potencia el uso de nuevas tecnologías para comprender conceptos básicos de salud pública, entomología médica, epidemiología, y corresponsabilidad social.

Mosquito Alert debe ser considerado un nuevo canal de información y de generación de datos, que funciona de forma sinérgica con los sistemas de prevención, vigilancia y control entomológico tradicionales, allá donde los haya (véase **Figura 2**). De esta manera se explota lo mejor de la entomología médica y de las nuevas tecnologías, aumentando la eficacia del control vectorial y la capacidad de anticipación y preparación ante crisis de salud pública derivadas de la posible aparición de casos autóctonos de arbovirosis, que no se ha producido hasta el momento en España. En base a esta idea, hemos dedicado muchos esfuerzos a facilitar el acceso a los datos desde la plataforma Mosquito Alert, tanto a ciudadanos como a administraciones, y a la comunicación entre ciudadanos y agentes del control vectorial o salud pública (véase documentación de todo ello

en mosquitoalert.com). Este proceso culmina con la necesidad de desarrollar un Portal de Gestión de acceso privado donde se pueden cotejar los datos de distribución de vectores (datos de trampeos y ciudadanos) con información epidemiológica y social, que son fundamentales para la prevención de riesgos. En un futuro, esperamos visualizar modelos de riesgo derivados de toda esa información conjunta, a tiempo casi real, tanto para ciudadanos como para gestores.

La ciencia ciudadana planteada como una herramienta de gestión innovadora, y combinada con soluciones de análisis y modelización "big data" como sugiere la hoja de ruta de Naciones Unidas (UN Global Pulse, 2012; Hay et al., 2013), puede ser instrumental para mitigar el riesgo y reducir las amenazas de salud por enfermedades transmitidas por vectores acoplando escalas de actuación local y global. Por un lado, la ciencia ciudadana aumenta la información ya disponible de fuentes de salud pública (datos autoritativos), y por otro, permite distribuirla de manera rápida y eficaz, sin limitaciones de escala. De hecho, el uso de nuevas tecnologías y la participación ciudadana nos conduce directamente a nuevos modelos de innovación para la sanidad pública (Curley y Salmelin, 2013; Curley, 2016). Una invención puede llegar a convertirse en innovación cuando es adoptada por muchos y muy diversos sectores interesados: sociedad civil, gobierno y administraciones públicas, academia, y sector privado (ej. empresas de control de plagas), que activamente la transforman y le agregan valor (Curley y Salmelin, 2013).

En otras palabras, la innovación ocurre cuando el cliente (en este caso diversificado y masivo) deja de ser un sujeto pasivo y se convierte en co-creador de valor, un sujeto activo del proceso de innovación. En este sentido, la plataforma Mosquito Alert ha demostrado ser válida como prueba de concepto, pero elevarla a un modelo de innovación en el ámbito de la sanidad pública es todo un reto que supera ampliamente el

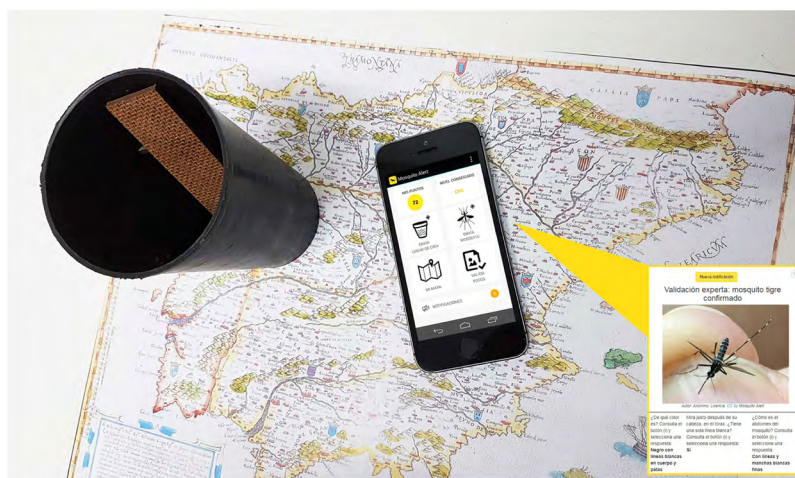


Figura 2. Vigilancia y control de mosquitos invasores transmisores de enfermedades en España. La combinación de métodos tradicionales con el uso de nuevas tecnologías y la participación ciudadana puede generar sistemas de gestión y predicción de riesgo más avanzados, flexibles y escalables, que permitan una mejor y más rápida adaptación al proceso de invasión y preparación a la problemática de salud pública que conlleva.



entorno académico que la originó. A pesar que la situación de riesgo en España requiere de una herramienta así, sin una amplia y diversificada complicidad social e intersectorial que asegure la manutención del sistema y permita un buen uso y una explotación integral de los datos, la idea de observar mosquitos a través de la mira del teléfono nunca llegará al *status* de innovación. Si se consigue, la promesa consiste en revolucionar -entre todos- la gestión del riesgo de enfermedades transmitidas por mosquitos en España.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el trabajo de todo el equipo de Mosquito Alert y todos los ciudadanos anónimos que han ofrecido voluntariamente su tiempo y energía para participar en Mosquito Alert. Mosquito Alert está actualmente impulsado por la Fundación Bancaria 'la Caixa' y la Diputación de Salud de Girona (Dipsalut) y esponsorizada por la empresa Lokimica S.A. FB quiere también agradecer la financiación recibida de MINECO 2014-2017 (CGL2013-43139-R) y la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FCT-13-7019, FCT-15-9515).

REFERENCIAS

Adhami J y Murati N. 1987. Présence du moustique *Ae. albopictus* en Albanie. *Revist Mjebesore* 1: 13–16.

Akiner MM, Demirci B, Babuadze G, Robert V y Schaffner F. 2016. Spread of the Invasive Mosquitoes *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the Black Sea Region Increases Risk of Chikungunya, Dengue, and Zika Outbreaks in Europe. *PLoS Negl Trop Dis* 10(4): e0004664. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004664>

Almeida AP, Gonçalves YM, Novo MT, Sousa CA, Melim M y Grácio AJ. 2007. Vector monitoring of *Aedes aegypti* in the Autonomous Region of Madeira, Portugal. *Eurosurveillance* 12:46

Angelini R1, Finarelli AC, Angelini P, Po C, Petropulacos K, Macini P, Fiorentini C, Fortuna C, Venturi G, Romi R, Majori G, Nicoletti L, Rezza G y Cassone A. 2007. An outbreak of chikungunya fever in the province of Ravenna, Italy. *Eurosurveillance* 6;12(9):E070906.1.

Aranda C, Eritja R y Roiz D. 2006. First record and establishment of the mosquito *Aedes albopictus* in Spain. *Medical and Veterinary Entomology* 20, 150–152.

Barceló C, Bengoa M, Monerris M, Molina R, Delacour-Estrella S, Lucientes S y Miranda MA. 2015. First record of *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera; Culicidae) from Ibiza (Balearic Islands; Spain). *Journal of the European Mosquito Control Association* 33, 14.

Collantes F, Delacour S, Alarcón-Elbal PM, Ruiz-Arrondo I, Delgado JA, Torrell-Sorio A, Bengoa M, Eritja R, Miranda MA, Molina R y Lucientes J. 2015. Review of ten-years presence of *Aedes albopictus* in Spain 2004–2014: known distribution and public health concerns. *Parasites and Vectors* 8, 655.

Collantes F, Delacour S, Delgado JA, Bengoa M, Torrell-Sorio A, Guinea H, Ruiz S, Lucientes J y Mosquito Alert. 2016. Updating the known distribution of *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) in Spain 2015. *Acta Tropica* 164, 64–68.

Curley M y Salmelin B. 2013. Open Innovation 2.0-A New Paradigm (EU Open Innovation and Strategy Policy Group, 2013).

Curley M. 2016. Twelve principles for open innovation 2.0. *Nature* 533:314-316.

Dalla Pozza G. y Majori G. 1992. First record of *Aedes albopictus* establishment in Italy. *Journal of the American Mosquito Control Association* 8, 318–320.

Delacour-Estrella S, Collantes F, Ruiz-Arrondo I, Alarcón-Elbal PM, Delgado JA, Roger E, Bartumeus F, Oltra A, Palmer JRB y Lucientes J. 2014. Primera cita de mosquito tigre, *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae), para Andalucía y primera corroboración de los datos de la aplicación Tigatrapp. *Anales de Biología*. 36, 93–96.





- Delacour-Estrella S, Ruiz-Arrondo I, Alarcón-Elbal PM, Bengoa M, Collantes F, Eritja R, Ventura M, Martínez-Gavín A, Lucientes J y AtrapaelTigre.** 2016. Primera cita del mosquito invasor *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) en Aragón: confirmación de su presencia en Huesca capital. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa 58, 157–158.
- ECDC.** 2012a. The climatic suitability for dengue transmission in continental Europe. Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control.
- ECDC.** 2012b. Guidelines for the surveillance of invasive mosquitoes in Europe. Technical report. Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control.
- Eritja R, Aranda C, Padrós J, Goula M, Lucientes J, Escosa R, Marquès E y Cáceres F.** 2000. An annotated checklist and bibliography of the mosquitoes of Spain (Diptera: Culicidae). European Mosquito Bulletin 8: 10-18.
- Eritja R, Palmer JRB, Roiz D, Sanpera-Calbet I y Bartumeus F.** 2017. Direct evidence of *Aedes albopictus* dispersal by car. Scientific Reports 7:14399.
- Eritja R, Rubido-Bará M, Delacour-Estrella S, Bengoa M, Ruiz-Arrondo I y Comunidad Mosquito Alert.** 2018. Ciencia ciudadana y biodiversidad: primera cita de *Aedes (Fredwardsius) vittatus* (Bigot, 1861) (Diptera: Culicidae) en Galicia, mediante el proyecto Mosquito Alert. Anales de Biología 40: 41-45.
- Giménez N, Barahona M, Casasa A, Domingo A, Gavagnach M y Martí C.** 2007. Llegada de *Aedes albopictus* a España, un nuevo reto para la salud pública. Gaceta Sanitaria 21(1): 25-28.
- Gobierno de Canarias. El Sistema de Vigilancia Entomológica de Canarias detecta la presencia de mosquito *Aedes aegypti* en Fuerteventura.** Lanzadera, 13 diciembre 2017, <http://www.gobcan.es/noticias/lanzadera/90127/sistema-vigilancia-entomologica-canarias-detecta-presencia-mosquito-aedes-aegypti-fuerteventura>. Última consulta en 16/4/2018.
- Grard G, Caron M, Mombo IM, Nkoghe D, Mboui Ondo S, Jiolle D, et al.** 2014. Zika virus in Gabon (Central Africa) – 2007: a new threat from *Aedes albopictus*? PLoS Neglected Tropical Diseases 8, e2681.
- Hawley WA, Reiter P, Copeland RS, Pumpuni CB y Craig GB.** 1987. *Aedes albopictus* in North America: probable introduction in used tires from northern Asia. Science 236, 1114–1116.
- Hawley WA.** 1988. The biology of *Aedes albopictus*. Journal of the American Mosquito Control Association 4, 1–39.
- Hay SI, George DB, Moyes CL y Brownstein JS.** 2013. Big Data Opportunities for Global Infectious Disease Surveillance. PLoS Med 10(4): e1001413.
- Honório NA, Silva Wda C, Leite PJ, Gonçalves JM, Lounibos LP y Lourenço-de-Oliveira R.** 2003. Dispersal of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in an urban endemic dengue area in the State of Rio de Janeiro, Brazil. Memórias Instituto Oswaldo Cruz 98, 191–198.
- Juliano SA y Philip Lounibos L.** 2005. Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. Ecology Letters 8, 558–574.
- Kampen H, Medlock JM, Vaux AGC, Koenraadt CJM, van Vliet AJH, Bartumeus F, Oltra A, Sousa CA, Chouin S y Werner D.** 2015. Approaches to Passive Mosquito Surveillance in the EU. Parasites and Vectors 8 (9): 1–13.
- Kauffman MG y Fonseca DM.** 2014. Invasion Biology of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae). Annual Review of Entomology 59: 31–49. DOI: 10.1146/annurev-ento-011613-162012.
- Knudsen AB, Romi R y Majori G.** 1996. Occurrence and spread in Italy of *Aedes albopictus*, with implications for its introduction into other parts of Europe. Journal of the American Mosquito Control Association 12, 177–183.
- La Ruche G, Souarès Y, Armengaud A, Peloux-Petiot F, Delaunay P, Desprès P, et al.** 2010. First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, September 2010. Eurosurveillance 15: 19676.
- Liebholt AM y Tobin PC.** 2008. Population ecology of insect invasions and their management. Annual Review of Entomology 53, 387–408.
- Margalef R.** 1943. Sobre la ecología de las larvas de algunos culícidos. Graellsia 1: 7-12.
- Margarita Y, Santos Grácio AJ, Lencastre I, Silva AC, Novo T, Sousa C, et al.** 2006. First record of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera, Culicidae) in Madeira Island. Acta Parasitológica Portuguesa, 2006; 13:59-61.
- Marini F, Caputo B, Pombi M, Tarsitani G y della Torre A.** 2010. Study of *Aedes albopictus* dispersal in Rome, Italy, using sticky traps in mark-release-recapture experiments. Medical and Veterinary Entomology 24, 361–8.
- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H y Van Bortel W.** 2012. A review of the invasive mosquitoes in Europe: Ecology, Public Health Risks, and Control Options. Vector-borne and zoonotic diseases, 12: doi:10.1089/vbz.2011.0814.
- Montarsi F, Drago A, Martini S, Calzolari M, De Filippo F, Bianchi A, Mazzucato M, Ciocchetta S, Arnoldi D, Baldacchino F, Rizzoli A y Capelli G.** 2015. Current distribution of the invasive mosquito species, *Aedes koreicus* [*Hulecoeteomyia koreica*] in northern Italy. Parasites and Vectors 8: 614.
- Moore CG y Mitchell CJ.** 1997. *Aedes albopictus* in the United States: ten-year presence and public health implications. Emerging Infectious Diseases 3, 329–334.



- MSSSI (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad), varios autores.** 2016. Plan nacional de preparación y respuesta frente a enfermedades transmitidas por vectores. Parte I: Dengue, Chikungunya y Zika. MSSSI, Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Abril 2016.
- Oltra A, Palmer JRB y Bartumeus F.** 2016. AtrapaelTigre.com: Enlisting Citizen-Scientists in the War on Tiger Mosquitoes. In *European Handbook of Crowdsourced Geographic Information*, edited by Cristina Capineri, Muki Haklay, Haosheng Huang, Vyrion Antoniou, Juhani Kettunen, Frank Ostermann, and Ross Purves, 295–308. London: Ubiquity Press.
- OMS (Organización Mundial de la Salud).** 2005. Reglamento Sanitario Internacional. Tercera Edición, Ginebra.
- Palmer JBR, Oltra A, Collantes F, Delgado JA, Lucientes J, Delacour S, Bengoa M, Eritja R y Bartumeus F.** 2017. Citizen science provides a reliable and scalable tool to track disease-carrying mosquitoes. *Nature Communications* 8: 916.
- Paupy C, Delatte H, Bagny L, Corbel V y Fontenille D.** 2009. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and Infection* 11, 1177–1185.
- Reiter P.** 2001. Climate Change and Mosquito-Borne Disease. *Environmental Health Perspectives* 109, supp. 1.
- Rico-Avelló y Rico C.** 1953. Fiebre amarilla en España. *Revista de Sanidad e Higiene Pública XXVII* (1-2): 29-87.
- Roche B, Léger L, L'Ambert G, Lacour G, Foussadier R, Besnard G, et al.** 2015. The spread of *Aedes albopictus* in metropolitan France: contribution of environmental drivers and human activities and predictions for a near future. *PLoS One* 10, 1–13.
- Roiz D, Eritja R, Escosa R, Lucientes J, Marquès E, Melero-Alcibar R, Ruiz S y Molina R.** 2007. A survey of mosquitoes breeding in used tires in Spain for the detection of imported potential vector species. *Journal of Vector Ecology* 32 (1): 10-15.
- Rosen L.** 1986. Dengue in Greece in 1927 and 1928 and the pathogenesis of dengue hemorrhagic fever: new data and a different conclusion. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 35:642–653.
- Schaffner F, Medlock JM y Van Bortel W.** 2013. Public health significance of invasive mosquitoes in Europe. *Clinical Microbiology and Infection* 19: 685-692.
- Schaffner F y Mathis A.** 2014. Dengue and dengue vectors in the WHO European region: past, present, and scenarios for the future. *The Lancet Infectious Diseases* 14: 1271–80.
- Sousa CA, Clairouin M, Seixas G, Viveiros B, Novo MT, Silva AC, Escoval MT y Economopoulou A.** 2012. Ongoing outbreak of dengue type 1 in the Autonomous Region of Madeira, Portugal: preliminary report. *Eurosurveillance* 17: 20333.
- UN Global Pulse,** 2012. Big Data for Development: Challenges and Opportunities.
- Vega-Rua A, Zouache K, Girod R, Failloux A-B y Lourenco-de-Oliveira R.** 2014. High level of vector competence of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* from ten American countries as a crucial factor in the spread of Chikungunya virus. *Journal of Virology* 88, 6294–6306.
- Vogels CB, van de Peppel LJ, van Vliet AJ, Westenberg M, Ibañez-Justicia A, Stroo A, Buijs JA, Visser TM y Koenraadt CJ.** 2015. Winter Activity and Aboveground Hybridization Between the Two Biotypes of the West Nile Virus Vector *Culex pipiens*. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 15(10).
- Walther D, y Kampen H.** 2017. The Citizen Science Project 'Mueckenatlas' Helps Monitor the Distribution and Spread of Invasive Mosquito Species in Germany. *Journal of Medical Entomology*, 54 (6), pp. 1790–1794.
- Wong P-S J, Li MI, Chong, C-S, Ng L-C y Tan C-H.** 2013. *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse): a potential vector of Zika virus in Singapore. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7, 1–5.
- Yunicheva YU, Ryabova TE y Markovich NY.** 2008. First data on the presence of breeding populations of the *Aedes aegypti* L. mosquito in Greater Sochi and various cities of Abkhazia. *Meditin Parazitol i Parazitarnye Bolezni* 3: 40–43.

