

Ciencia e Investigación

Primera revista argentina de información científica / Fundada en enero de 1945



ENTOMOLOGÍA EN TIEMPOS DE ÓMICAS Y DE DILEMAS

■ Claudio R. Lazzari

EL CONTROL DE INSECTOS VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN EL CONO SUR DE AMÉRICA LATINA

■ Eduardo Zerba



CUANDO LA MUERTE CAMINA EN SEIS PATAS (INSECTOS, ENFERMEDADES E INSECTICIDAS)

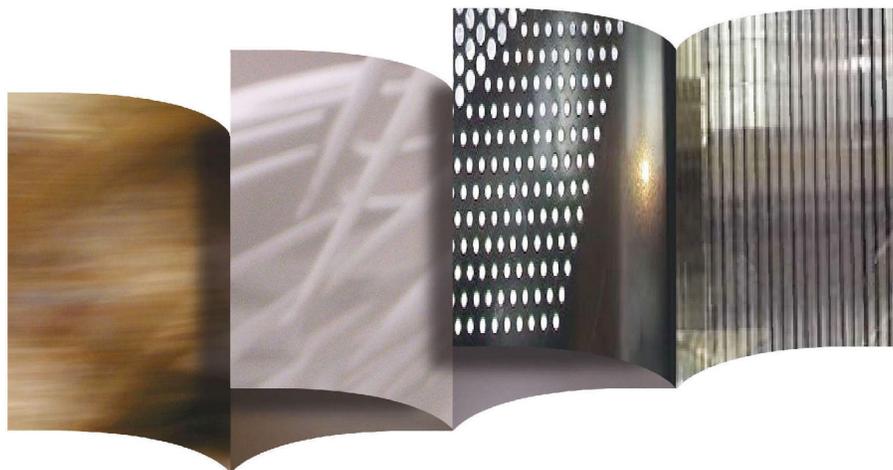
■ Raúl A. Alzogaray

ENTOMOLOGÍA MÉDICA: QUO VADIS?

■ David E. Gorla

BREVE ANÁLISIS BIBLIO-CIENCIOMÉTRICO DE LA DISCIPLINA CIENCIA DE LOS INSECTOS DESARROLLADA EN ARGENTINA DESDE 1996 HASTA 2018-2020

■ Luis A. Quesada-Allué



Desarrollo y gestión de proyectos científicos y tecnológicos innovadores

FUNINTEC es una organización sin fines de lucro creada por la Universidad de San Martín cuyo objetivo es promover y alentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimientos a los sectores público y privado, sus empresas y en particular a las PyMES.

Dentro de los alcances previstos por la Ley de Innovación Tecnológica, funciona como vínculo entre el sistema científico tecnológico y el sector productivo.

CONTACTO:
www.funintec.org.ar

Fundación
Innovación
y Tecnología

FUNINTEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN



TOMO 71 N°4
2021

EDITOR RESPONSABLE

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC)

COMITÉ EDITORIAL

Editor: Luis A. Quesada Allué

Editora Adjunta: Paula Regina Alonso

Editora Emérita: Nidia Basso

Editores asociados

Dr. Gerardo Castro

Dra. Lidia Herrera

Dr. Roberto Mercader

Dra. Alicia Sarce

Dr. Juan R. de Xammar Oro

Dr. Norberto Zwirner

ASISTENCIA TÉCNICA

Gabriel Martín Gil (diagramación y administración web)

CIENCIA E

INVESTIGACIÓN

Primera Revista Argentina de información científica.

Fundada en Enero de 1945.

Es el órgano oficial de difusión de La Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.

A partir de 2012 se publica en dos series, Ciencia e Investigación y Ciencia e Investigación Reseñas.

Av. Alvear 1711, 4° piso,
(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
Teléfono: (+54) (11) 4811-2998
Registro Nacional de la Propiedad Intelectual
N° 82.657. ISSN-0009-6733.

Lo expresado por los autores o anunciantes, en los artículos o en los avisos publicados es de exclusiva responsabilidad de los mismos.

Ciencia e Investigación se edita on line en la página web de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC)
www.aargentinapciencias.org



*Izquierda: la "vinchuca"
Triatoma infestans,
principal vector de la
enfermedad de Chagas*

*Derecha: el mosquito
transmisor del Dengue y
otras enfermedades, Aedes
aegypti*

SUMARIO

EDITORIAL

Una ventana al mundo de los insectos y otros artrópodos vectores de enfermedades

Luis A. Quesada Allué 3

ARTÍCULOS

Entomología en tiempos de ómicas y de dilemas

Claudio R. Lazzari 5

Cuando la muerte camina en seis patas (insectos, enfermedades e insecticidas)

Raúl A. Alzogaray 7

El control de insectos vectores de la enfermedad de Chagas en el Cono Sur de América Latina

Eduardo Zerba 26

Entomología Médica: Quo Vadis?

David E. Gorla 38

NOTA

Breve análisis biblio-cienciométrico de la disciplina Ciencia de los Insectos desarrollada en Argentina desde 1996 hasta 2018-2020

Luis A. Quesada-Allué 45

INSTRUCCIONES PARA AUTORES 49

... La revista aspira a ser un vínculo de unión entre los trabajadores científicos que cultivan disciplinas diversas y órgano de expresión de todos aquellos que sientan la inquietud del progreso científico y de su aplicación para el bien.

Bernardo A. Houssay

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

COLEGIADO DIRECTIVO

Presidente

Dra. Ester Susana Hernández

Vicepresidente

Dra. Ursula Maria Molter

Secretaria

Dra. Alicia María Sarce

Tesorero

Dr. Alberto Antonio Pochettino

Protesorero

Dra. Graciela Noemí Balerio

Miembros Titulares

Dra. Nidia Basso

Dr. Miguel Ángel Blesa

Dra. María Cristina Cambiaggio

Dra. Alicia Fernández Cirelli

Dra. Susana María Gallardo

Dra. María Lidia Herrera

Dr. Mario A.J. Mariscotti

Dr. Luis Alberto Quesada-Allué

Dr. Juan Roberto de Xammar Oro

Miembros Institucionales:

Asociación Argentina de Materiales (SAM):

Dra. Paula Regina Alonso

Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales (AAENDE):

Ing. César Gustavo Belinco

Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES):

Dr. Jaime B.A. Moragues

Sociedad Argentina de Genética (SAG):

Dra. Ángela Rosaria Solano

Miembros Fundadores

Dr. Bernardo A. Houssay – Dr. Juan Bacigalupo – Ing. Enrique Butty

Dr. Horacio Damianovich – Dr. Venancio Deulofeu – Dr. Pedro I. Elizalde

Ing. Lorenzo Parodi – Sr. Carlos A. Silva – Dr. Alfredo Sordelli – Dr. Juan C. Vignaux –

Dr. Adolfo T. Williams – Dr. Enrique V. Zappi

AAPC

Avenida Alvear 1711 – 4° Piso

(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina

www.aargentinpncias.org

UNA VENTANA AL MUNDO DE LOS INSECTOS Y OTROS ARTRÓPODOS VECTORES DE ENFERMEDADES

■ **Luis A. Quesada Allué**

IIBBA-CONICET y Fundación Instituto Leloir
Prof. Tit. Cons. Depto d Química Biol. FCEyN-UBA
Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires
Asoc. Argentina para el Progreso de las ciencias

E-mail: lualque@iib.uba.ar

Como Entomólogo Molecular, para mi es una gran satisfacción presentar artículos representativos de la amplia disciplina Ciencia de los Insectos, que generosamente nos enviaron los contribuyentes, a pesar de las dificultades derivadas de la pandemia Covid-19. La revista y los miembros de la AAPC les estamos muy agradecidos por su esfuerzo. Debido a dichas dificultades otros contribuyentes no pudieron alcanzar a integrar a tiempo esta entrega de Ciencia e Investigación. Dentro de la visión general, en este número se destaca la importancia de los insectos triatomíneos vectores de la enfermedad de Chagas,

El Dr. Claudio Lazzari, destacado biólogo argentino, es Profesor de la Universidad de Tours e investigador del Instituto del CNRS dedicado a la Biología de los insectos en la misma ciudad francesa. Lazzari es - a su vez- un gran representante y protagonista de la escuela argentina de fisiología del comportamiento de los insectos, iniciada por el extraordinario Josué Nuñez. Mantiene permanente contacto, colaboraciones y visitas con el ambiente académico argentino. A nivel mundial, Lazzari es uno de los más importantes especialistas en la fisiología y comportamiento de Redúvidos Triatomíneos, popularmente conocidos como vinchucas. En particular es en mi opinión principal experto mundial en la fisiología de la vinchuca Argentina, *Triatoma infestans*, el chupador de sangre vector de la enfermedad de Chagas. En esta ocasión, Lazzari nos ofrece un condensado pero importante pantallazo introductorio a la evolución de la Entomología, como una disciplina que “se ha vuelto una ciencia innovadora y multidisciplinaria”, que utiliza las más modernas herramientas de los campos moleculares, fisiológicos, comportamentales y epidemiológicos.

Contamos en este número con la colaboración de dos conocidos representantes de la más importante escuela de toxicología de insectos de la Argentina, centrada históricamente en el CIPEIN-CITEFA y actualmente Centro de Investigaciones en Plagas e Insecticidas (UNIDEF-CITEDEF-CONICET-CIPEIN). El químico toxicólogo Dr. Eduardo Zerba, es el fundador de esta exitosa escuela dedicada al estudio y control de vectores de enfermedades y al diseño y uso de insecticidas. Zerba ha sido durante muchos años director del CIPEIN, en cuyo marco han sido muchos los éxitos en el estudio y en la lucha contra diferentes insectos-plaga. Actualmente se desempeña en el Instituto de Investigaciones e Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín. Como protagonista principal y

especialista de la lucha contra reducidos triatomíneos, vectores de la enfermedad de Chagas, Zerba nos describe las diferentes etapas, estrategias y herramientas insecticidas utilizadas a lo largo de los años. Estas últimas desde el fracasado uso del DDT hasta los exitosos piretroides, que a pesar de todo generaron cepas de vinchucas resistentes a lo mismos. Zerba también nos ilustra en su artículo sobre la secuencia de investigaciones e interacciones en Argentina y sobre las políticas de organismos internacionales como la OMS y el INCOSUR, Explica en particular la aparición y detección de triatomíneos resistentes a piretroides, como demostrara su grupo de investigación y el escepticismo previo de otros a la posibilidad de este fenómeno.

El biólogo toxicólogo, especialista en vectores de enfermedades, Dr. Raúl Alzogaray, colaborador histórico del Dr. Zerba y destacado investigador multifacético del CIPEIN, actualmente en el Centro de Investigaciones en Plagas e Insecticidas (UNIDDEF-CITEDEF-CONICET-CIPEIN) es también Profesor del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), donde creó la “Maestría en control de plagas y su impacto ambiental”, única en su tipo en el Cono Sur. Como resulta evidente por su didáctica contribución para esta revista, Alzogaray goza de una merecida fama por sus libros de divulgación, de gran calidad literaria y eximia habilidad para transmitir hechos y conceptos en forma amena. En esta ocasión, nos regala una exposición extremadamente informativa y didáctica sobre las características de los insectos-plaga y nos relata la historia de los vectores de enfermedades a lo largo de los siglos. En particular, en el artículo se incluyen cuadros muy ilustrativos, importantes y útiles para quienes no están versados en el tema. Por ejemplo en uno de ellos se indican diferentes modos de transmisión de enfermedades por insectos, cuestión que no todos conocen. Además Alzogaray destaca los logros de científicos del siglo pasado abocados a la lucha contra artrópodos transmisores de enfermedades y al desarrollo de insecticidas; y resalta la problemática de las enfermedades tropicales y sub-tropicales. Este artículo de Alzogaray representa una invaluable herramienta docente, que espero logre llegar a estudiantes, tan carentes de buena, confiable y “amiga” información, adobada con importantes conceptos.

El Dr. David Gorla Investigador Superior del CONICET en el Grupo de Ecología y Control de Insectos. (CONICET – Universidad Nacional de Córdoba) se desempeñó como Director (2001-2013) del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas de La Rioja (CRILAR), desplegando una gran actividad en diferentes aspectos y programas de la Entomología Médica y de la epidemiología de enfermedades transmitidas por artrópodos-plaga (insectos y arácnidos). Es un reconocido especialista en la transmisión vectorial mediada por ácaros, vinchucas y mosquitos, que en su artículo se ha centrado en destacar la creciente preocupación por la declinación multicausal de la Entomología Médica. Gorla plantea una importante y necesaria discusión al denunciar la escasa dedicación académica a la temática de las enfermedades transmitidas por vectores, con una paralela carencia de adecuados recursos por parte de las provincias y universidades. En el artículo se enfatiza la notoria ausencia, desde hace mucho tiempo, de políticas nacionales de salud adecuadas para el control de vectores, resaltando la existencia de numerosos problemas que discurren desde las políticas sanitarias hasta el cambio climático. En particular Gorla destaca que en el pasado se transmitieron responsabilidades de salud pública a las provincias que no fueron acompañadas por las necesarias partidas presupuestarias. Este artículo del Dr. Gorla representa a mi entender una importante llamada de atención para autoridades ejecutivas y miembros de cuerpos legislativos.

Creemos que los artículos de este número de Ciencia e Investigación ayudan a iluminar y entender un área relativamente poco conocida como es la parte de la Ciencia de los Insectos dedicada a la transmisión vectorial de microorganismos. Interesantemente, a pesar de las dificultades y teniendo en cuenta todas sus vertientes, globalmente la Entomología argentina ha logrado mantener un nivel significativamente adecuado en el contexto mundial, como se deduce de los datos que proporcionamos en la nota final que cierra el número.

Nuevamente agradecemos a los autores de este número su generosidad y al Colegiado Directivo de la AAPC su continuo interés y apoyo.

ENTOMOLOGÍA EN TIEMPOS DE ÓMICAS Y DE DILEMAS

Palabras clave: insectos, entomología, desafíos.

Key words: insects, entomology, challenges.

Ecológica y evolutivamente, los insectos constituyen el grupo de organismos más exitoso de en términos de biomasa, diversidad y tipos de hábitats ocupados. Su importancia en los ecosistemas, así como su impacto en la producción de alimentos y en la salud animal y humana hacen que su estudio constituya una rama fundamental de las ciencias biológicas. La entomología en una disciplina en plena evolución y que juega un papel central en la búsqueda de respuestas a cuestiones biológicas y el aporte de soluciones a problemas fundamentales de los tiempos que corren.

Insects are the most ecologically and evolutionary successful group of organisms in terms of biomass and diversity, occupying innumerable habitats on Earth. Their importance in ecosystems, as well as their impact on food production and animal and human health, make their study a fundamental branch of biological sciences. Entomology is a discipline in rapid evolution, playing a central role in the search for answers to biological questions and the contribution of solutions to fundamental problems of the present times.

■ Claudio R. Lazzari

Profesor de Clase Excepcional de la Universidad de Tours. Profesor Honorario de la Universidad de Buenos Aires. Investigador Correspondiente del CONICET
Institut de Recherche sur la Biologie de l'insecte, CNRS-Universidad de Tours, Francia

E-mail: claudio.lazzari@univ-tours.fr

Los últimos decenios marcaron un avance espectacular en las herramientas conceptuales y metodológicas para analizar problemáticas biológicas. La popularización de métodos de análisis bioquímico y molecular, así como de tratamiento informático de gran cantidad de datos, ha hecho que el uso de marcadores moleculares, DNA barcoding y las "ómicas" (genómica, transcritoómica, proteómica, metabolómica, etc.), formen parte de la rutina de muchos laboratorios de investigación biológica.

La investigación entomológica no solo acompaña, sino que hasta puede considerarse un motor de dichos avances, aportando uno de los organismos modelo que más ha contribuido al avance de las ciencias biológicas: la mosca del vinagre, *Drosophila melanogaster*. No debe sorprender, entonces, el hecho que seis Premios Nobel de Medicina hayan sido atribuidos a científicos

"drosophilistas" (1933 Thomas Hunt Morgan, 1946 Hermann Joseph Muller, 1995 Edward B. Lewis, Christiane Nüsslein-Volhard, and Eric F Wieschaus, 2004 Richard Axel, 2011 Jules A Hoffmann y 2017 Jeffrey C Hall, Michael Rosbash and Michael W Young). Seymour Benzer, quien descubrió el valor extraordinario de las mosquitas como modelo biológico, recibió numerosos premios prestigiosos por sus contribuciones en la determinación de la estructura de genes y su influencia en el comportamiento, pero nunca un Nobel (algo así como un Borges o un Chagas, pero de la genética).

Por otro lado, los entomólogos han integrado estos progresos, y una disciplina con fuertes raíces naturalistas y aplicadas se ha transformado notablemente en los últimos años.

Los avances son considerables y las actividades fundamentales del entomólogo han adquirido nuevas

dimensiones. ¿Qué queda entonces de la imagen del entomólogo capturando o criando insectos para estudiarlos minuciosamente bajo la lupa, disecarlos, medir variables fisiológicas o cuantificar pacientemente su comportamiento en un dispositivo experimental adecuado? ¿Este tipo de enfoque es aún de actualidad? La respuesta es un rotundo sí, y por múltiples razones.

Por un lado, porque la entomología clásica, combinada con (pero no reemplazada por) técnicas moleculares y ómicas está permitiendo alcanzar una comprensión mucho más detallada y precisa de mecanismos subyacentes (fisiológicos, moleculares o genéticos) a fenómenos naturales que permanecían inexplicados. Por otro lado, la rapidez de los avances en los estudios ómicos, en particular la secuenciación de genomas de insectos de interés, esta aportando una cantidad gigantesca de información y nuevas hipótesis

funcionales que necesitan ser contrastadas experimentalmente. La modificación genética de insectos se ha vuelto casi una actividad de rutina en muchos laboratorios y en ciertos casos llevada a escala de producción en masa de insectos, como en el caso de los mosquitos y otras plagas que son luego liberados por millones para reducir la densidad de poblaciones naturales. Esos son solamente algunos ejemplos de hasta qué punto el conocimiento entomológico se vuelve absolutamente imprescindible en el mundo moderno.

Paradójicamente en muchos países, como en Francia, la entomología fue desapareciendo gradualmente de los programas de formación universitaria, dejando su lugar a disciplinas consideradas más novedosas y atractivas para los estudiantes [1]. A principios de este siglo, diversos informes alertaron a la comunidad y a los gobernantes de una comunidad de entomólogos senescente, la cual no estaba siendo reemplazada por especialistas jóvenes. Los mismos informes advertían sobre los signos de reemergencia de enfermedades vectoriales graves, así como del aumento de la presencia de especies invasoras potencialmente dañinas, a causa de las variaciones ambientales, el comercio global y otros factores. Lamentablemente, ambos presagios se cumplieron con creces: epidemias de arbovirosis transmitidas por insectos, la invasión de nuevas plagas, el desplazamiento de áreas de distribución de muchas especies de insectos, etc. A pesar de las advertencias, la tendencia se mantuvo y el número de entomólogos de campo y de laboratorio que deben hacer frente a esos desafíos es insuficiente [2].

En los últimos años, la entomología ha cambiado su fisonomía y se ha vuelto una ciencia innovadora y multidisciplinaria, que ha integra-

dos conceptos y métodos de otras disciplinas, como, por ejemplo, la biología molecular, la genética, la ecología y la informática. No solo intenta resolver sus propias preguntas (muchas de las cuales siguen siendo las mismas), sino para aportar su experticia a la solución de problemas concretos de actualidad como la degradación del medio ambiente, las enfermedades vectoriales o el control de plagas agrícolas.

Por otra parte, se estima que la acción del hombre está provocando la desaparición de especies aún desconocidas a un ritmo mayor que la descripción de nuevas especies, sobre todo en los ambientes tropicales. Esta carrera contra reloj raramente admite análisis minuciosos bajo la lupa y descripciones detalladas. Los entomólogos han debido integrar a su investigación métodos alternativos, como marcadores moleculares o la secuenciación en masa, para tener alguna posibilidad de conocer y poder proteger la biodiversidad y los recursos potenciales que ella encierra.

Integrar otros enfoques y ser parte de grupos profesionales de horizontes diferentes no son los únicos cambios a los que el entomólogo debe adaptarse. También debe reflexionar y confrontar nuevos desafíos éticos. Como hemos dicho anteriormente las técnicas de edición génica están muy avanzadas y hacen posible el desarrollo de estrategias de impulsión genética (*gene drive* en inglés) para propagar rápidamente genes letales en poblaciones naturales. La perspectiva de eliminar de manera regional o global una especie-plaga comienza a dejar de ser una historia de ciencia ficción, para volverse una posibilidad concreta. Estas estrategias ya están siendo evaluadas en el terreno, particularmente en mosquitos vectores de patógenos que causan millones de muertes cada

año como blanco. Es el momento de hacer frente a dilemas nuevos, tales como: ¿Es ético eliminar un componente de la biodiversidad, aún sin tener una idea acabada de su contribución a la estabilidad de los ecosistemas? ¿Qué debemos priorizar, mantener el equilibrio natural o proteger la salud de las poblaciones humanas? Los especialistas tienen opiniones muy divergentes al respecto [3] y no son los únicos. Cuando hago estas preguntas a los alumnos en mis cursos de biología de vectores, las respuestas que recibo, siempre contundentes y apasionadas, son completamente opuestas según el país en que estoy enseñando. Claramente, los entomólogos estamos, además, llamados a lidiar con un nuevo escenario que recuerda a lo que Garrett Hardin [4] llama "dilema sin solución técnica", en el cual la toma de decisiones no pasa por el peso de la evidencia científica, sino por los valores individuales. Por muy desligada de la disciplina que parezca, la formación de las nuevas generaciones de entomólogos requiere integrar no solo el uso de herramientas de última generación, sino también la ética.

■ NOTAS

[1] Cuisance D, Rioux JA (2004) Current status of medical and veterinary entomology in France: endangered discipline or promising science? *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 27(5): 377-92.

[2] Casas J, Lazzari CR, Insausti TC, Launais P, Fouque F (2016) Mapping of courses on vector biology and vector-borne diseases systems: time for a worldwide effort. *Mem. Inst. O. Cruz* 111(11): 717-719.

[3] Fang J (2010) A world without mosquitoes. *Nature* 466: 432-434.

[4] Hardin G (1968) The tragedy of the commons. *Science* 1243-1248.

CUANDO LA MUERTE CAMINA EN SEIS PATAS (INSECTOS, ENFERMEDADES E INSECTICIDAS)

Palabras clave: Insectos de importancia médica, Insecticidas, DDT, Control de plagas, Enfermedades Tropicales Desatendidas.

Key words: *Insects of medical importance, Insecticides, DDT, Pest control, Neglected Tropical Diseases.*

A lo largo de la historia, las enfermedades transmitidas por insectos tuvieron un profundo impacto negativo en la demografía, la economía y la política de las regiones afectadas. Los efectos más graves ocurrían en tiempos de guerra, donde las muertes por enfermedad solían ser muy superiores a las bajas en combate. La situación empezó a cambiar a fines del siglo XIX, a medida que se identificaron los agentes patógenos y los insectos que los transmiten. El desarrollo de insecticidas sintéticos marcó otro momento importante para el control de insectos de importancia médica. En 1943, la aplicación del insecticida DDT entre las ropas de los habitantes de Nápoles permitió,

por primera vez en la historia, detener una epidemia. Durante un tiempo, se pensó que con el DDT se lograría erradicar las plagas de insectos. Sin embargo, por sus efectos sobre el ambiente y la fauna salvaje, el DDT fue prohibido en muchos países. Varias enfermedades transmitidas por insectos aparecen en la lista de Enfermedades Tropicales Desatendidas de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En enero de 2021, la OMS lanzó una Hoja de Ruta cuyos objetivos incluyen erradicar algunas de estas enfermedades. Es difícil anticipar hasta qué punto se alcanzará este propósito, porque los resultados de estos programas suelen ser tan variables como los factores políticos, económicos y sociales de los cuales dependen. Además de su dimensión moral y humanitaria, el cuidado de la salud debería ser pensado como un objetivo para favorecer el crecimiento económico de los países.

Throughout history, insect-borne diseases had a profound negative impact on the demographics, economics, and politics of affected regions. The most serious effects were manifested in wartime, where deaths from illness used to be much higher than casualties in combat. This situation began to change in the late 19th century, as pathogens and the insects that transmit them were identified. The subsequent development of synthetic insecticides marked another important moment in the field of control of medically important insects. In 1943, the application of the insecticide DDT inside the clothes of the inhabitants of Naples made it possible, for the first time in history, to stop an epidemic. For a time, it was thought that DDT would eradicate the main insect pests. However, because of its negative effects on the environment and non-pest organisms, it was banned in many countries. Several insect-borne diseases appear on the World Health Organization's Neglected Tropical Diseases list. In January 2021, this organism launched a Road Map whose objectives include eradicating some of these diseases. It is difficult to anticipate the extent to which these goals will be achieved, because the results of these programs are usually as variable as the political, economic, and social factors on which they depend. In addition to its moral and humanitarian dimensions, health care should be thought of as an objective to promote the economic growth of countries.

■ Raúl A. Alzogaray

Centro de Investigaciones en Plagas e Insecticidas (UNIDEF-CITEDEF-CONICET-CIPEIN). Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín (3IA-UNSAM).

E-mail: ralzogaray@hotmail.com

Todo empezó con las ratas en alguna parte del centro de Asia (Byrne, 2012). Con su carga de muerte, los roedores siguieron el camino de la seda. Ingresaron a Europa por Constantinopla, probablemente a bordo de barcos genoveses que también los llevaron a Sicilia, Génova y Venecia. El hijo de trece años del

emperador bizantino Juan VI Cantacuceno fue una de las primeras víctimas en territorio europeo. Entre 1347 y 1356, la enfermedad se esparció por casi toda Europa y el norte de África. Para entonces, ya era una pandemia que había dejado a su paso millones de muertos.

Los médicos de la época creían que las enfermedades que afectaban a muchas personas al mismo tiempo eran provocadas por el "aire malo", contaminado con los vapores emitidos por la falta de higiene y las emanaciones de los cuerpos en descomposición (Figura 1). Otros las atribuían a causas divinas, de-

Tabla 1. Impacto de las enfermedades transmitidas por insectos en tiempos de guerra.

Conflicto (año)	Enfermedad (vector)	Impacto	Referencia
Sitio de Granada (1489)	Tifus (piojos del cuerpo)	Tres mil soldados españoles cayeron en combate, diecisiete mil murieron de tifus. Por este y otros problemas, el sitio se levantó y la integración del reino musulmán en la corona de Castilla se retardó varios años.	Berenbaum (1995)
Guerra angloespañola (1585-1604)	Peste bubónica (pulgas)	Quinientos mil españoles murieron entre 1592 y 1602.	Smallman-Reynor and Cliff (2004)
Guerra de los treinta años (1618-1648)	Peste bubónica (pulgas) Tifus (piojos del cuerpo)	Trescientos cincuenta mil soldados murieron en combate; diez millones de personas, entre soldados y civiles, por enfermedades y desnutrición.	Jennings White III (2018)
Guerra de los siete años (1756-1763)	Fiebre amarilla (mosquitos <i>Aedes</i>)	Ocho mil soldados ingleses murieron entre 1761 y 1762.	Smallman-Reynor and Cliff (2004)
Revolución haitiana (1802)	Fiebre amarilla (mosquitos <i>Aedes</i>)	Francia envió a la isla treinta y cuatro mil soldados, la enfermedad mató veintidós mil. Fue uno de los factores que contribuyó al triunfo de la revolución.	Smallman-Reynor and Cliff (2004)
Campaña de Napoleón a Rusia (1812)	Tifus (piojos del cuerpo)	Unos cuatrocientos mil soldados del ejército napoleónico murieron de enfermedades, hambre y frío. Cincuenta y cinco mil de esas muertes se atribuyen al tifus. La campaña fracasó.	Smallman-Reynor and Cliff (2004) Talty (2009)
Guerra de Crimea (1854)	Tifus (piojos del cuerpo)	Mató 49 815 soldados franceses, mientras que en combate murieron 20 356.	Berenbaum (1995)
Primera Guerra Mundial (1914-1918)	Tifus (piojos del cuerpo)	Murieron más de ciento cincuenta mil soldados serbios, treinta mil prisioneros austrohúngaros y ciento veintiséis médicos.	Jennings White III (2018)
Revolución rusa y guerra civil (1917-1921)	Tifus (piojos del cuerpo)	Produjo más de dos millones y medio de muertes.	Beadle and Hofmann (1993)
Segunda Guerra Mundial (1939-1945)	Malaria (mosquitos <i>Anopheles</i>)	En la Armada estadounidense se registraron 113 256 casos de malaria, noventa de ellos mortales.	Beadle and Hofmann (1993)
Guerra civil sudanesa (1956-)	Leishmaniasis visceral (flebotomos)	Causó más de noventa y cinco mil muertes entre 1984 y 1994.	Beadle and Hofmann (1993)
Guerra de Vietnam (1965-1973)	Malaria (mosquitos <i>Anopheles</i>)	En la Armada estadounidense se registraron 24 606 casos, cuarenta y seis de ellos mortales.	Beadle and Hofmann (1993)

moníacas o mágicas, que daban lugar a tratamientos inútiles. Es difícil estimar cuánta gente murió en aquella pandemia, distintos cálculos coinciden en que fueron decenas de millones. Los contemporáneos se referían a ella como la peste; hoy la llamamos peste bubónica.

La pandemia de peste bubónica del siglo XIV fue una de las más trágicas, pero no fue ni la primera ni la única. A través de los siglos, esta y otras enfermedades transmitidas por insectos alteraron en forma drástica la demografía, la economía y la política de las regiones afectadas. Diezmaron poblaciones y determinaron el resultado de campañas militares (Tabla 1). Hasta mediados del siglo

XX, en tiempos de guerra, las muertes por enfermedad solían ser muy superiores a las bajas en combate (Smallman-Reynor y Cliff, 2004). La situación fue cambiando a medida que se identificaron los agentes patógenos y sus vectores, se lograron importantes avances médicos y se desarrollaron los insecticidas sintéticos. Ahora, algunas de estas enfermedades se manifiestan en forma esporádica y aislada. Otras, como la malaria, el Chagas y el dengue, siguen siendo un serio problema de salud pública que afecta a millones de personas en extensas regiones del planeta.

■ DOS CHINCHES EN UN COLCHÓN

En latín, *plaga* significa “llaga, herida profunda”, y ese es el sentido, tanto literal como metafórico, que le damos en castellano. Las plagas son seres vivos que compiten con los humanos por la comida, las fibras y los refugios (Flint y van den Bosch 1983). Algunas se alimentan de las personas y les transmiten enfermedades. Otras afectan las plantas cultivadas y los animales criados para comer o por placer.

De esta manera, la definición de *plaga* es:

- Antropocéntrica: se plantea desde una perspectiva exclusivamente humana y, por lo tanto, impregnada de componentes económicos, médicos y recreativos. Los entomólogos estadounidenses Mary Louise Flint y Robert van der Bosch señalaron que, desde un punto de vista puramente ecológico, “sería impensable describir un organismo como un factor negativo (*plaga*) solo porque ocupa un eslabón próximo al nuestro en la cadena alimentaria” (Flint y van den Bosch 1983). Pero desde un



Figura 1: En el siglo XVII, durante la tercera pandemia de peste bubónica, los médicos europeos usaban máscaras con pico para protegerse de la enfermedad. Dentro del pico colocaban plantas aromáticas o flores secas para contrarrestar los malos olores. Creían que la enfermedad se contraía al respirar “aire malo” emitido por la materia orgánica en descomposición. Grabado de Paul Fürst (1656). Fuente: Wikimedia commons.

punto de vista humano, la cosa cambia.

- Cultural: Lo que es plaga para una cultura, puede no serlo para otra. En algunas regiones de Filipinas, en vez de aplicarles insecticidas, la gente prefiere cazar y comer las langostas que se alimentan de los cultivos (Paoletti, 2005).
- Temporal y espacialmente relativa: lo que es una plaga en un lugar y un momento determinados, puede no serlo en un lugar o un momento diferentes. Una población de insectos que se alimentan de plantas salvajes de algodón en el desierto de Sonora (México) no constituye una plaga. Pero sí lo es una población de la misma especie, que se alimenta del algodón cultivado en el chaco argentino.
- Depende de propiedades poblacionales: en algunas circunstancias, cuando la densidad de la población es muy baja, la magnitud del daño producido puede no justificar la aplicación de una medida de control, que resultaría más costosa que el daño en sí. Por ejemplo, en un cultivo de maíz, se recomienda aplicar un tratamiento insecticida cuando hay al menos tres orugas cortadoras cada cien plantas (Urretabizkaya, 2018). Si hay menos, no se justifica, económicamente hablando, aplicar una medida de control. En agricultura, este concepto se llama Umbral Económico (Weersink et al., 1991).

La bibliografía ofrece distintas definiciones de plaga. Algunas son más abarcadoras, otras menos; algunas tienen en cuenta ciertos factores, otras tienen en cuenta otros. En general, todas apuntan a lo mismo: organismos que dañan un recurso humano. Pero los detalles varían. La cuestión del tamaño poblacional,

mencionada en el párrafo anterior, se aplica muy bien en el ámbito agrícola. Pero, ¿se podría decir lo mismo si hay una sola rata en un restaurante?, ¿o dos chinches de cama en el colchón de una habitación de hotel? En estos casos, el sentido común indica que el umbral debería ser cero. Todo depende del tipo de plaga y del contexto.

■ SOLO UNOS POCOS MILES

Por su cantidad, variedad y características, los insectos ocupan un lugar destacado entre las plagas. Son los únicos animales que tienen seis patas (Figura 2). En su cuerpo se pueden reconocer tres regiones: cabeza, tórax y abdomen. Sus patas y antenas son articuladas, y la gran mayoría tiene alas. Sus ciclos de vida son los más insólitos del reino animal. A diferencia de los vertebrados, que tenemos un esqueleto interno, los insectos tienen un esqueleto externo que les recubre toda la superficie del cuerpo. Es una estructura dura y rígi-

da que les impide crecer. Sin embargo, los insectos crecen, porque a lo largo de su vida se despojan varias veces del esqueleto y aumentan de tamaño antes de que se forme uno nuevo.

Pensemos en una mariposa, que nace como una larva sin patas, sin alas y sin órganos sexuales. Pero un día se rodea de un capullo que la aísla del medio y dentro de él se transforma en un insecto con patas, alas y genitales. Pensemos en los mosquitos, que pasan por un proceso parecido al de las mariposas, con la extrañeza adicional de que durante toda su etapa larval permanecen debajo del agua, mientras que los adultos viven fuera de ella.

Otra sorprendente característica de los insectos es su enorme diversidad. Los científicos clasificaron alrededor de un millón de especies; las estimaciones más conservadoras indican que queda al menos otro tanto por descubrir y clasificar. Ante estos

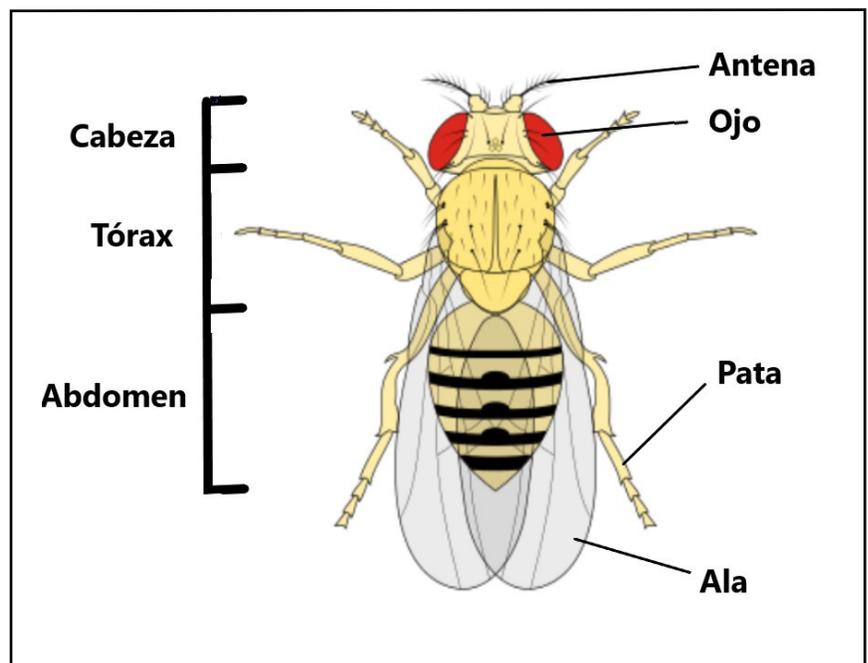


Figura 2: Aspecto general de un insecto adulto. Los insectos son los únicos animales que tienen seis patas. En su cuerpo se pueden reconocer tres regiones: cabeza, tórax y abdomen. La gran mayoría son alados. Fuente: Modificado de Wikimedia commons.

números, deberíamos considerarnos afortunados de que solo unos pocos miles de especies de insectos sean plagas.

Los insectos plagas se clasifican de acuerdo con el tipo de recurso humano que afectan. Hay plagas agrícolas, forestales, veterinarias, de productos almacenados, urbanas y

de importancia médica. Los insectos de importancia médica afectan la salud humana en forma directa, produciendo molestias y enfermedades, o actuando como parásitos,

Tabla 2. Molestias y daños que los insectos causan a los humanos.
<p>I. Molestias</p> <ul style="list-style-type: none"> - Por su presencia (real o imaginaria) - Por el zumbido de su vuelo - Por el olor de sus secreciones o de sus cuerpos en descomposición - Por el sabor desagradable de sus secreciones y excrementos depositados sobre alimentos - Por irritar la piel al moverse sobre ella - Al morder la piel - Al ingresar accidentalmente en ojos, nariz u oídos - Por depositar sus huevos en la piel o el cabello
<p>II. Aplicación de veneno</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mediante un aguijón - Mediante sus piezas bucales - A través de cerdas o pelos irritantes - Al dejar residuos corrosivos cuando son aplastados sobre la piel
<p>III. Establecimiento como parásitos externos o internos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Causando inflamaciones al picar o morder la piel - Contaminando la piel con huevos o excreciones - Para succionar sangre - Por perforación de músculos, conductos urogenitales o las cavidades nasales, oculares o auditivas
<p>IV. Diseminación de parásitos o agentes patógenos de animales o humanos enfermos a humanos sanos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Por transporte accidental a los alimentos, o a los labios, ojos y heridas - Por inoculación cuando pican para alimentarse - Al depositarlos sobre la piel, a través de sus excrementos, sus piezas bucales o su cuerpo
<p>Fuente: Metcalf and Flint (1980).</p>

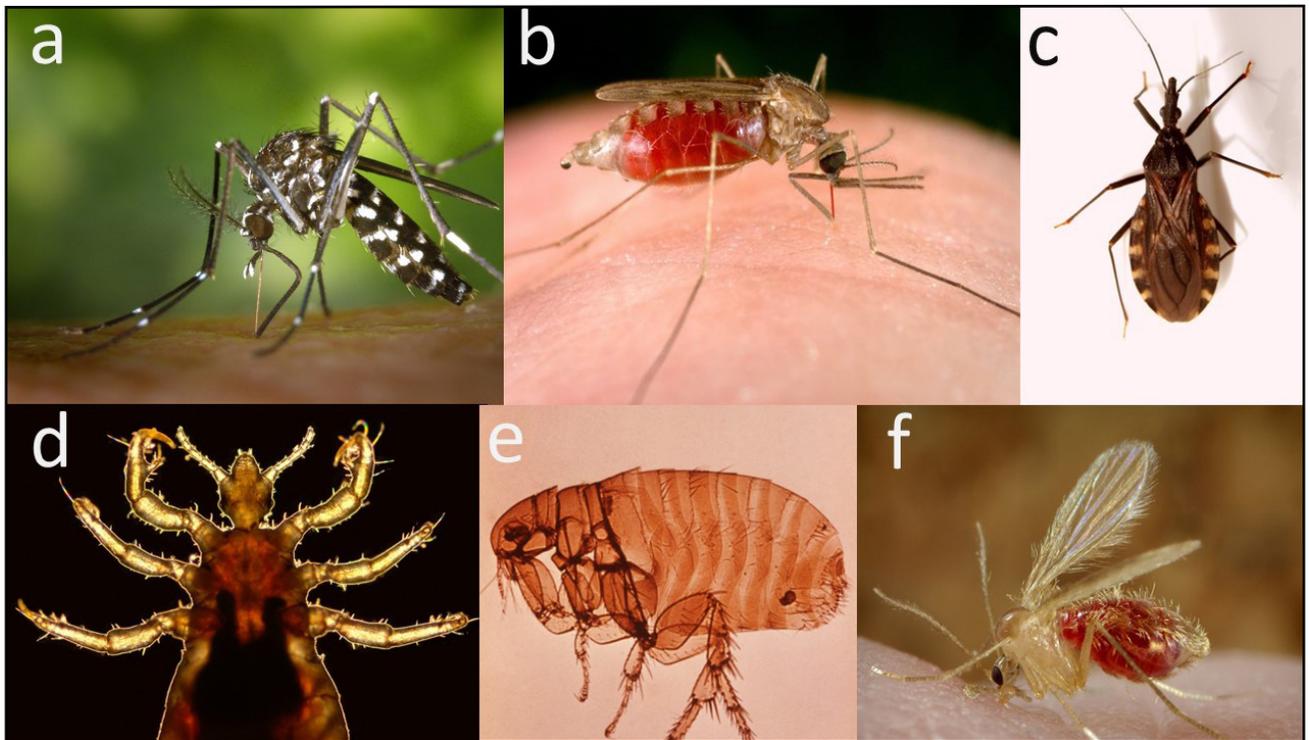


Figura 3: Durante siglos, estos seis insectos transmitieron enfermedades a decenas de millones de personas. a, mosquito *Aedes aegypti*, vector de fiebre amarilla, dengue, chikungunya y zika; b, mosquito *Anopheles*, vector de la malaria; c, vinchuca *Triatoma infestans*, vector de la enfermedad de Chagas; d, *Pediculus humanus humanus* (piojo del cuerpo), vector del tifus; e, *Xenopsylla cheopis* (pulga), vector de la peste bubónica; f, flebótomo *Lutzomyia*, vector de la leishmaniasis. Las fotos no están en escala. Fuentes: Wikimedia commons (a y f), Pixnio (b), Public domain files (d y e); fotografía de Ariadna Moretti (c).

Recuadro 1 Insectos vectores en Argentina

El mosquito *Aedes aegypti*, la vinchuca *T. infestans*, los flebótomos *Lutzomyia* y *Migonemyia* y el piojo de la cabeza *Pediculus humanus capitis* son los principales insectos que ocasionan problemas sanitarios en Argentina (Alzogaray 2018).

El mosquito *A. aegypti*, vector de dengue, fiebre amarilla, zika y chikungunya, habita desde las fronteras con Bolivia, Paraguay y Brasil, hasta el sur de Córdoba y el norte de la provincia de Buenos Aires. La primera epidemia de dengue en territorio argentino ocurrió en 1916. En la década de 1960, este mosquito se consideró erradicado del país, pero regresó a fines del siglo XX. Desde entonces, cada año provoca numerosos casos. En el pasado produjo brotes de fiebre amarilla, entre ellos la gran epidemia de 1871, pero desde 1966 no se han vuelto a producir. De reciente aparición mundial, zika y chikungunya no son enfermedades locales.

T. infestans es una chinche que transmite el Chagas desde tiempos precolombinos. En algunas provincias argentinas se logró interrumpir la transmisión de esta enfermedad, que afecta a más de un millón y medio de sus habitantes. Pero sigue siendo un problema importante en Catamarca, Chaco, Corrientes, Formosa, Mendoza, Salta, San Juan y Santiago del Estero.

La leishmaniasis es transmitida por flebótomos, insectos emparentados con las moscas y los mosquitos. En Argentina, se detectó por primera vez en la década de 1910. Ahora, los principales focos se encuentran en la Mesopotamia, Formosa, Salta y Santiago del Estero. Los flebótomos vectores locales pertenecen a los grupos *Lutzomyia* y *Migonemyia*.

Aunque se han detectado algunos agentes patógenos en los piojos de la cabeza, no hay evidencias de que estos insectos desempeñen un papel importante como transmisores de enfermedades. Sin embargo, su sola presencia en la cabeza humana constituye una enfermedad, la pediculosis, ampliamente difundida entre niños en edad escolar.

e indirecta, mediante la transmisión de agentes patógenos (Tabla 2).

Los mosquitos, las vinchucas y los flebótomos son los principales vectores de enfermedades humanas

(Figura 3, Tabla 3, Recuadro 1). Los mosquitos que transmiten la malaria se cuentan entre los animales

Tabla 3. Principales insectos vectores de enfermedades humanas.

Insectos	Enfermedades que transmiten	Tipo de agente patógeno
Mosquitos	Fiebre amarilla, dengue, zika, chikungunya, encefalitis de Saint Louis, encefalitis de La Crosse, encefalitis japonesa, encefalitis del Valle del Murray, fiebre onyong nyong, fiebre del río Ross, fiebre del oeste del Nilo, fiebre del valle del Rift	Virus
	Malaria	Protozoo
	Filariasis	Nematodo
Triatominos	Enfermedad de Chagas	Protozoo
Flebótomos	Estomatitis vesicular	Virus
	Enfermedad de Carrión	Bacteria
	Leishmaniasis	Protozoo
Simúlidos	Oncocercosis	Nematodo
Moscas tsé tsé	Enfermedad del sueño	Protozoo
Piojos	Tifus epidémico, fiebre de las trincheras, fiebre reincidente	Bacteria
Pulgas	Peste negra, tularemia	Bacteria

Fuente: Durden and Mullen (2019).

Tabla 4. Formas en que los insectos vectores transmiten agentes patógenos a las personas.

a. Por ingestión del vector

El agente patógeno ingresa a la persona cuando ésta ingiere el vector o parte de él. De esta manera, un individuo vector sólo puede transmitir el agente patógeno a una persona.

b. Mientras o después de que el vector chupó sangre

b.i. El agente patógeno prolifera en el intestino del vector y es transmitido con los excrementos

El agente patógeno ingresa al vector cuando éste se alimenta, y se multiplica en su intestino. Algunos agentes patógenos atraviesan varios estadios de desarrollo hasta que alcanzan la forma adecuada para invadir a una persona después de que el insecto lo excrete.

b.ii. El agente patógeno prolifera en el intestino del vector y es transmitido durante la picadura

El agente patógeno ingresa al vector cuando éste se alimenta y se multiplica en su intestino. Luego se mueve hacia la parte anterior del intestino o a las piezas bucales y es transmitido a un humano la siguiente vez que el insecto se alimente.

b.iii. El agente patógeno ingresa al cuerpo del vector y es transmitido durante la picadura

Una vez ingerido por el insecto, el agente patógeno atraviesa las células intestinales y se dirige a las piezas bucales o a las glándulas salivales del insecto, desde allí pasa a la persona en el momento de la picadura.

Fuente: Lane and Crosskey (1993).

Recuadro 2 La casa de la muerte del doctor Ishii

Desde la antigüedad, la existencia de insectos que pican o clavan agujones a los humanos derivó en su inevitable uso como armas y herramientas de tortura. Mucho después, cuando se descubrió la relación entre los insectos y la transmisión de agentes patógenos, los vectores de enfermedades se convirtieron en una herramienta apta para el bioterrorismo. La liberación de insectos infectados con enfermedades alcanzó su máxima perversión durante la guerra sino-japonesa (1937-1945).

Arrojarle al enemigo abejas o avispas tiene una larga tradición (Lockwood 2012). Con sus catapultas, los antiguos romanos solían arrojar panales de abejas en las batallas terrestres y navales. Prácticas similares se usaban en las edades Media y Moderna para alejar a los ejércitos que sitiaban castillos y ciudades.

Según el *Popol Vuh*, libro sagrado de los mayas, ante el inminente ataque de un ejército enemigo, los habitantes de cierta ciudad colocaron junto al lado externo de los muros grandes calabazas llenas de abejas y avispas (Anónimo 1965). Cuando llegaron los atacantes, los defensores de la ciudad levantaron las cubiertas de las calabazas y los insectos quedaron en libertad. “Así los guerreros fueron acabados por los animales que se pegaban a sus ojos, que se pegaban a sus narices, a sus bocas, a sus piernas, a sus brazos”, cuenta el libro sagrado. Presas del dolor y el pánico, los asaltantes fueron diezmados por los defensores de la ciudad.

Más recientemente, el Vietcong ubicaba panales de abejas gigantes (*Apis dorsata*) en lugares estratégicos para que picaran a las tropas estadounidenses (Mayor 2012). Con la intención de devolver gentilezas, el Pentágono evaluó la posibilidad de “marcar” a los norvietnamitas con feromonas que atrajeran a las abejas, pero no la llegó a poner en práctica.

La tortura fue otro uso espurio de los insectos (Lockwood 2012). Siglos atrás, las tribus siberianas ataban a sus prisioneros desnudos en zonas donde abundaban mosquitos y moscas chupadoras de sangre. En Norteamérica, los Apaches frotaban los párpados y labios de sus víctimas con miel. Luego las estaqueaban sobre hormigueros y, con unos palillos, las obligaban a permanecer con la boca abierta para que se les llenara de hormigas. A mediados del siglo XIX, el emir de Bukhara (hoy Uzbekistán) torturaba a sus prisioneros poniéndolos en un pozo que contenía garrapatas y chinches.

Durante la Segunda Guerra Mundial, el médico militar japonés Shirō Ishii (1892-1959) dirigió la Unidad 731, un complejo construido por el Ejército Imperial cerca de la ciudad de Habrin, en Manchuria (estado títere de Japón, ahora territorio chino). La misión pública de la Unidad 731 era prevenir epidemias y monitorear la calidad del abastecimiento de agua; su misión secreta era desarrollar y evaluar la eficacia de armas biológicas.

Los científicos de la Unidad 731 hacían experimentos con prisioneros de guerra, pero no tenían problemas en usar también criminales, indigentes, rebeldes y otros civiles (Harris 1994). Quienes tenían la mala suerte de ser enviados a la Unidad 731 eran objeto de innumerables crímenes: les inyectaban enfermedades, los sometían a vivisecciones sin anestesia, les congelaban o amputaban las extremidades y los exponían a explosiones.

Otro objetivo de la Unidad 731 era implementar los medios para diseminar en centros urbanos insectos transmisores de enfermedades (Lockwood 2012). Criaban pulgas a escala industrial, las infectaban con la bacteria de la peste bubónica y las arrojaban junto con granos de trigo desde aeroplanos que volaban a baja altura sobre ciudades chinas. Los granos atraían a las ratas, las pulgas se subían a ellas y así eran distribuidas por la ciudad. Al principio, los científicos de la Unidad 731 criaban las pulgas sobre los cuerpos de prisioneros de guerra, pero a medida que aumentaba la producción empezaron a alimentarlas sobre ratas criadas especialmente para ese fin. Llegaron a producir once kilos de pulgas por mes. Entre 1940 y 1945, los japoneses arrojaron millones de pulgas infectadas sobre al menos una docena de ciudades chinas, produciendo brotes de enfermedades que mataron a miles de personas.

En 1945, luego de la rendición de Japón, Ishii fue arrestado y negoció con los norteamericanos. Ofreció revelar los resultados de los experimentos realizados en la Unidad 731 a cambio de inmunidad por sus crímenes. La oferta fue aceptada. El destino posterior de Ishii es incierto. Distintas fuentes afirman que trabajó como asesor en armas biológicas para el gobierno de Estados Unidos; o que volvió a Japón, donde fundó una clínica y ejerció la medicina. Lo único seguro es que nunca fue juzgado por los innumerables crímenes cometidos en la Unidad 731.

más peligrosos. Más de doscientos millones de personas sufren esta enfermedad, que cada año mata unas cuatrocientas mil.

Los insectos que transmiten agentes patógenos reciben el nombre de vectores. Según la forma en que se realiza la transmisión, se los considera vectores mecánicos o biológicos (Durden y Mullen, 2019). Los vectores mecánicos, como la mosca y la cucaracha, llevan los agentes patógenos sobre el cuerpo. Son insectos que se alimentan indistintamente de excrementos, basura y los productos alimenticios que guardamos en nuestra alacena. Al desplazarse de una fuente de alimento a otra, van recogiendo y depositando a su paso diferentes agentes patógenos.

La transmisión biológica implica una relación más íntima, en la que los agentes patógenos se multiplican y desarrollan parte de su ciclo de vida dentro del vector. Los vectores biológicos se alimentan de sangre humana, y adquieren y transmiten los agentes patógenos en el momento en que pican a las personas (Tabla 4). Por su capacidad de transmitir graves enfermedades, algunos de estos insectos han sido usados como armas biológicas (Recuadro 2).

■ EL TRIUNFO DE GORGAS

Durante la construcción del Canal de Panamá (1904-1914), se realizó uno de los primeros esfuerzos a gran escala para controlar enfermedades transmitidas por insectos. En los años previos, miles de obreros murieron de malaria y fiebre amarilla durante la construcción del ferrocarril transcontinental panameño. Estas enfermedades, transmitidas por mosquitos, también contribuyeron al fracaso de los primeros intentos por construir el canal.

En 1903, Panamá le cedió a Estados Unidos una franja de su territorio, de unos quince kilómetros de ancho, que se extendía desde la costa atlántica hasta el Océano Pacífico. Estados Unidos construiría el canal y lo administraría a cambio de garantizar la independencia de Panamá (que ese mismo año se había separado de Colombia).

Para ese entonces, ya se sabía que la malaria y la fiebre amarilla son transmitidas por mosquitos. Y que esos mosquitos depositan sus huevos sobre el agua o en las pa-

redes de recipientes con agua. Las larvas son acuáticas, pero respiran el aire de la atmósfera. Con la experiencia que había adquirido unos años antes, al controlar la malaria y la fiebre amarilla en Cuba, el capitán médico del ejército estadounidense William Gorgas (1854-1920) planeó las actividades que minimizaron la incidencia de estas enfermedades en la zona del canal (Figura 4) (Harvard University Library, n.d.).

Gorgas mandó drenar los pantanos y tierras húmedas de la región, e hizo construir canales de hormigón



Figura 4: El médico militar estadounidense William Gorgas planificó y supervisó el control de mosquitos vectores en Cuba y luego en Panamá, durante la construcción del canal interoceánico. Su intervención fue un factor decisivo para completar la obra. Fuente: Wikimedia commons.

para hacer circular el agua. Cuando no fue posible drenar, mandó aplicar aceite o kerosén sobre el agua, para impedir que las larvas de mosquitos tomaran aire de la atmósfera. Ordenó poner mosquiteros en todas las viviendas de los trabajadores, usar piretro y vapores de azufre para matar a los mosquitos que lograran entrar, y contratar personal para capturar los mosquitos que siguieran vivos. Distribuyó quinina entre los trabajadores, una sustancia vegetal que se usaba para tratar la malaria, y aisló a los enfermos para evitar que fueran picados por mosquitos que luego podían transmitir las enfermedades a otras personas. Gracias a estas medidas, que costaron millones de dólares, la transmisión de la fiebre amarilla se interrumpió en la zona del canal, y la incidencia de malaria disminuyó en un 90% entre los trabajadores. Este exitoso resultado se debió en gran medida al carácter militar de la campaña, llevada a cabo por un ejército extranjero con la aprobación del gobierno local.

El papel de los insectos en la transmisión de enfermedades humanas se empezó a descubrir en la segunda mitad del siglo XIX. Como no existían vacunas ni tratamientos para esas enfermedades, se comprendió que eliminar a los vectores sería una forma rápida y directa de solucionar el problema. Pero en aquella época existían muy pocos insecticidas efectivos y poco tóxicos para los organismos que no son plagas (Matthews, 2018). Las primeras medidas de control fueron principalmente de carácter cultural y estuvieron dirigidas a proteger a las personas o a realizar cambios para afectar el ciclo de vida de los insectos: colocar mosquiteros, eliminar los sitios donde los mosquitos depositan sus huevos. Antes de la Segunda Guerra Mundial, se usaban como insecticidas productos vegetales, principalmente piretro y nicotina, y sales

orgánicas de azufre o arsénico. Eran efectivos, pero la mayoría resultaba muy tóxica para los seres humanos y otros organismos.

En 1939, cuando comenzó la Segunda Guerra, no había razones para pensar que este conflicto sería diferente de tantos otros, en los que muchísimos soldados y civiles habían contraído enfermedades mortales, transmitidas o no por insectos. Sin embargo, ese mismo año, un químico suizo descubrió un

insecticida que, por primera vez en la historia, permitió interrumpir una epidemia.

■ EL DESCUBRIMIENTO DE MÜLLER

En los últimos meses de 1943, el dictador Mussolini instauró en el norte de Italia la República Social Italiana, un estado títere de la Alemania nazi. Mientras, los aliados, que avanzaban desde el sur, expulsaron a los alemanes de Nápoles y



Figura 5: En 1939, el químico suizo Paul Müller descubrió las propiedades insecticidas del DDT y el control de plagas cambió para siempre. Por este descubrimiento, Müller recibió en 1948 el Premio Nobel de Medicina. Fuente: Wikimedia commons.

encontraron que la ciudad estaba inmersa en una epidemia de tifus, enfermedad transmitida por los piojos del cuerpo. Con la esperanza de solucionar el problema, Estados Unidos envió dicloro difenil tricloroetano (DDT), un insecticida sintético descubierto cuatro años antes.

Las propiedades insecticidas del DDT fueron descubiertas en 1939 por el químico suizo Paul Müller (1899-1965), un empleado de la empresa Geigy ubicada en Basilea (Figura 5) (Mellanby, 1992). El DDT ya había sido sintetizado en la década de 1870 por el estudiante austriaco Othmar Zeidler como parte de su trabajo de tesis doctoral. A Zeidler le interesaba el proceso de síntesis del DDT, pero no investigó sus efectos sobre los seres vivos. Eso lo hizo Müller seis décadas más tarde.

Durante sus primeros años en Geigy, Müller se dedicó al desarrollo de colorantes, luego orientó sus investigaciones hacia el área de la protección vegetal. Durante cuatro años, sintetizó y evaluó sin éxito la actividad insecticida de más de trescientas sustancias. Él mismo realizaba los ensayos con insectos, porque pensaba que un químico debía reconocer el significado de sus hallazgos, en vez de dejarlo en manos de otros que podían ser menos perceptivos o estar menos motivados. En septiembre de 1939, sintetizó una sustancia a la que llamó provisoriamente P 1139. Al comprobar que era letal para la mosca de la carne, hizo ensayos adicionales con áfidos, mosquitos y escarabajos de la papa. Resultó un buen insecticida en todos los casos. En 1942, Geigy registró en Suiza un producto insecticida a base de P 1139, sustancia que unos años más tarde sería mundialmente conocida como DDT.

En 1943, cuando se declaró la epidemia de tifus en Nápoles, Esta-

dos Unidos ya producía DDT a escala industrial y envió a Italia varias toneladas. De inmediato, el ejército instaló cuarenta estaciones de despiojado equipadas para espolvorear el insecticida sobre la gente (Wheeler, 1946). El DDT era aplicado a presión mediante una manguera que se introducía por las aberturas de las ropas. No hay informes de muertes humanas, y es probable que no hayan ocurrido, porque la toxicidad del DDT en las personas es muy baja.

Durante el resto de la guerra, los aliados usaron DDT en todos los frentes (Mellanby, 1992). El nuevo insecticida detuvo el tifus en varios campos de concentración recientemente liberados y la peste bubónica en Dakar (Figura 6). También se usó en grandes cantidades para contro-

lar a los mosquitos que transmiten la malaria. En las islas del océano Pacífico, era común hacer una aplicación aérea de DDT antes del desembarco de los soldados estadounidenses.

En 1948, Müller recibió el Premio Nobel de Medicina “por su descubrimiento de la alta eficacia del DDT contra varios artrópodos” (The Nobel Prize, 2021). Fue la primera vez que el Nobel de Medicina fue entregado a alguien que no era médico. La fama del Nobel le dio reconocimiento mundial. El entomólogo inglés Kenneth Mellanby refiere que una de las “más bizarras experiencias” de Müller fue “aceptar la invitación para visitar Argentina que le hicieron el entonces presidente Juan A. Perón [sic] y su esposa Evita. Se esperaba que le otorgaran el



Figura 6: Un soldado inglés aplica DDT en polvo entre las ropas de un ex prisionero del campo de concentración de Bergen Belsen (1945). Fuente: Wikimedia commons.

título de doctor *honoris causa* de la Universidad de Buenos Aires y lo hicieron Profesor Honorario de la Universidad Eva Perón, pero también le ofrecieron el cargo de Ministro de Educación. Müller rehusó la oferta” (Mellanby, 1992).

■ UNA NUEVA ESPERANZA

Después de la guerra, los usos del DDT se ampliaron considerablemente. Pronto demostró su efectividad para controlar todo tipo de plagas agrícolas y forestales. También se lo siguió usando contra insectos transmisores de enfermedades, con resultados tan efectivos como los obtenidos con el tifus en Nápoles. En la década de 1950, se organizaron programas para controlar o erradicar mosquitos y otros insectos vectores. Además de los mosquitos *Anopheles*, el DDT controló al vector de la fiebre amarilla (*A. aegypti*); las moscas domésticas, negras y del sueño; las pulgas, y los piojos del cuerpo y de la cabeza. La vinchuca *Triatoma infestans*, principal vector de la enfermedad de Chagas en Argentina, fue una de las pocas plagas

de importancia médica que el DDT no pudo controlar. El metabolismo de este insecto transforma el DDT en un producto soluble en agua, que es excretado (Agosin, 1964). Además, el pasaje del DDT a través del esqueleto externo de la vinchuca es particularmente lento (Fontán y Zerba, 1992).

Al principio se lograron muy buenos resultados (Tabla 5), pero mantener el éxito alcanzado se fue haciendo cada vez más difícil, a medida que las poblaciones de insectos se iban haciendo resistentes al DDT. El insecticida empezó a fallar y las enfermedades tropicales recrudecieron.

Los primeros informes científicos de insectos resistentes al DDT se remontan a 1946, cuando se detectaron fallas en el control de la mosca doméstica en el norte de Suecia (Brooks, 2018). En aquel entonces, se sabía muy poco acerca de la resistencia a los insecticidas y los informes científicos tenían poca difusión fuera del ámbito académico. Además, el DDT era considerado

una herramienta maravillosa para el control de los insectos y costó aceptar que hubiera empezado a fallar.

Pero la resistencia no es una respuesta específica de las poblaciones de insectos al DDT. La aplicación de cualquier insecticida sobre una población de insectos elimina a los individuos susceptibles, mientras que los resistentes sobreviven. Si se sigue aplicando el mismo insecticida, a medida que pasan las generaciones aumenta la proporción de insectos resistentes. La resistencia al DDT contribuyó a que se dejara de usar, pero uno de los principales factores que aceleró su prohibición en muchos países fue un libro.

■ LA ADVERTENCIA DE CARSON

El libro que precipitó la caída del DDT fue *Primavera silenciosa*, de la bióloga estadounidense Rachel Carson (1907-1964) (Figura 7) (Carson, 2010). Publicada en 1962, *Primavera silenciosa* es una obra de divulgación que alertó a la opinión pública sobre las consecuencias del uso descontrolado del DDT y otros

Tabla 5. Impacto del DDT sobre la incidencia de enfermedades humanas.

Lugar	Vector - enfermedad	Incidencia antes de usar DDT (año)	Incidencia después de usar DDT (año)
Egipto	Piojos - tifus	40 188 (1943)	187 (1948)
Cerdeña	Mosquitos - malaria	78 153 (1944)	9 (1951)
Guatemala	Piojos - tifus	2384 (1945)	8 (1951)
Chipre	Mosquitos - malaria	7686 (1945)	406 (1948)
Ceilán	Mosquitos - malaria	2 800 000 (1948)	17 (1963)

Fuente: Mellanby (1992).

insecticidas. Los argumentos de Carson, apoyados por evidencia científica, eran indiscutibles:

- El DDT es una sustancia muy estable, con una vida media en el ambiente que puede superar los diez años (ATSDR, 2002).
- También es insoluble en agua, por lo que tiende a acumularse en los tejidos grasos de los seres vivos. A esta propiedad, junto con su alta estabilidad ambiental, se debe su presencia en la grasa de animales, incluida la leche materna humana (Eskenazi et al., 2009).
- Como consecuencia de sus propiedades físico-químicas, el DDT se acumula en los seres vivos. Esto, a su vez, hace que se su concentración aumente en las cadenas tróficas (Baird and Can, 2012). En la década de 1950, era frecuente aplicarlo en lagos y lagunas para eliminar a las larvas de mosquitos. El DDT ingresaba al cuerpo de todos los organismos que vivían en el agua. Cuando uno de ellos se comía a otro, además del insecticida que recibía del agua incorporaba el que estaba dentro de su alimento. Esto ocurría en cada eslabón de la cadena trófica, de modo que los organismos ubicados en los niveles más altos ingerían tanto DDT que se intoxicaban. Así murieron muchas aves que se alimentaban de peces.
- El DDT interfiere en la formación de las cáscaras de los huevos de las aves (Lundholm, 1997). Por falta de calcio, las cáscaras resultan muy frágiles y se rompen con facilidad. Este efecto produjo una alta mortandad en poblaciones de águilas calvas, pelícanos marrones, halcones peregrinos y otras aves.

Las características del DDT venían siendo investigadas por los científicos desde los años 40s. El mérito de *Primavera silenciosa* fue transferir la información del ámbito académico al público en general y a los gobernantes. El presidente Kennedy leyó el libro y les pidió a sus asesores científicos un informe sobre los riesgos asociados al uso de plaguicidas.

La advertencia difundida por *Primavera silenciosa* se refería a problemas reales, que empeorarían si no se tomaban medidas apropiadas.

De ahí su título, que alude a una hipotética primavera sin pájaros, aniquilados por la contaminación ambiental con plaguicidas. Así terminó lo que el entomólogo estadounidense Robert Metcalf llamó "La era del optimismo" del control de plagas y comenzó "La era de la duda" (Metcalf, 1980).

En los años siguientes, surgieron reglamentaciones y estrategias para minimizar el impacto de los plaguicidas en el ambiente y en los seres que no son plagas. Con el tiempo, se fue imponiendo el Manejo Integrado



Figura 7: La bióloga estadounidense Rachel Carson, autora del libro *Primavera silenciosa*, difundió entre el público en general el fuerte impacto negativo de los plaguicidas sobre el ambiente y los seres vivos. Fuente: Wikimedia commons.

de Plagas, un concepto que comenzó a ser explorado en la década de 1950, cuando científicos estadounidenses propusieron que el manejo de insectos debía ser supervisado por entomólogos (Kogan, 1998). También se reconoció la necesidad de desarrollar nuevos productos insecticidas, para usarlos como alternativas para retardar el surgimiento de la resistencia. Y se crearon organismos estatales para regular la venta de plaguicidas y decidir, con fundamento científico, cuáles pueden ser autorizados para la venta y cuáles no.

Carson no llegó a presenciar el profundo impacto de su obra. Murió en 1964, a los 56 años, debilitada por el cáncer y la radioterapia. En 1980, la honraron con la Medalla Presidencial de la Libertad, máxima condecoración civil otorgada por el gobierno de Estados Unidos.

Prohibido o restringido su uso, los efectos negativos del DDT empezaron a revertir. La fauna salvaje se recuperó, y la cantidad de DDT

detectada en aves y mamíferos disminuyó considerablemente. Los expertos consideran que la mayoría de los problemas generados por el uso de este y otros plaguicidas se debieron al uso incorrecto que se les dio durante años.

■ EL DÍA DESPUÉS

En 1968, Hungría fue el primer país que prohibió el uso del DDT (MARD, 2005). Le siguieron Noruega, Suecia, Alemania Occidental, Estados Unidos y otros países. En Argentina, el Decreto 2121/90 del Poder Ejecutivo Nacional prohíbe la "importación, fabricación, fraccionamiento, comercialización y uso de productos de aplicación agrícola formulados a base de [...] DDT".

La drástica disminución en el uso de DDT fue rápidamente seguida por un aumento en la aplicación de fosforados y carbamatos, dos familias de insecticidas surgidas después de la Segunda Guerra Mundial. Según pasaron los años, los más tóxicos integrantes de estas dos familias fue-

ron cayendo en desuso, parcialmente reemplazados por los piretroides fotoestables obtenidos a partir de 1972 y los neonicotinoides que alcanzaron el mercado en la década de 1990. Desde entonces, no se ha desarrollado ninguna familia importante de insecticidas sintéticos.

Simultáneamente, surgieron estrategias alternativas para reemplazar o complementar a los insecticidas químicos convencionales (Matthews, 2011). Estas alternativas incluyen métodos culturales como los que se usaban a comienzos del siglo XX. Las herramientas para uso no profesional permiten la participación activa de las comunidades mediante el uso de mosquiteros impregnados, pinturas insecticidas y potes fumígenos que emiten humos tóxicos para los insectos (Recuadro 3) (Rozendaal, 1997). También da buenos resultados educar a la comunidad para que adopte medidas de autoprotección individuales o grupales.

Recuadro 3 Del pote salía humo. . .

En la década de 1990, con el propósito de controlar a las vinchucas transmisoras de la enfermedad de Chagas, el Ministerio de Salud de la Nación Argentina adquirió cientos de miles de potes fumígenos que despedían humos insecticidas (Zerba, 1999). Los potes eran un desarrollo local, realizado en el Centro de Investigaciones de Plagas e Insecticidas de Villa Martelli, provincia de Buenos Aires (CIPEIN).

Hasta ese momento, el control de vinchucas se basaba casi exclusivamente en el rociado de las paredes de las viviendas rurales con formulaciones insecticidas. Para realizar los tratamientos en forma efectiva, había que sacar de las viviendas los muebles y todo otro objeto que obstaculizara el rociado de las paredes. Además de la molestia para los habitantes de las casas, siempre existía el riesgo de que entre los objetos desalojados hubiera vinchucas que escapaban al tratamiento. Para aplicar el pote fumígeno, en cambio, bastaba colocarlo en el piso de la vivienda y encender una mecha que iniciaba una ignición sin llama. El humo llegaba a todos los recovecos sin necesidad de sacar los muebles y demás pertenencias. Otras ventajas del pote fumígeno eran que resultaba más económico que las actividades de rociado de insecticidas, y que para aplicarlo no se requería la participación de un profesional.

El pote fumígeno obtuvo el reconocimiento de la OMS como herramienta para el control de vinchucas, y fue considerado uno de los tres factores que más contribuyeron a mejorar la salud mundial en la década de 1990 (Zerba 2015). El CIPEIN también fue objeto de un importante reconocimiento: la OMS lo incorporó a su lista de Centros Colaboradores, distinción que se renueva periódicamente y aún sigue vigente. En Argentina, el pote fumígeno se sigue usando para controlar vinchucas.

El control biológico implica el uso de seres que se alimentan de los insectos o les producen enfermedades. Es un método atractivo para controlar insectos vectores, porque es muy específico y su impacto ambiental es mínimo. Sin embargo, en pocos casos se alcanzaron los resultados esperados, porque las interacciones biológicas son complejas y los resultados obtenidos en los laboratorios no siempre se reproducen en el campo. Además, a diferencia de la aplicación de insecticidas químicos, el resultado del control biológico no es instantáneo.

La necesidad de optimizar el control de los insectos que transmiten enfermedades llevó a la concepción del Manejo Integrado de Vectores. La Organización Mundial de la Salud (OMS) lo define como un proceso racional de toma de decisiones que requiere un enfoque dirigido a mejorar la eficacia, la rentabilidad, el compromiso ecológico y la sustentabilidad de las intervencio-

nes de control de vectores con las herramientas y recursos disponibles (WHO, 2012a).

Mientras más de doscientos millones de personas están infectadas de malaria y unas cuatrocientas mil mueren cada año, la discusión en torno al DDT continúa (WHO, n.d.). ¿Es correcto su uso en condiciones restringidas o habría que descartarlo por completo? Hay quienes piensan que la única opción razonable es prohibirlo en forma absoluta. La OMS, en cambio, recomienda su aplicación dentro de las viviendas para controlar los mosquitos de la malaria (WHO, 2011). Esta forma de uso no constituye un riesgo serio para las personas ni para el ambiente, y ofrece una alternativa barata y efectiva cuando la resistencia de los insectos obliga a cambiar de insecticida.

Después de la prohibición, la legislación estadounidense conservó el DDT como un as en la manga,

dispuesta a ponerlo sobre la mesa en caso de emergencia. Por ejemplo, entre 1972 y 1979, se aprobó la aplicación de DDT en algunos estados para controlar pulgas infestadas con la peste bubónica y algunas plagas agrícolas (Bate, 2007).

■ UN CÍRCULO VICIOSO

Las enfermedades transmitidas por insectos afectan a cientos de millones de personas que viven en regiones tropicales y subtropicales, cuyo clima favorece el desarrollo de los vectores (Tabla 6). Son problemas de Salud Pública que afectan casi exclusivamente a los países donde la pobreza es alta y la mayor parte de la población no tiene acceso a los mínimos recursos sanitarios que se necesitan para llevar una vida saludable. Es un círculo vicioso en el que la pobreza genera enfermedades que empeoran la pobreza.

A comienzos del siglo XXI, la OMS elaboró una lista de trece En-

Tabla 6. Enfermedades transmitidas por insectos con mayor incidencia mundial.

Enfermedad	Países donde la transmisión es activa	Población infectada (en millones)	Población en riesgo (en millones)
Malaria	99	265	3125
Filariasis linfática	72	120	1390
Dengue	> 100	Variable	2500
Leishmaniasis	88	Información no disponible	200
Chagas	21	10	30
Oncocercosis	37	Información no disponible	40
Enfermedad del sueño	37	Información no disponible	15

Fuente: WHO (2012a).

Tabla 7. Lista de Enfermedades Tropicales Desatendidas de la OMS.

Dengue y chikungunya*
Dracunculiasis
Enfermedad de Chagas*
Envenenamiento por mordedura de serpiente
Equinococosis
Esquistosomiasis
Filariasis linfática*
Helmintiasis transmitida por el suelo
Leishmaniasis*
Lepra
Micetoma, cromoblastomicosis y otras micosis profundas
Oncocercosis*
Pian
Rabia
Sarna y otras ectoparasitosis
Teniasis/cisticercosis
Tracoma
Trematodiasis transmitida por alimentos
Tripanosomiasis africana*
Úlcera de Buruli

* Enfermedades transmitidas por insectos.

Fuente: WHO (n.d.).

fermedades Tropicales Desatendidas (ETD). ¿Por qué se las considera desatendidas? Porque reciben poca atención, se les asignan pocos recursos económicos y no figuran entre las prioridades sanitarias de los países afectados (WHO, 2012b). Históricamente, se les han dedicado muchos menos recursos y esfuerzos que a otras enfermedades infecciosas consideradas “no desatendidas”, como la tuberculosis, el SIDA y la malaria. Por su relación con la pobreza, representan un mercado sin capacidad de pago que no atrae a las empresas farmacéuticas. En muchos casos, los problemas de salud que enfrentan los países más pobres no se deben a la ausencia de tratamientos, sino a que la atención médica está fuera del alcance de las personas.

Desde su creación, la lista de ETD creció. Actualmente incluye veinte enfermedades muy variadas, que producen diferentes síntomas y se transmiten de diferentes maneras (Tabla 7) (WHO, n.d.). Algunas son transmitidas por insectos; otras, como la lepra, la sarna y la esquistosomiasis, no. En conjunto, afectan a unos mil millones de las personas más pobres del planeta y son endémicas en más de 140 países. En unos cien países coexisten al menos dos de ellas; y en unos treinta, seis o más. Esto hace que muchas personas sufran al mismo tiempo más de una ETD. El impacto socioeconómico de estas enfermedades es enorme, porque impiden que los niños vayan a la escuela y los adultos, a trabajar.

Por razones prácticas o económicas, no siempre es posible realizar campañas en gran escala para con-

trolar las ETD, pero hay ejemplos en los que se alcanzaron buenos resultados. A fines del siglo pasado, se lanzaron en América Latina varias iniciativas que lograron interrumpir la transmisión del Chagas por *T. infestans* en Brasil, Chile y Uruguay, e interrumpirla parcialmente en Argentina, Bolivia y Paraguay (OPS, 2012).

En los últimos tiempos, la OMS cambió la forma de enfocar el problema de las ETD. Antes, cada enfermedad se abordaba en forma individual; el nuevo enfoque propone ofrecer una respuesta integrada a las necesidades sanitarias de las comunidades pobres (OMS, 2010). La participación conjunta de gobiernos y comunidades es un factor clave para alcanzar los objetivos.

En enero de 2021, la OMS lanzó su segunda Hoja de Ruta para las ETD (OMS, 2021). Los objetivos para los próximos diez años incluyen erradicar en todo el mundo dos enfermedades (pian y dracunculosis); interrumpir en varios países la transmisión de otras tres (lepra, oncocercosis y tripanosomiasis africana); eliminar en varios países el problema de salud pública que representan el Chagas y otras siete enfermedades; y lograr que cien países erradiquen al menos una enfermedad en sus respectivos territorios.

Los resultados de los programas diseñados para controlar las ETD suelen ser tan variables como los factores políticos, económicos y sociales de los cuales dependen. Además de su dimensión moral y humanitaria, el cuidado de la salud debería ser pensado como un objetivo para favorecer el crecimiento económico de los países. La pandemia de coronavirus declarada por la OMS en marzo de 2020 puso en evidencia lo que pasa cuando se piensa de otra manera.

■ GLOSARIO

Artrópodo: animal con esqueleto externo, y patas y antenas articuladas, como los insectos, las arañas, los ciempiés y los cangrejos.

Entomólogo: especialista en Entomología, rama de la Biología que estudia a los insectos.

Epidemia: enfermedad infecciosa que afecta simultáneamente a una gran cantidad de personas en un lugar determinado.

Especie: conjunto de seres vivos que pueden reproducirse entre sí y dejar descendencia fértil. En el ámbito del control de plagas, es muy importante identificar a qué especie pertenecen los individuos que se pretende controlar. Esto se debe a que cada especie tiene características particulares, de modo que una estrategia apropiada para controlar una especie puede ser totalmente ineficaz para controlar a otra.

Flebótomo: insecto que pertenece al mismo grupo que las moscas y los mosquitos. Algunas especies transmiten leishmaniasis y bartonelosis.

Incidencia: número de nuevos casos de una enfermedad en una población determinada durante cierto período.

Insecticidas carbamatos: derivados sintéticos del ácido carbámico. Tienen como antecedente natural la fisostigmina, un carbamato presente en los porotos del calabaz, planta que crece en el oeste africano. En otros tiempos, los chamanes de la región preparaban con estos porotos un brebaje que usaban en juicios de la verdad. Se lo daban de beber al sospechoso de un crimen. Si sobrevivía, lo declaraban inocente; si moría, lo consideraban culpable.

Insecticidas fosforados: derivados sintéticos del ácido fosfórico. Fueron investigados en la Alemania nazi para el desarrollo de gases de guerra. Finalizado el conflicto, algunas empresas estadounidenses accedieron a esas investigaciones, que originaron la industria de una nueva familia de insecticidas.

Manejo Integrado de Plagas: estrategia que usa diferentes métodos para controlar plagas (físicos, mecánicos, químicos, biológicos, genéticos, legales y culturales). Sus objetivos son disminuir la aplicación de insecticidas químicos y minimizar el impacto del control de plagas sobre el ambiente.

Nematodo: gusano de cuerpo cilíndrico. Algunos se alimentan de tejidos humanos y producen enfermedades como filariasis, oncocercosis y triquinosis.

Pandemia: enfermedad infecciosa que afecta simultáneamente a los habitantes de muchos países.

Piretro: insecticida que se extrae de las flores de margaritas del grupo *Chrysanthemum*. Hace más de un siglo y medio, ya se usaba en Europa, y mucho antes, en el Medio Oriente. Primero se aplicaban las flores secas y pulverizadas. Más tarde, se descubrió que, si se sumerge el polvo en un solvente orgánico y luego se deja evaporar, se obtiene una jalea insecticida.

Protozoo: organismo unicelular con núcleo. Conformar un grupo de seres que incluye las amebas y los paramecios, entre muchos otros. Algunas especies producen enfermedades como Chagas, malaria, enfermedad del sueño, leishmaniasis, tricomoniasis y disentería.

■ BIBLIOGRAFÍA

Agosin M., Morello, A., Scaramelli, N. (1964) Partial characterization of the *in vivo* metabolites of DDT-C¹⁴ in *Triatoma infestans*. *Journal of Economic Entomology* 57, 974-977.

Alzogaray R.A. (ed.) (2018) *Insectos de importancia sanitaria en Argentina*. Buenos Aires: Editorial Autores de Argentina.

Anónimo (1965) *Popol Vuh*. Buenos Aires: Losada.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2002) *ToxGuide for DDT/DDD/DDE*. Atlanta: ATSDR.

Baird C., Can M. (2012) *Environmental chemistry*. New York: Freeman and Company.

Bate R. (2007) The rise, fall, rise and imminent fall of DDT. *American Enterprise Institute for Public Research* 14, 1-9.

Beadle C., Hofmann S.L. (1993) History of malaria in the United States Naval Forces in war: World War I through the Vietnam conflict. *Clinical Infectious Diseases* 16, 320-329.

Berenbaum M.R. (1995) *Bugs in the system*. New York: Addison-Wesley.

Brooks G.T. (2018) *Chlorinated insecticides vol 2*. Boca Raton: CRC Press.

Byrne J.P. (2012) *Encyclopedia of the Black Death*. Santa Barbara: ABC-CLIO.

Carson R. (2010) *Primavera silenciosa*. Barcelona: Crítica.

- Durden G.R., Mullen L.A. (2019) Introduction. In: Durden G.R., Mullen L.A. (eds.) *Medical and Veterinary Entomology*, pp. 1-16. London: Academic Press.
- Eskenazi B., Chevrier J., Goldman Rosas L., et al. (2009) The Pine River statement: Human health consequences of DDT use. *Environmental Health Perspectives* 117, 1359-1367.
- Flint M.L., van den Bosch R. (1983) *Introduction to integrated pest management*. New York: Plenum Press.
- Fontán A., Zerba, E. (1992) Influence of the nutritional state of *Triatoma infestans* over the insecticidal activity of DDT. *Comparative Biochemistry and Physiology* 101C, 589-591.
- Harvard University Library (n.d.) *Contagion: Historical views of diseases and epidemics*. <https://curiosity.lib.harvard.edu/contagion>
- Harris S.H. (1994) *Factory of death*. London: Routger.
- Jennings White III J. (2018) Typhus: Napoleon's tragic invasion of Russia, the war of 1812. In: Seaman R. (ed.). *Epidemics and war*, pp 69-82. Santa Barbara: ABC-CLIO.
- Kogan M. (1998) Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology* 43, 243-270.
- Lane R.P., Crosskey R.W. (1993) General introduction. In: Lane R.P., Crosskey R.W. (eds.), *Medical insects and arachnids*, pp. 1-29. Cambridge: Chapman & May.
- Lockwood J.A. (2012) Insects as weapons of war, terror, and torture. *Annual Review of Entomology* 57, 205-227.
- Lundholm C.E. (1997) DDE-induced eggshell thinning in birds: Effects of p,p'-DDE on the calcium and prostaglandin metabolism of the eggshell gland. *Comparative Biology and Physiology* 118C 2, 113-128.
- MARD - Ministry of Agriculture and Rural Development (2005) *Selected passages from the history of the hungarian plant protection administration on the 50th anniversary of establishing the county plant protection stations*. <https://web.archive.org/web/20090110025539/http://www.fvm.hu/main.php?folderID=1564&articleID=6169&ctag=articlelist&iid=1&part=2>
- Matthews G. (2011) *Integrated vector management*. Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Matthews G.A. (2018) *A history of pesticides*. Boston: CABI.
- Mayor A. (2009) *Greeke fire, poison arrows, and scorpion bombs*. New York: Overlook Duckwort.
- Metcalf C.L. (1980) Changing role of insecticides in crop protection. *Annual Review of Entomology* 25, 219-256.
- Metcalf C.L., Flint W.P. (1980) *Insectos destructivos e insectos útiles*. México: Continental.
- Mellanby K. (1992) *The DDT story*. Surrey: British Crop Protection Council.
- OMS - Organización Mundial de la Salud (2010) *El empeño por contrarrestar el impacto de las enfermedades tropicales desatendidas*. Ginebra: OMS.
- OMS - Organización Mundial de la Salud (2021) *Poner fin a la desatención para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible*. Ginebra: OMS. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332421/WHO-UCN-NTD-2020.01-spa.pdf>
- OPS - Organización Panamericana de la Salud (2012) *XIV Reunión de la Comisión Inter-gubernamental de la Iniciativa de los Países de Centroamérica (IPCA) para la Interrupción de la Transmisión Vectorial, Transfusional y Atención Médica de la Enfermedad de Chagas*. OPS, <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/2012-XIV-IPCA-Reunion.pdf>
- Paoletti M.G. (2005) *Ecological implications of minilivestock*. Enfield: Science Publishers.
- Rozendaal J.A. (1997) *Vector control*. Geneva: World Health Organization.
- Smallman-Reynor M.R., Cliff A.D. (2004) Impact of infectious diseases on war. *Infectious Disease Clinics of North America* 18, 341-348.
- Talty S. 2009. *The illustrious dead*. New York: Crown.
- The Nobel Prize (2021) *The Nobel Prize in physiology or medicine 1948*. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1948/summary/>
- Urretabizkaya N. (2018) *Manejo integrado de plagas asociadas al cultivo de maíz*. Lomas de Zamora: Cátedra de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias

- Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Weersink A., Deen W., Weaver S. (1991) Defining and measuring economic threshold levels. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 39, 619-625.
- Wheeler C.M. (1946) Control of typhus in Italy: 1943-1944. *American Journal of Public Health* 36, 119-129.
- WHO - World Health Organization (n.d.) Neglected tropical diseases. https://www.who.int/neglected_diseases/diseases/en/
- WHO - World Health Organization (2011) The use of DDT in malaria vector control. Geneva: WHO.
- WHO - World Health Organization (2012a) Handbook for integrated vector management. Geneva: WHO.
- WHO - World Health Organization (2012b) ¿Por qué se les dice “desatendidas” a algunas enfermedades tropicales? <https://www.who.int/features/qa/58/es/>
- Zerba E.N. (1999) Past and present of Chagas vector control and future needs. Geneva: WHO.
- Zerba E.N. (2015) De la química a la toxicología en insectos. *Ciencia e Investigación, Reseñas* 3, 112-126.

■ ORIGEN DE LAS ILUSTRACIONES

Pixnio, <https://pixnio.com>

Public Domain Files, <http://www.publicdomainfiles.com>

Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org>

EL CONTROL DE INSECTOS VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN EL CONO SUR DE AMÉRICA LATINA

Palabras clave: Chagas, triatomines, *Triatoma infestans*, insecticidas piretroides, INCOSUR.
Key words: Chagas, triatomines, *Triatoma infestans*, pyrethroid insecticides, INCOSUR.

Carlos Chagas descubrió en 1909 la enfermedad que lleva su nombre y caracterizó la transmisión vectorial causada por insectos triatomines de la familia Triatominae. En el Cono Sur de América Latina el principal vector es el *Triatoma infestans*. Desde los inicios de la lucha contra esta enfermedad, el control de sus insectos vectores fue uno de los principales objetivos. Los insecticidas organoclorados fueron los utilizados para tal fin, reemplazados posteriormente por organofosforados y carbamatos. A principio de la década del 80 se abre un ciclo de control más exitoso con la introducción del insecticida

piretroide deltametrina, al que le siguieron otros del mismo tipo (cianopiretroides de tercera generación). En 1990 los países del sur de América Latina acuerdan comenzar con la Iniciativa del Cono Sur (INCOSUR). Este acuerdo internacional tuvo como objetivo inicial interrumpir la transmisión vectorial del Chagas y la causada por bancos de sangre contaminados. El control de los triatomines se implementó con la deltametrina y otros insecticidas piretroides similares. El éxito del control permitió que Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay certifiquen la interrupción de la transmisión vectorial.

La inesperada aparición de resistencia a insecticidas piretroides a principios de siglo, particularmente en la zona chaqueña de Argentina y Bolivia puede ser considerada una de las causas fundamentales por las que estos países aun no hayan podido certificar la interrupción de la transmisión vectorial del Chagas. Tanto en la implementación del control vectorial con piretroides, como en la detección y estudio del desarrollo de resistencia a estos insecticidas, tuvieron mucho protagonismo las capacidades científico-tecnológicas latinoamericanas.

Carlos Chagas discovered in 1909 the disease that bears his name and characterized its *vectorial* transmission caused by triatomines of the Triatominae family. In the southern region of Latin America, the main vector is *Triatoma infestans*. In 1990 the southern countries of Latin America agreed to start the Southern Cone Initiative (INCOSUR). The initial objective of this international agreement was to interrupt the vector transmission of Chagas and the contagion caused by contaminated blood banks. Triatomine control was implemented with deltamethrin and other similar pyrethroid insecticides. The success of the control allowed Brazil, Chile, Paraguay and Uruguay certify the interruption of vector transmission. The unexpected appearance of resistance to pyrethroid insecticides at the beginning of this century, particularly in the Chaco area of Argentina and Bolivia, can be considered one of the fundamental causes why these countries have not yet been able to certify the interruption of vector transmission of Chagas disease. Both in the implementation of vector control with pyrethroids, and in the detection and study of the development of resistance to these insecticides, Latin American scientific-technological capacities played a leading role.

■ 1.- INTRODUCCIÓN

En el año 1909 y en Minas Gerais, Brasil, Carlos Chagas descubrió un mismo tipo de parásito en la sangre de un niño enfermo y en

un insecto de los muchos que se encontraban en las viviendas de la zona. Chagas identificó al parásito *Trypanosoma cruzi* como el agente responsable de una nueva enfermedad. Actualmente, la enfermedad de

Chagas, también llamada Tripanosomiasis americana es uno de los mayores problemas de la salud pública en América latina, no sólo por su incidencia sanitaria sino también por el descuido de su atención que han

■ Eduardo Zerba

Instituto de Investigaciones e Ingeniería Ambiental (3iA), Universidad Nacional de San Martín (UNSAM)

E-mail: ezerba@live.com.ar

hecho históricamente muchos gobiernos, por tratarse de una “enfermedad silenciosa” (Chagas, 1909; WHO, 2021)

Chagas ya anticipó este problema cuando en un tono escéptico y desesperanzado, propio de la total falta de reconocimiento que recibió en su época, le escribió a Salvador Mazza, el gran estudioso de la enfermedad en la Argentina: “*Hay un designio nefasto en el estudio de la tripanosomiasis. Cada trabajo, cada estudio, apunta un dedo hacia una población malnutrida que vive en malas condiciones; apunta hacia un problema económico y social, que a los gobernantes les produce tremenda desazón, pues es testimonio de incapacidad para resolver un problema tremendo. Pienso que a veces más vale ocuparse de infusorios o de los batracios que no despiertan alarmas a nadie*” (Fuente: Reyes, 2009). No es un dato menor que América latina es la región del mundo que registra mayor inequidad según el informe sobre desarrollo humano 2019 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (http://hdr.undp.org/default/files/hdr_2019_es)

Inequidad que se manifiesta con toda crudeza en la paupérrima área rural de la región, sin dudas el principal combustible que impulsa la transmisión vectorial del Chagas.

Por esta razón la mayor incidencia de la enfermedad ocurre principalmente en el segmento más pobre y marginado de la América Latina rural causando mucho más discapacidades que mortalidad.

La estimación actual es que 70 millones de personas en América Latina están expuestas a infectarse con el *T. cruzi*, y que alrededor de 6 millones están infectadas. Se estima que la incidencia anual es de

30.000 casos por transmisión vectorial, 9.000 recién nacidos que adquieren la infección durante el embarazo, y aproximadamente 14 000 muertes al año (WHO, 2021). A pesar de los avances que ha habido en el control de la transmisión vectorial, la enfermedad de Chagas sigue siendo endémica en 21 países de América Latina. No obstante como consecuencia de las globalización, la urbanización, la intensificación del turismo, y el cambio climático, la enfermedad ha dejado de ser un problema exclusivo del ámbito rural latinoamericano y se ha instalado en ciudades del área endémica, en EEUU y en países de Europa, Asia y Oceanía, transformándose en un problema de salud pública global. Si bien la enfermedad de Chagas se ha globalizado, la transmisión vectorial por chinches hematofagas (triatominos comúnmente llamados vinchuca en Argentina), aunque exclusivamente americana, sigue siendo la forma de contagio más importante. (WHO, 2021). Es una forma de contagio fundamentalmente rural, probablemente debido a que la enfermedad de Chagas es una infección propia de animales selváticos. Posteriormente a través de las actividades del hombre, al irrumpir en sus

medios naturales, algunas especies de triatominos vectores de la enfermedad de Chagas se adaptaron a la vivienda humana (“domiciliación”). El domicilio humano rural en Latinoamérica es un ámbito propicio, no sólo para la supervivencia del vector sino también para la transmisión de la enfermedad (Zeledón y Rabinovich, 1981).

■ II.- LOS INSECTOS VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

Los insectos vectores de la enfermedad de Chagas son chinches hematofagas que pertenecen al orden Hemiptera, familia Reduviidae y a la subfamilia Triatominae, comúnmente llamados triatominos.

Las especies de mayor importancia sanitaria por la capacidad que tienen de transmitir la enfermedad vectorial por su adaptación oportunista o permanente a la vivienda, son *Triatoma infestans* en los países del Cono Sur de América Latina y *Rhodnius prolixus* y *Triatoma dimidiata* en los países del norte sudamericano y parte de América Central. En la figura 1 se muestra el triatolino de la especie *Triatoma infestans*, común-



Figura 1: Triatolino *Triatoma infestans* principal insecto vector domiciliado de la enfermedad de Chagas en el Conosur de América Latina.

mente llamado vinchuca y que es el insecto vector predominante en el Conosur de América Latina.

■ III.- INSECTICIDAS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE LOS INSECTOS VECTORES DE CHAGAS

Dentro de las estrategias de manejo integrado de vectores (MIV), el control mediante insecticidas sigue siendo la herramienta más importante para el control de triatomíneos en toda la región, con el fin de interrumpir la transmisión vectorial del Chagas. La aplicación del insecticida se hace por rociado sobre paredes, techo, enseres que se encuentran dentro de las viviendas y estructuras peridomiciliarias. (Figura 2).

Es aquí cuando surge la pregunta; ¿que insecticidas se utilizan para este fin y porque?

Comenzando con un poco de historia, es necesario recordar el éxito arrollador que tuvo el uso del DDT en el control de mosquitos en la década del 40 del siglo pasado. Para el paradigma de la época, todo indicaba que el efecto insecticida de este nuevo insecticida organoclorado sintético, de amplio espectro de

acción y una gran estabilidad química, sería una imprescindible herramienta para el control de insectos plaga. En este sentido, las mayores expectativas estaban particularmente puestas en el control de aquellos insectos transmisores de enfermedades humanas, como ocurrió con su utilización en los mosquitos que transmiten la malaria (Mellanby, 1992).

Sorpresivamente el DDT no fue una alternativa exitosa para el control de vectores de la enfermedad de Chagas. En 1945-1946 los primeros intentos de control de triatomíneos realizados con este insecticida en Brasil resultaron un fracaso debido a la tolerancia natural al DDT que manifiesta el principal vector del sur de Latinoamérica, *Triatoma infestans* (Dias, 2002; Zerba, 1989, 1997; Zerba et al, 1987).

En la década del 40, además del DDT, se sintetizaron una serie de otros compuestos neurotóxicos de la familia de los organoclorados. Dos de ellos, el HCH (Hexaclorociclohexano, comúnmente conocido como *gamexane*) y el dieldrin fueron introducidos en campañas gubernamentales de control de vec-

tores en América Latina (Aché et al, 2008; Zerba, 1997, 1999).

¿Por qué estos insecticidas? En esos años ambos compuestos organoclorados sintéticos de gran estabilidad química y persistencia representaron una alternativa al DDT y resultaron efectivos en el control de triatomíneos. Por tal razón se impusieron como las herramientas insecticidas que cimentaron los exitosos programas iniciales organizados para el control de vectores de Chagas en Latinoamérica. (Segura, 2002).

Los compuestos organoclorados usados inicialmente fueron sustituidos debido a su cuestionable impacto ambiental y al riesgo causado por su gran estabilidad química y liposolubilidad. La publicación de Rachel Carson en EEUU del libro Primavera Silenciosa (Carson, 1969) sacudió a la opinión pública de ese país y llevó a una toma de conciencia generalizada, incluyendo a las autoridades sobre el impacto ambiental de los plaguicidas persistentes. Como consecuencia las regulaciones para su uso fueron cada vez más restrictivas hasta llegar a su prohibición casi total en la actualidad.

¿Qué insecticidas los sustituyeron? La alternativa fue una serie de compuestos de un importante uso sanitario en esos años, los cuales causan neurotoxicidad al actuar sobre una enzima vital para la transmisión del impulso nervioso, como es la acetilcolinesterasa (Thompson y Richardson, 2004). La inhibición de esta enzima, crítica para el funcionamiento del sistema nervioso, es la causa inicial del efecto letal que producen estos insecticidas, los cuales pertenecen a las familias químicas de los organofosforados y los carbamatos. En general se trata de compuestos tóxicos, no sólo para insectos sino también para



Figura 2: Rociado con insecticida de una vivienda y sus enseres en el área rural de Argentina.

animales vertebrados (Thompson & Richardson, 2004). En el control de los triatomínicos vectores de Chagas se usaron principalmente en los programas del Cono Sur de América Latina, los organofosforados de menor toxicidad en mamíferos llamados fenitrotión y malatión, aunque también se recurrió al carbamato propoxur (Zerba, 1997;1999).

■ IV. LOS INSECTICIDAS PIRETROIDES EN EL CONTROL DE LOS VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

Posteriormente los insecticidas organofosforados y los carbamatos fueron sustituidos por compuestos piretroides, derivados sintéticos de las piretrinas naturales, componentes de las llamadas flores del piretro, las cuales son parte de la planta, *Chrysanthemum cinerariaefolium*. (Casida, 1973). Las piretrinas naturales se usan como insecticidas naturales desde el siglo XIX y sus mímicos sintéticos, los piretroides, son introducidos a mediados del siglo XX. El comienzo del uso de los piretroides en el control de vectores de Chagas tiene como antecedente inicial, el hallazgo en 1978 de la excepcional eficacia de la deltametrina sobre *Triatoma infestans* en estudios realizados en Argentina. (Zerba, 1997; 1999).

¿Por qué la deltametrina fue evaluada como un posible insecticida para el control de vectores de Chagas? Por una razón muy simple, la empresa francesa que la había desarrollado comercialmente hacía poco tiempo, la estaba introduciendo con un gran éxito para el control de plagas agrícolas y sanitarias. En esos años su nombre común fue decametrina y por su composición química, fue el primer insecticida de un nuevo tipo de compuestos piretroides que responden al nombre de cianopiretroides de tercera generación.

Sus características distintivas es que contienen un grupo ciano (-CN) en su estructura química y sus moléculas están enriquecidas en los isómeros con mayor efecto insecticida (Elliot, 1989). Este tipo de insecticidas son de alta efectividad y de una muy buena seguridad de uso porque se los aplica en concentraciones muy bajas. Debido a que el éxito del nuevo piretroide estaba cimentado en estas características y en la búsqueda de nuevos mercados, la empresa francesa decidió realizar los ensayos de laboratorio en Argentina para establecer su efectividad sobre *Triatoma infestans*. Las experiencias de laboratorio se realizaron con el compuesto insecticida y con una formulación novedosa de micro partículas sólidas suspendidas en agua, denominada suspensión concentrada (SC o floable (FI)). Los resultados de estos ensayos demostraron la extraordinaria eficacia de este cianopiretroide sobre *Triatoma infestans* en condiciones de laboratorio (Zerba, 1989;1999). Posteriormente Pinchin et al (1980) y Gualtieri et al (1984) demostraron en Brasil y Argentina respectivamente, el excelente efecto insecticida de la deltametrina sobre triatomínicos vectores de Chagas en condiciones de campo.

A partir del gran suceso que representó la deltametrina como nueva herramienta de control de vectores de Chagas, su uso fue casi excluyente en los programas gubernamentales de control de la transmisión vectorial en el Cono Sur de América Latina en la década del 80 (Dias, 2002, Segura 2002).

¿Qué fue lo que contribuyó al éxito de este nuevo cianopiretroide en el control de los insectos vectores de Chagas? Además de su excepcional eficacia insecticida, las muy buenas propiedades de su novedosa formulación en forma de suspensión concentrada de micro

partículas del insecticida en agua, le confieren una excelente eficacia, buena residualidad y gran seguridad de uso. Por otra parte fue y es muy bien aceptada por los habitantes de las viviendas tratadas por ser inodora, lo que evitaba la incomodidad y el desagrado causados por los olores insecticidas usados anteriormente. La deltametrina se utilizó en las campañas de control de vectores de Chagas, en concentraciones de entre 50 y 100 veces menores que las que se empleaban con los insecticidas organoclorados, fosforados y carbamatos anteriormente destinados para este fin (Zerba, 1989; 1997).

También durante la década del 80 se comenzó a ensayar en el Cono Sur de Latinoamérica para el control del vector *Triatoma infestans*, otro insecticida cianopiretroide de tercera generación de origen europeo, desarrollado en Inglaterra. Este nuevo compuesto, conocido con el nombre común de lambda-cihalotrina, tiene una estructura química con similitudes respecto a la deltametrina. También es un cianopiretroide de tercera generación enriquecido en sus isómeros con mayor actividad insecticida. Este insecticida durante la década del 90 fue registrado en varios países de América Latina para uso sanitario. Debido a su gran efectividad sobre triatomínicos fue introducido en campañas gubernamentales de control de *Triatoma infestans*, el principal vector de Chagas del Cono Sur. De esta forma, durante los primeros años de la década del 90, ambos cianopiretroides europeos de tercera generación, la deltametrina y la lambda-cihalotrina, se repartieron el abastecimiento de insecticidas a los programas gubernamentales de control de vectores de Chagas del sur de Latinoamérica, (Zerba, 1989, 1999). Posteriormente, también en los 90s, la Beta-ciflutrina, también de origen

Europeo, desarrollada y comercializada por una empresa alemana, siguió el mismo camino como una nueva opción de cianopiretroide de tercera generación para el control de los vectores de Chagas. Este cianopiretroide de tercera generación tiene similitudes de estructura química y una efectividad insecticida del mismo orden que la deltametrina y la lambda-cihalotrina, ya establecidos en esos años como los principales productos de referencia para las campañas de control de vectores de Chagas en el Conosur latinoamericano. Sobre esta base se posicionó como una tercera herramienta insecticida para el control de *T. infestans* en programas gubernamentales de control de vectores de Chagas en el Cono Sur latinoamericano. Su formulación de micropartículas suspendidas en agua (SC o floable) fue aceptada inicialmente para el programa de control de vectores de Chagas del Ministerio de Salud de Argentina, por su performance insecticida del mismo orden que la deltametrina y la lambda-cihalotrina (Zerba, 1999). A diferencia de la Argentina en otros países de la región se comercializó para el control de vectores de Chagas como ciflutrina, una variante con menor efecto insecticida, la cual contiene todos los isómeros, aun los inactivos. Este tipo de versión de piretroide conteniendo todos sus isómeros, activos e inactivos como insecticidas, se los conoce como de segunda generación (Elliot, 1989)

¿Por que se introdujeron la lambda-cihalotrina y la beta-ciflutrina en programas de control de vectores de Chagas? Indudablemente el uso monopolístico de la deltametrina en estos programas durante la década del 80 fue un gran éxito comercial de la empresa francesa, que en esos tiempos fue la única proveedora de este cianopiretroide. Esta situación despertó el interés de las empresas

competidoras europeas que comercializaban con exclusividad cianopiretroides de tercera generación, con una estructura química y perfil de efecto insecticida similar a la deltametrina.

■ V.- LA INICIATIVA DEL CONOSUR PARA ERRADICAR LA TRANSMISIÓN DEL CHAGAS

En las postrimerías de la década del 80, en pleno auge y éxito del uso como herramienta de control de vectores de Chagas de la deltametrina francesa y en los albores de la introducción la lambda-cihalotrina por una empresa inglesa y la beta-ciflutrina (o la ciflutrina) por una alemana, se inicia la discusión en algunos países del Conosur de América Latina, acerca de la necesidad de realizar una acción regional conjunta y sostenida para interrumpir la transmisión de la enfermedad de Chagas. El objetivo regional planteado inicialmente fue eliminar la incidencia del contagio causado por los insectos vectores domiciliados, particularmente *T. infestans* y el asociado a transfusiones de sangre contaminada por el parásito causal de la enfermedad (Moncayo, 2003).

La discusión tuvo como eje central concretar un compromiso político sostenido de los países de la región, para alcanzar una continuidad en la intervención y vigilancia de la enfermedad de Chagas. El foco fue puesto en el contagio causado por el insecto vector domiciliado y por las transfusiones con bancos de sangre contaminados. Sobre esta base fue propuesta la Iniciativa del Conosur (INCOSUR), con el objetivo de eliminar la transmisión vectorial y transfusional del parásito *Tripanosoma cruzi*, agente causal de la enfermedad de Chagas. El plan se presentó en la reunión anual de los Ministros de Salud en Brasilia en junio de 1991 y tuvo el apoyo de la

Organización Panamericana de la Salud (OPS). Los Ministros de Salud de los países del Cono Sur (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) autorizaron un estudio de factibilidad que se convirtió en la Iniciativa del Cono Sur contra la Enfermedad de Chagas (INCOSUR) (Schofield y Dias, 1999).

El objetivo de alcanzar la eliminación de la vinchuca (*Triatoma infestans*) del habitat humano, el principal vector domiciliado de la región, se basó en aceptar que el uso intensivo y extensivo de los insecticidas cianopiretroides de tercera generación, enriquecidos en isómeros activos y originados en Europa Occidental, que ya se usaban con éxito en el control de vectores de Chagas en la región, podría lograrlo.

Cuando comienzan las discusiones para informar el estado de situación y planificar las acciones para cumplir con los objetivos de la Iniciativa, se desarrolló la primera reunión INCOSUR que tuvo lugar en Buenos Aires del 31 de agosto al 2 de setiembre de 1992. En el informe de esta reunión se propone un presupuesto trienal para la provisión de insecticidas de 52 millones de dólares, necesarios para que los países integrantes puedan llevar a cabo el objetivo de la Iniciativa de erradicar al *T. infestans* domiciliado en la región (OPS, 1992)

El interés en la implementación de la INCOSUR de las empresas de la Comunidad Europea que ya abastecían los insecticidas cianopiretroides para el control de los vectores de Chagas, se manifestó a través del aporte económico que realizaron para que se llevaran a cabo reuniones técnicas durante 1991. La realización de las mismas fue informada en la primera Reunión INCOSUR antes mencionada, que fuera reali-

zada en Buenos Aires (OPS, 1992). En esas reuniones técnicas se discutieron y coordinaron acciones de control de vectores de Chagas en la región.

■ VI.- UN NUEVO CIANOPIRETROIDE DE TERCERA GENERACIÓN DESARROLLADO EN EL CONO SUSUR

En los primeros años de la década del 90 y en pleno desarrollo de la Iniciativa del Cono Sur, comienza en Argentina el estudio de una nueva molécula de cianopiretroide de tercera generación. El compuesto fue introducido comercialmente en 1989 con el nombre común de Beta-cipermetrina (PPDB, 2021; Lewis et al, 2016). El nuevo insecticida fue desarrollado para el mercado agrícola por una empresa húngara, la cual le dio la licencia para uso sanitario en América Latina a una industria química argentina, la cual ya sintetizaba y comercializaba insecticidas piretroides en el país y en otros de la región. Mediante un convenio de transferencia de tecnología entre la empresa licenciataria y el Centro de Investigaciones de Plagas e Insecticidas (CIPEIN) de Argentina, se desarrolló una formulación de suspensión concentrada de micro partículas de este nuevo cianopiretroide en agua y se la evaluó en laboratorio y campo para el control del *T. infestans* con resultados exitosos (Zerba et al, 1997).

Su performance insecticida resultó del mismo orden que la de los cianopiretroides comercializados por empresas europeas que ya se usaban en los programas de control de vectores de Chagas de la región (Zerba, 1999). Estos estudios permitieron registrar a la beta-cipermetrina formulada como suspensión concentrada para el control de vectores de Chagas en Argentina y para tal fin se la introdujo en 1995

en campañas gubernamentales. Su ingreso como herramienta insecticida al programa argentino de control de vectores de Chagas no fue fácil. ¿Qué fue lo que dificultaba su incorporación como insumo de las campañas gubernamentales destinadas a controlar la vinchuca? Las principales causas respondían a los prejuicios y a la desconfianza que generaban en los organismos gubernamentales que debían decidir su uso, aceptar una formulación insecticida, cuyo desarrollo tecnológico y su evaluación como producto para el control de vectores de Chagas había sido llevado a cabo localmente. Por otra parte, no sólo fue un desarrollo realizado exclusivamente por científicos y tecnólogos locales del ámbito estatal y privado, sino que también su producción la realizaba y la sigue realizando una empresa nacional. No sólo este desarrollo generaba cierta desconfianza, sino que también se lo estigmatizaba por un hecho objetivo: no estaba recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (World Health Organization, WHO) para el control con efecto residual de insectos vectores de Chagas (Ramsey y Schofield, 2003; WHO, 2006).

No obstante la beta-cipermetrina participó en las licitaciones del Ministerio de Salud de Argentina a partir de 1995, lo que fue legalmente inevitable por los exitosos resultados de campo obtenidos con la colaboración del Servicio Nacional de Chagas argentino (Zerba et al, 1997). ¿Cuáles fueron las consecuencias de la introducción de la beta-cipermetrina en las campañas de control de vectores del Servicio Nacional de Chagas argentino? La disrupción de la hegemonía de los insecticidas europeos en las compras del Ministerio de Salud de Argentina para el control de triatomíneos vectores de Chagas, permitió que el precio de los cianopiretroides bajara con respecto

a años anteriores en moneda constante (dolares). En efecto, el precio promedio de la deltametrina durante el período 1992-1994 respecto al promedio del bienio 1995-1998, luego de la introducción de la beta-cipermetrina, se redujo un 31 % (Zerba, 2001)

El uso de la beta-cipermetrina para el control de vectores de Chagas en otros países latinoamericanos fuera de Argentina fue limitado, principalmente por la importancia internacional que los gobiernos de la región le dan a la lista de productos insecticidas recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). ¿Qué tipo de insecticidas están incluidos en la referida lista? En esa recomendación se incluyen a aquellos productos evaluados con la supervisión de la OMS, que han manifestado su efectividad de control de insectos vectores con efecto residual, incluyendo triatomíneos (WHO, 2006).

El registro y la compra que hacen los Gobiernos de los países latinoamericanos de insecticidas, los cuales se utilizan en las campañas gubernamentales que la región realiza para el control de sus insectos vectores de enfermedades, tiene una fuerte influencia de la OMS.

Los gobiernos de algunos países utilizan las recomendaciones de la OMS como la única fuente de información para registrar insecticidas destinados al control de insectos vectores. Otros países, en cambio, no las imponen explícitamente, pero siguen estas recomendaciones para dar curso a la aprobación de productos destinados a controlar sus insectos vectores. (World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019).

Esta fuerte influencia de la OMS

con su listado de insecticidas piretroides recomendados para uso residual en el control de insectos vectores, particularmente triatomínicos (WHO, 2006), ha sido una restricción importante para incorporar productos alternativos, fuera del listado de OMS, destinados a programas de control de vectores de Chagas en Latinoamérica.

La beta-cipermetrina a pesar de haber sido ensayada exitosamente en laboratorio y campo en su efecto insecticida sobre *T. infestans*, y posteriormente usada satisfactoriamente en campañas de control vectorial por el Programa Nacional de Chagas de Argentina, no está incluida entre los insecticidas residuales recomendados por la OMS para controlar triatomínicos (Ramsey y Scchofield, 2003; WHO, 2006).

Una característica llamativa de la lista de los insecticidas piretroides para uso residual de los recomendados por la OMS, es que la mayor parte nunca fue evaluada para el control de vectores de Chagas. Sólo la deltametrina y el etofenprox tuvieron una evaluación simultánea, según protocolo y supervisión de la OMS, en un estudio de campo realizado en Bolivia para determinar eficacia sobre triatomínicos. La deltametrina se tomó como producto de referencia debido al exitoso uso que ya tenía en el control de vectores de Chagas en Latinoamérica. También como parte de esta evaluación supervisada y avalada por la OMS, el etofenprox fue evaluado en su efecto sobre mosquitos vectores de malaria. (WHO Pesticide Evaluation Scheme. 1st Working Group, 1997). ¿Qué pasó con el etofenprox, luego de este ensayo y su incorporación a la lista de insecticidas recomendados por OMS? No obstante las conclusiones del estudio donde se lo propuso específicamente para el control residual de triatomínicos vec-

tores de Chagas, no pudo competir en performance insecticida sobre los vectores de Chagas con los cianopiretroides de tercera generación. Por tal razón nunca fue utilizado para el control de triatomínicos en los países miembros de la INCOSUR. Sólo tuvo un uso acotado para el control de vectores de Chagas en Centroamérica. (Yoshioka et al, 2018)

A pesar que los cianopiretroides de tercera generación utilizados en las campañas de la INCOSUR (Tabla 1), excepto la deltametrina, nunca fueron ensayados para el control de vectores de Chagas bajo los protocolos y el auspicio de la Organización Mundial de la Salud, es innegable que demostraron una excelente performance en la interrupción de la transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas. Así lo evidencia el éxito de la INCOSUR, iniciativa internacional mediante la

cual se alcanzó la interrupción de la transmisión vectorial de Chagas por *T. infestans* en Uruguay (1997), Chile (1999), Brasil (2006), (Moncayo, 2006) y Paraguay (2018) (Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social de Paraguay, 2018). En Argentina y Bolivia la certificación de la interrupción de la transmisión vectorial hasta la actualidad es parcial (en algunas provincias o departamentos).

Estas campañas antivectoriales en la región se llevaron a cabo en su primera etapa con los cianopiretroides de origen europeo deltametrina, lambda cihalotrina y beta-ciflutrina, a los que se agregaron a mediados de la década del 90 la beta-cipermetrina, el producto desarrollado en Argentina, y posteriormente la alfa-cipermetrina o alfametrina, de origen estadounidense. En la tabla 1 se muestran estos cianopiretroides usados para el control de vectores

Tabla 1: Cianopiretroides usados para el control de vectores de Chagas en el Conosur de América Latina, sus formulaciones y la concentración de insecticida por superficie tratada		
Piretroide	Formulación	Concentración de uso*
Deltametrina	Suspensión concentrada (SC)	25 mg/m ²
Beta-cipermetrina	Suspensión concentrada (SC)	50 mg/m ²
Beta-ciflutrina	Suspensión concentrada (SC)	25 mg/m ²
Lambda-cihalotrina	Polvo Mojable (PM)	30-35 mg/m ²
Alfa-cipermetrina	Suspensión concentrada (SC)	30-100 mg/m ²
*Concentración de insecticida aplicada por rociado sobre superficies		

de Chagas en el Conosur de América Latina, sus formulaciones y la concentración de insecticida usado por unidad de superficie tratada

La responsabilidad científico-tecnológica en la evaluación e introducción de estos productos destinados a los programas gubernamentales de control de vectores de Chagas en la región, fue requerida por las grandes empresas internacionales a los especialistas de campo de los Ministerios de Salud y los grupos científicos de la región. Ya fue descrita como excepción la introducción de la beta-cipermetrina al programa gubernamental de control de vectores de Chagas de Argentina a partir de un desarrollo local.

■ VII.- RESISTENCIA A INSECTICIDAS PIRETROIDES EN INSECTOS VECTORES DE CHAGAS

A pesar de las continuas campañas de control de vectores de la Enfermedad de Chagas realizadas en la INCOSUR en la década del 90 mediante el uso de compuestos cianopiretroides de tercera generación, no hubo un programa sistemático en la región que monitoreara cam-

bios de susceptibilidad y desarrollo de resistencia a insecticidas en estos insectos.

La OMS no había desarrollado un protocolo de campo para el monitoreo de poblaciones de triatominos que permitiera detectar vectores de Chagas resistentes a insecticidas, como sí lo había estandarizado mucho tiempo antes para mosquitos (Brown, 1986).

Este escepticismo sobre un posible desarrollo de resistencia a insecticidas en poblaciones de triatominos, tuvo como uno de sus fundamentos más importantes, una generalizada opinión científica que consideraba improbable esta posibilidad. La hipótesis negacionista planteaba la inviabilidad del desarrollo de resistencia a insecticidas en triatominos domiciliados como el *Triatoma infestans*. Las razones que la sostenían se fundamentaban en que *“los triatominos tienen un repertorio genético restringido, con poca variabilidad poblacional y por consiguiente poca probabilidad de tornarse resistente a los insecticidas piretroides”* (Schhofield, 1994):

No obstante el escepticismo sobre el desarrollo de resistencia a insecticidas en triatominos, en el año 1994 el Tropical Disease Research Programme de la Organización Mundial de la Salud, financió y organizó una reunión de expertos en Buenos Aires, Argentina, para desarrollar un protocolo de evaluación de susceptibilidad y resistencia a insecticidas en *T. infestans* y *R. prolixus*, las dos especies más importantes de insectos vectores de la enfermedad de Chagas. (WHO, 1994).

A partir del desarrollo de este protocolo, se inició en 1995 en Argentina un programa de monitoreo de fenómenos de resistencia a insecticidas en triatominos. A principios de este siglo, el Servicio Nacional de Chagas de Argentina informó que la campaña de control de vectores mediante el rociado de las viviendas con deltamtrina no había sido efectiva en el Departamento San Martín, en la Provincia de Salta, Argentina. Este foco de triatominos resistentes a piretroides fue detectado en la ciudad de Salvador Mazza y en las localidades de El Chorro, La Toma y El Sauzal, tres caseríos ubicados en los alrededores de esa ciudad. Los

Tabla 2:
Grados de resistencia (GR) a deltametrina en poblaciones de *T. infestans* de Salta, Argentina

Muestra	Grado de Resistencia*
CIPEIN (Referencia)	1**
El Chorro, Salta	99,0
La Toma, Salta	86,9
El Sauzal, Salta	50,5
S. Mazza, Salta	133,1

* Grado de resistencia: cantidad de veces más de la concentración de insecticida usado para controlar vinchucas susceptibles (sin resistencia) que son necesarias para controlar las poblaciones resistentes.

** Valor de Referencia = 1 (colonia susceptible de *T. infestans* susceptibles del Centro de Investigaciones de Plagas e Insecticidas, Argentina)

ensayos toxicológicos demostraron una alta resistencia a deltametrina en todas las muestras provenientes de las localidades mencionadas con altos grados de resistencia (GR) (Picollo et al, 2005). Los grados de resistencia se calculan como el efecto insecticida de las poblaciones en estudio medidos por las respectivas dosis letal 50 % (DL50) dividido por la DL50 de la población de referencia susceptible al insecticida. EL GR representa cuanta mayor concentración de insecticida se necesita para controlar una población de insectos resistentes respecto a la necesaria para controlar una población de insectos susceptibles. Los GR determinados en los ensayos de laboratorio de triatominos provenientes de las poblaciones de Salvador Mazza y los caseríos de los alrededores, se muestran en la Tabla 2. (Picollo et al, 2005).

A los fracasos de rociado y la consecuente detección de resistencia a piretroides encontrada en Salta, se sumó inmediatamente después, la información de las autoridades sanitarias de Bolivia sobre problemas de control en vectores de Chagas del sur de Bolivia tratados con deltametrina. Estas primeras evidencias de resistencia a piretroides en *Triatoma infestans* se encontraron en distintas localidades bolivianas de los Departamentos de Tarija y Chuquisaca, cuyos GR se muestran en la tabla 3 (Vassena et al, 2007).

Estos primeros hallazgos de poblaciones resistentes a insecticidas piretroides de *Triatoma infestans* en el norte de Argentina y centro-sur de Bolivia se llevaron a cabo en los comienzos de la primera década de este siglo. Posteriormente diversos estudios permitieron detectar y ca-

racterizar otros bolsones de resistencia a piretroides detectados en poblaciones de *Triatoma infestans* estudiadas en el norte argentino, el área sur y central de Bolivia y el sur de Perú (Fronza, 2019). (Figura 2).

Un mapa actualizado de estas áreas de resistencia a piretroides se muestra en la figura 3

Los mecanismos de resistencia que fueron demostrados en distintas poblaciones de vinchucas resistentes son: 1.- La alteración de los receptores kdr del sistema nervioso, sitio de acción donde se unen los piretroides y que causa su efecto insecticida. La disminución de la afinidad por los receptores es lo que reduce la efectividad de los mismos. 2.- El incremento de las enzimas que detoxifican insecticidas, como son las oxidasas de función mixta y las

Tabla 3:
Grados de resistencia (GR) a deltametrina en poblaciones de *T. infestans* de los departamentos de Tarija, Chuquisaca y Cochabamba (Bolivia)

Localidad	Departamento	Grado de Resistencia
CIPEIN	Referencia	1
Yacuiba	Tarija	154,4
Entre Ríos	Tarija	276,2
El Palmar	Tarija	299,8
Villa El Carmen	Tarija	438,0
Sucre	Chuquisaca	31,3
Mataral	Cochabamba	17,4

* Grado de resistencia: cantidad de veces mas de la concentración de insecticidas usados para controlar vinchucas susceptibles (sin resistencia) que son necesarias para controlar las poblaciones resistentes

* Valor de Referencia = 1 (colonia de *T. infestans* susceptibles del Centro de Investigaciones de Plagas e Insecticidas (CIPEIN), Argentina

esterasas, que reducen la concentración interna del insecticida y como consecuencia su efecto letal sobre el insecto. 3.- La penetración demorada a través de la cutícula, que al reducir la velocidad con la que ingresa el insecticida produce una disminución del efecto de cualquier insecticida que actúa por contacto. (Mougabure Cueto y Picollo, 2015).

En todos los casos detectados de resistencia a deltametrina en triatominos se observó que el problema cruzaba con todos los compuestos piretroides evaluados. En otras palabras los fracasos de control observados para la deltametrina en triatominos son extensivos a cualquier compuesto de esta familia de insecticidas. Por tal razón el control de las poblaciones resistentes de triatominos se ha intentado con insecticidas modernos alternativos, como son el fipronil y el imidacloprid (Toloza, 2008; Carvajal et al, 2014), con resultados alentadores en laboratorio pero no corroborados en campo. La vuelta a los fosforados y carbamatos tradicionales ha sido una alternativa no deseable, pero en algunos casos ineludible.

Las poblaciones con más alta resistencia a piretroides parecen estar confinada a la zona chaqueña del Cono Sur de América Latina y explica las dificultades de Argentina y Bolivia para alcanzar la interrupción de la transmisión vectorial en todo su territorio.

■ VII.- EPÍLOGO

Es indudable que en la implementación de la INCOSUR durante la década del 90 hubo un importante protagonismo científico-tecnológico en el desarrollo del control vectorial de la enfermedad de Chagas de los grupos de investigación de la región. La evaluación de campo y laborato-



rio de los insecticidas usados en el control de triatominos y el desarrollo de la beta-cipermetrina y posterior uso en programas de control de vectores de Chagas en competencia con productos similares provenientes de países centrales, fueron contribuciones fundamentales para el éxito de la INCOSUR. Por otra parte los excelentes trabajos de investigación realizados en Latinoamérica en general y Argentina en particular, sobre los diferentes y complejos tipos de resistencia a piretroides en triatominos y su distribución geográfica, indican que la América de países en vías de desarrollo tiene una capacidad propia para enfrentar los problemas del control de la transmisión vectorial de la endemia chagásica.

Nos queda como reflexión final preguntarnos si la inequidad en América Latina, impulsora de sus problemas de enfermedades vectoriales (Dias, 2007), no tendrá que ver sólo con su perversa distribución de la riqueza, sino también con el sesgado reparto a nivel mundial de las responsabilidades científicas y tecnológicas que privilegia a los países centrales.

■ BIBLIOGRAFÍA

Aché, A., Medina, M., Matos, A. (2008). Contribución de Dieldrin en el control de la Enfermedad de Chagas en Venezuela. *Salus* (Universidad de Carabobo, Venezuela). 12, 17-20

- Brown A.W. (1986) Insecticide resistance in mosquitoes: a pragmatic review. *Journal of the American Mosquito Control Association* 2, 123-140.
- Carson R. 1962 *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin Company
- Carvajal G., Mougabure G., Tolosa A.C. 2012 Toxicity of non-pyrethroid insecticides against *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 107, 675-679.
- Casida J. (1973) *Pyrethrum: The Natural Insecticide*. New York y Londres: Academic Press Inc.
- Chagas C. (1909) Nova tripanozomíase humana. Estudos sobre a morfologia e o ciclo evolutivo do *Schizotrypanum cruzi* n. gen., n. sp., agente etiológico de nova entidade mórbida do homem. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 1, 159-218.
- Dias J.C.P. (2002) O controle da doença de Chagas no Brasil (2002) en Silveira A.C. (Editor), O controle da doença de Chagas nos países do Cone Sul da América. Historia de uma Iniciativa internacional. 1991-2001, pp 145-250. Washington: Organización Panamericana de la Salud
- Dias, J. C. P. (2007) Globalization, inequity and Chagas disease. *Cad. Saúde Pública*. 23, suppl.1, S13-S22.
- Elliot, M. (1989) The pyrethroids: early discovery, recent advances and the future. *Pestic. Sci*. 27, 337-351
- Fronza G., 2019, Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, Estudio integral de la resistencia a insecticidas en *Triatoma infestans* (Reduviidae:Triatominae) del Gran Chaco
- Gualtieri J.M., Ríos C.H., Cichero J.A., Vázquez R., Carcavallo R.U. (1984) Ensayo de campo con decametrina en su formulación líquida emulsionable y floable en el control del *Triatoma infestans* en la provincia de Córdoba. *Chagas* 1, 17-20
- Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. Green, A. (2016) An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22, 1050-1064.
- Mellanby K. (1992), *DDT Story*, Londres: BCPC Publications
- Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social de Paraguay (2018) Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/portal/16742/territorio-libre-de-transmision-vectorial-domiciliaria-del-chagas-i-ex-clsalud-paraguay.html>
- Moncayo A. (2003). Chagas disease: current epidemiological trends after the interruption of vectorial and transfusional transmission in the Southern Cone countries. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 98, 577-591.
- Moncayo A. (2006) Revisión histórica de la situación epidemiológica de la enfermedad de Chagas en América Latina. *Enf Emerg*, 8(Supl 1), 11-13
- OPS (1992). Informe de la I Reunión de INCOSUR. Disponible en; https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=list&slug=incosur-4062&Itemid=270&layout=default&lang=pt
- Mougabure, G. A., Picollo, M. (2015) Insecticide resistance in vector Chagas disease: Evolution, mechanisms and management. *Acta Tropica*, 70-85
- Picollo M.I., Vassena C.V., Santo Orihuela P., Barrios S., Zerbba E.N. (2005). High resistance to pyrethroid insecticides associated with ineffective field treatments in *Triatoma infestans* (Hemiptera, Reduviidae) from the north of Argentina. *J Med Entomol*. 42, 637-642.
- Pinchin R. Oliveira Filho A.M., Fana-ra D.M., Gilbert D. (1980). Ensaio de campo para avaliação das probabilidades de uso da decametrina (OMS 1948) no combate a triatomíneos. *Rev Bras Malariol Doen Trop*. 32, 36-41.
- PPDB: Pesticide Properties Data Base., 2021. Beta-cypermethrin (Ref: OMS 3068). University of Hertfordshire, UK. Disponible en: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/75.htm>
- Ramsey J.M., Schofield C.J. (2003). Control of Chagas disease vectors. *Salud Pública Méx*. 45, 123-128
- Reyes L.P.A. (2009). La vida y obra de Carlos Chagas a cien años de la descripción de la enfermedad de Chagas-Mazza. *Arch Cardiol Mex* 79, 237-239.
- Schofield C. Triatominae. *Biología y Control*. (1994). Londres: Zeneca Public Health y Eurocommunica Publications.

- Schofield C.J., Dias J.C.P. (1999). The Southern Cone Initiative against Chagas disease. *Advances in Parasitology*, 42, 1-27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202949>
- Segura E.L. (2002). Historia del control de la enfermedad de Chagas en Argentina en Silveira A.C. (Editor), O controle da doença de Chagas nos países do Cone Sul da América. Historia de una Iniciativa internacional. 1991-2001, pp 42-109. Washington: Organización Panamericana de la Salud
- Thompson, Ch., Richardson, R. (2004). Anticholinesterase Insecticides. En *Pesticide Toxicology and International Regulation*. Marrs T.C. y Ballantyne B. (Editores). pp 89-127. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.,
- Tolosa, A. C. (2008). Estudio sobre la resistencia a insecticidas piretroides en huevos de *Triatoma infestans* Klug, 1834 (Hemiptera: Reduviidae) de Argentina y Bolivia. *Revista De Patología Tropical / Journal of Tropical Pathology*, 37, 291-293.
- Vassena C.V., Picollo M.I., Santo Orihuela P., Zerba E.N. (2007). Desarrollo y manejo de la resistencia a insecticidas piretroides en *Triatoma infestans*: situación en Bolivia En: Rojas Cortez M (Editor) *Triatomínicos de Bolivia y la enfermedad de Chagas*. pp 229-255. La Paz: Ministerio de Salud y Deportes, Unidad de Epidemiología, Programa Nacional de Chagas.
- Yoshioka K., Provedor E., Manne-Goehler J. (2018) The resilience of *Triatoma dimidiata*: An analysis of reinfestation in the Nicaraguan Chagas disease vector control program (2010–2016). *PLoS ONE* 13(8): e0202949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202949>
- WHO (1994). Taller sobre la Evaluación de Efecto Insecticida sobre Triatomínicos (Workshop on the Insecticide Effect Evaluation in Triatomínicos) 1al 4 de noviembre de 1994 - Buenos Aires – Argentina UNDP/WORLD BANK/WHO SPECIAL PROGRAMME TDR. Protocolo de evaluación de efecto insecticida sobre triatomínicos. *Acta toxicológica Argentina*, 2, 56-58.
- WHO (2006). World Health Organization. Pesticides and Their Application for the Control of Vectors and Pests of Public Health Importance. WHO/CDS/NTD/WHO-PES/ GCDPP/2006.1. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_CDS_NTD_WHO-PES_GCDPP_2006.1_eng.pdf
- WHO, (2021). Chagas disease (also known as American trypanosomiasis) Key facts. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-\(american-trypanosomiasis\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis))
- WHO Pesticide Evaluation Scheme. 1st Working Group. (1997). World Health Organization. Division of Control of Tropical Diseases. Report of the first WHO-PES working group meeting : WHO/HQ, Geneva, 26-27 June 1997. CTD/WHOPES/97.5 Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63643>
- World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Global situation of pesticide management in agriculture and public health: report of a 2018 WHO-FAO survey. World Health Organization. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329971>
- Zeledón R. y Rabinovich J. (1981). Chagas disease and ecological appraisal with special emphasis on its insect vectors. *Ann. Rev. Entomol.* 26, 101-133
- Zerba, E.N. (1989). Chemical control of Chagas disease vectors. *Biomed. Env. Sci.* 2: 24-29.
- Zerba E. (1997) Evolución del control químico de los insectos vectores de la Enfermedad de Chagas. *An. Soc. Cient. Arg.* 227, 35-39.
- Zerba E. (1999), Susceptibility and Resistance to insecticides of Chagas Disease Vectors. *Medicina*, 59, 41-46
- Zerba E. (2001), Monitoreo de la Resistencia en Triatomínicos a través de la Red Latinoamericana RELCOT. En *Monitoreo de la Resistencia en Triatomínicos en América Latina*. Buenos Aires: Fundación Mundo Sano. Serie Enfermedades Transmisibles. Publicación Monográfica 1. Disponible en: <https://www.mundosano.org> > Monografía 1
- Zerba, E.N. ; Licastro, S.A. de; Wood, E.; Picollo, M.I. (1987). Insecticidas: Mechanism of action. En: Brenner, R., Stoka, A. (Editores) *Chagas Disease Vectors*, vol. III. pp 101-121. Boca Ratón: CRC Press
- Zerba E., Wallace G., Picollo M.I., Casabé N, Licastro SA, Wood E, Hurvitz A, Andres A. (1997). Evaluación de la Beta-cipermetrina para el control de *Triatoma infestans*. *Rev Panam Salud Publica* 1, 133-137.

ENTOMOLOGÍA MÉDICA: QUO VADIS?

Palabras clave: entomología médica, enfermedades transmitidas por vectores, política de salud pública.

Key words: *medical entomology, vector transmitted diseases, public health policy.*

La Entomología Médica es la disciplina técnico-científica que se ocupa de estudiar los problemas que insectos (y garrapatas) ocasionan en la salud de las personas, particularmente como vectores de patógenos humanos. La disciplina juega un rol central en estudios que permiten comprender las relaciones existentes en la tríada insecto-patógeno-humano y en el diseño y ejecución de programas de vigilancia y control de las poblaciones de los insectos vectores de patógenos que afectan la salud de los seres humanos. El creciente impacto de enfermedades transmitidas por vectores en nuestra región (emergentes, re-emergentes y las que nunca desaparecieron) contrasta con la creciente escasez de especialistas en entomología médica con capacidad de tender puentes entre la comunidad científica y los sistemas de salud pública.

David E. Gorla

Investigador Superior CONICET. Grupo de Ecología y Control de Insectos. Instituto de Diversidad y Ecología Animal. CONICET – Universidad Nacional de Córdoba. Director (2001-2013) del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas de La Rioja (CRILAR, unidad ejecutora de Conicet)

E-mail: david.gorla@conicet.gov.ar

Medical Entomology is the science and technical discipline dealing with studies on the problems that insects (and ticks) produce on people's health, particularly as vectors of human pathogens. The discipline has a central role in studies aiming at the understanding on the relationships within the triad insect-pathogen-human and in the design and execution of programs for the vigilance and control of insect vector populations affecting the public health. The increasing impact of vector transmitted diseases (emergent, re-emergent and the ones that never disappeared) contrasts with the increasing shortage in medical entomology specialists with the capacity to lay bridges between the scientific community and the public health systems.

■ QUÉ ES LA ENTOMOLOGÍA MÉDICA?

La entomología médica es la disciplina técnico-científica que se ocupa de estudiar los problemas que insectos (y garrapatas) ocasionan en la salud de las personas, particularmente como vectores de patógenos humanos. Es una disciplina en la que convergen la academia y la política científica, la salud pública y la política sanitaria de los países y los intereses comerciales de empresas que producen instrumentos usados en el control de los vectores. Los entomólogos médicos jugaron un papel fundamental en el avance contra enfermedades transmitidas por insectos que históricamente tuvieron gran impacto en la salud pública a nivel global (e.g. fiebre amarilla, dengue y enfermedad de Chagas, para mencionar algunas de las más

importantes en nuestra región). Del papel central en salud pública que tuvo hasta la mitad del siglo XX, la entomología médica fue disminuyendo su protagonismo en la escena técnico-científica, en paralelo con el desarrollo de moléculas insecticidas de síntesis que prometían cumplir el papel de las legendarias balas de plata, esta vez para eliminar a todo insecto dañino que arriesgara la salud de las personas. Aquella promesa de la química aplicada, junto con la revolución farmacológica posterior a la Segunda Gran Guerra impusieron el relato de que las enfermedades transmitidas por insectos y garrapatas eran una cosa del pasado superado y que su solución final era cuestión de poco tiempo. La progresiva salida de la escena de la entomología médica fue advertida hacia la década de 1990, junto con

la declinación en el número de entomólogos en el mundo occidental (Daly 1995). Medio siglo después de aquella promesa de que la tecnología resolvería el problema de las enfermedades transmitidas por vectores, la salud pública de países de la región continúa sufriendo el impacto de esas enfermedades, algunas emergentes, otras re-emergentes y otras que nunca desaparecieron. Aún cuando las enfermedades transmitidas por insectos continúan presentes, y en algunos casos aumentaron su impacto, la entomología médica continúa siendo una disciplina en vías de extinción. De continuar, este proceso derivará en la pérdida de una capacidad que debilitará (y en muchos casos hará desaparecer) el puente que vincula la investigación académica sobre insectos que transmiten patógenos humanos y el

manejo de poblaciones de los vectores en terreno.

En este artículo invito a reflexionar sobre el estado laguideciente de la entomología médica aún en el contexto de un impacto creciente de las enfermedades transmitidas por vectores en Argentina, las razones de tal estado y las razones por las que debería revertirse la tendencia, para cerrar con algunas ideas para evitar su desaparición.

Quienes se consideran a sí mismo entomólogos médicos se reconocen en alguna de las múltiples imágenes que posee la Entomología Médica. En este artículo me referiré a la Entomología Médica que es practicada por gente interesada en resolver los problemas de salud que causan los patógenos transmitidos por los vectores; la que está basada sobre sólidas evidencias producidas por el conocimiento científico, la que tiene un fuerte énfasis en el trabajo de campo, requiere del contacto con las comunidades afectadas por las enfermedades y con las agencias responsables de su control; la que tiene una visión de las enfermedades transmitidas por vectores integrada al escenario multidimensional donde ellas ocurren.

La disminución en el número de especialistas en artrópodos vectores de enfermedades humanas que viene alertándose desde hace 25 años (Daly 1995), se replica en la mayoría de los países de Occidente (Goddard 2003, Cuisance & Rioux 2004, Casas *et al.* 2016, Gouveia-Almeida *et al.* 2017), lo que contrasta con el creciente impacto de enfermedades transmitidas por ellos. Este peligroso fenómeno fue observado por numerosos organismos internacionales. Recientemente, la Organización Mundial de la Salud (WHO 2017) propuso una estrategia para que los países fortalezcan sus

capacidades para abordar los problemas vinculados con epidemias de enfermedades emergentes o re-emergentes transmitidas por artrópodos vectores. Tales enfermedades tienen como común denominador la inexistencia de drogas curativas o vacunas preventivas, de modo que la única opción efectiva para reducir la incidencia de las enfermedades es controlar la exposición de los humanos a la población de vectores.

Si bien Argentina cuenta con un cuerpo de investigadores en entomología médica con amplia cobertura y presencia territorial, las investigaciones financiadas por el estado en los últimos 40 años se hicieron sobre la base de proyectos individuales, dependientes de la oferta de recursos y la iniciativa individual de los investigadores. Esa estrategia promovió investigaciones que dieron origen a una relativamente abundante producción científica, pero raramente alcanzaron la envergadura, y/o la relevancia para dar solución de los problemas sanitarios. A ello se suma la poca vinculación entre los sistemas de investigación, que corren por canales casi independientes del Ministerio de Salud y del Ministerio de Ciencia y Técnica de la Nación. En algunos casos, grupos de investigación individuales se vinculan con programas de control de enfermedades transmitidas por vectores, aunque ello no es la norma. Como consecuencia, es bajo el nivel de transferencia de sus resultados a agencias públicas de salud, zoonosis, ambiente, etc. El déficit de atención sobre el área queda reflejado incluso en la ausencia de los problemas vinculados a vectores en el Plan Argentina Innovadora 2020 y sus posteriores actualizaciones. En el Sector Estratégico SALUD, Núcleo Socio-Productivo 30 de "Enfermedades Infecciosas" se promueve el desarrollo de kits diagnósticos y de vacunas, con completa ausencia de

referencias a los artrópodos vectores (Mincyt 2020). A modo de ejemplo y como resultante de este tipo de políticas científicas, el estudio sobre vectores de *Trypanosoma cruzi* es el tópico que tiene menos producción relativa de conocimiento, a pesar de que fue identificado como la estrategia más exitosa para el control de la enfermedad de Chagas en un reciente exhaustivo análisis bibliométrico (Levin 2020).

■ CRECIENTE IMPACTO DE LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

El impacto creciente de enfermedades emergentes, re-emergentes, aquellas que siempre estuvieron y las que llegarán más o menos pronto por nuestras latitudes es bien conocida y no hace falta abundar en demasiados detalles: dengue (con brotes que vienen batiendo récords de casos desde 2009), zika, chikungunya, malaria, leishmaniasis cutánea y visceral (con número de casos creciente desde 2000), West Nile, encefalitis, Lyme, Chagas (casos vectoriales activos en el chaco árido, urbanización de la infestación de viviendas, ineficacia de insecticidas piretroides en estructuras peridomiciliarias).

Por qué incrementan su impacto las enfermedades transmitidas por vectores? Numerosas y variadas causas, aunque todas ellas tienen como denominador común el de incrementar la exposición de las personas a los vectores. Entre las causas más importantes se pueden mencionar la movilidad global (viajes y comercio internacional), los cambios antropogénicos que derivan en cambios en el uso y cobertura del terreno, la resistencia a drogas e insecticidas, las deficiencias materiales y humanas en los sistemas de salud, los eventos climáticos extremos (aunque véase Gorla 2021), las desigualdades e

inestabilidades socio-económicas, el crecimiento no planeado de ciudades y el eco-turismo (Gouveia-Almeida et al 2017).

■ CAUSAS DE LA DESAPARICIÓN DE LA ENTOMOLOGÍA MÉDICA

Académicas. El cambio de investigación de campo al laboratorio, enfocada principalmente sobre las -omics (aquellas que tratan sobre el genoma, proteoma, transcriptoma, epigenoma, metaboloma, y microbioma) vino acompañado por una disminución del enfoque clásico de la entomología médica. Asistimos a una virtual desaparición de expertos en taxonomía y sistemática entomológica. Debido a la hiperespecialización temática, los estudiantes de doctorado e investigadores jóvenes apenas pueden identificar los organismos que estudian, pero muy poco más. Los entomólogos tradicionales (con inclinación a hacer ciencia en terreno) adoptaron herramientas moleculares con mucho mayor alcance (82%) que los entomólogos moleculares adoptaron herramientas de investigación en terreno (18%) (Cuisance & Rioux 2004).

Pocos investigadores se involucran con programas de control de vectores. En muchos casos, los insectos vectores son usados sólo como modelos en estudios teóricos. Las investigaciones sobre estrategias de control de vectores actuales o novedosas tienen bajo impacto sobre las estrategias de control adoptadas por agencias estatales de control. Las preguntas operacionales no son objeto de interés por parte de investigadores. La demanda de entomólogos médicos en universidades e institutos de investigación viene disminuyendo desde la década de 1990. Las revistas científicas con alto factor de impacto apuntan a artículos de interés internacional, en desmedro de los que tienen interés

local, condenando a tales estudios a aparecer en revistas con bajo factor de impacto. Como la evaluación de investigadores continúa basándose primariamente en el número de artículos publicados en revistas con alto factor de impacto, el hecho tiene fuerte influencia sobre las elecciones de investigadores para definir sus planes de trabajo. La prevención de enfermedades transmitidas por vectores se tornó más compleja, y requiere de enfoques avanzados con habilidades especializadas. La oferta de formación en tales enfoques y habilidades no es abundante en nuestra región (Global Vector Hub 2021).

■ POLÍTICA CIENTÍFICA Y DE SALUD PÚBLICA.

Existe bajo (o nulo) interés (a veces simple desconocimiento¹) por las enfermedades transmitidas por vectores en la agenda política en los diferentes niveles jurisdiccionales (nacional, provincial y municipal). En la década de 1980 inició un cambio en la estructura de los programas de control de vectores, que transfirió a las jurisdicciones provinciales la responsabilidad de la ejecución de intervenciones de control vectorial (Yadón et al 2006). La idea de transferir responsabilidad y recursos presupuestarios a las provincias intentó hacer llegar los recursos más cerca del territorio donde tales recursos se necesitaban. Lamentablemente, la transferencia de responsabilidad no fue acompañada de los recursos necesarios (materiales y humanos) para que las jurisdicciones provinciales mantuvieran capacidad técnica para continuar la tarea. No son excepcionales los casos en que la responsabilidad del control de vectores de una provincia es asignada en función de la fidelidad militante, más que por la capacidad técnica del candidato. Al debilitamiento de los programas provinciales se sumó el progresivo debilitamiento de la estructura fun-

cional de las instancias nacionales responsabilizadas del control de vectores en Argentina. El otrora sólido e internacionalmente reconocido Programa Nacional de Chagas fue absorbido por la Coordinación Nacional de Control de Vectores, que desapareció en 2016. Hoy hay un vacío de conducción técnica que inmoviliza el avance sobre la evaluación de las intervenciones de control actualmente normatizadas y nuevos tipos de intervenciones. Para el caso del control de *Triatoma infestans*, se conoce desde hace mucho tiempo la baja o nula eficacia de los insecticidas piretroides para eliminar las poblaciones peridomiciliarias del vector (Gürtler et al 2004). A pesar de ello, ningún avance se realizó y se continúa recomendando la aplicación de insecticidas piretroides en doble dosis para el peridomicilio. Esta situación se replica en toda la geografía del chaco árido, y lo más preocupante es que las migraciones humanas desde el área rural están transportando *T. infestans* hacia los suburbios de las ciudades, donde comienzan a registrarse elevadas infestaciones muy difíciles de eliminar (Gaspé et al 2020; Provecho et al 2021).

Para el caso de *Aedes aegypti*, los crecientes brotes epidémicos que vienen ocurriendo desde 2009, con el último y más importante al inicio de 2020, dan cuenta de la incapacidad del sistema de salud para prevenirlos. Sin embargo, las recomendaciones para el control de *Ae. aegypti* se mantienen invariables, como si la experiencia indicara que las evidencias mostraran que son eficaces para prevenir los brotes. Las recomendaciones sobre la eliminación de criaderos del mosquito y sobre la aplicación de insecticida con la técnica de ultra bajo volumen mostraron su ineficacia para prevenir y contener brotes una vez iniciados. Como frecuentemente ocurre, cuando las

recomendaciones fallan, aparecen opciones “mágicas”. La última (a inicios de 2020) fue la del uso de la aplicación de insecticida piretroides o reguladores de crecimiento desde aviones especialmente equipados para las aplicaciones aéreas en sectores agrícolas (casos con cobertura mediática en las provincias de Córdoba, La Rioja y Santa Fe). Sin la existencia de un organismo normatizador, provincias y/o municipios en el medio de la desesperación de un brote epidémico echan mano a la imaginación y/o aceptan lo que profesionales con buena capacidad de marketing les ofrecen.

Lo más grave de toda la situación es que no existe ninguna regulación que proteja a la comunidad de tales embates, ya que no existe norma legal que indique cómo debe proceder una agencia de salud responsable del control de vectores para adoptar una nueva estrategia de control. Esto habilita la posibilidad de que se usen técnicas no validadas que exponen a riesgos toxicológicos, o en el mejor de los casos a un desperdicio innecesario de recursos.

El futuro cercano no es alentador, especialmente para el caso de *Ae. aegypti*, para el que existen múltiples estrategias “novedosas” fuera de Argentina, estrategias que nuestro país no está evaluando ni planea evaluar en el corto plazo. La inmovilidad de las agencias del estado nacional conlleva un doble riesgo: no evaluar lo que podría funcionar, y no evaluar lo que por la presión de empresas previsiblemente aparecerá en el mercado local. En el menú de opciones existen trampas para hembras grávidas, cebos tóxicos, técnica de autodiseminación de reguladores de crecimiento, liberación de machos estériles, liberación de machos infectados por *Wolbachia* y liberación de machos transgénicos. Excepto para el último caso, las opciones

tal vez resulten más o menos eficaces, aunque en ningún caso parecen representar riesgos elevados para la salud humana. Para el caso de los mosquitos transgénicos sin embargo, la situación es bastante más delicada. Argentina aún no cuenta con soporte legal para el uso de insectos genéticamente modificados, a pesar de que Oxitec se dedica desde hace 20 años a desarrollar comercialmente tales productos transgénicos (incluyendo entre insectos de interés médico-veterinario *Aedes aegypti*, *Anopheles albimanus*, *A. stephensis* y *Rhipicephalus microplus* (Oxitec 2021); los desarrollos incluyen además plagas agrícolas como *Spodoptera frugiperda*, *Plutella xylostella* y *Pectinophora gossypiella*), y recientes alianzas con Bayer y con la Fundación Gates.

La actual normativa para el control de insectos vectores de enfermedades humanas en Argentina, aunque basada en una sólida historia de productos científicos locales, está desactualizada. Para el caso del control de los dos principales vectores en Argentina (*T. infestans* y *Ae. aegypti*), no hay recomendaciones para evaluar la eficacia del rociado de insecticidas o sobre el entrenamiento de personal técnico para el uso y calibración de maquinaria (al menos no existe registro de que ello ocurra), no hay directivas registradas sobre procedimientos a adoptar para evaluar resistencia a los insecticidas de uso rutinario, o para decidir sobre cómo manejar las poblaciones resistentes a piretroides de *T. infestans* en varias localidades de Salta y Chaco. A pesar de los múltiples intentos de sus actualizaciones, los esfuerzos habitualmente quedan frustrados por los intempestivos cambios en las conducciones del ministerio de salud.

A pesar de múltiples evidencias científicas publicadas a nivel local

e internacional, los indicadores usados para la vigilancia entomológica de *T. infestans* tienen una muy baja sensibilidad, especialmente en situaciones de baja abundancia del vector. Aún cuando existen algunas propuestas que permitirían mejorar la sensibilidad, la normativa vigente insiste en el uso de métodos de baja sensibilidad con el argumento de que es lo que siempre se usó. Para el caso de *Ae. aegypti* existen los mismos problemas con indicadores usados en la vigilancia. En este caso, además de baja sensibilidad está repetidamente demostrado que tales indicadores no están relacionados con el riesgo de ocurrencia de casos de dengue, eg se usa un indicador que sabemos no tiene relación con el riesgo de casos (Bowman et al 2014). El uso de métodos de vigilancia de baja sensibilidad es un problema, pero un problema mayor es que no se hace vigilancia ni siquiera para evaluar la eficacia de las intervenciones que se realizan. Esta realidad contrasta con la visión de que programas de intervención exitosa están orientados por la ciencia de la vigilancia, que permite anticiparse a los problemas antes de que se transformen en situaciones inmanejables (Reisen 2014).

Las innovaciones, que uno esperaría aparezcan gracias al aliento desde agencias de promoción de ciencia y técnica, no aparecen. Tales agencias asignan recursos de investigación basadas en el índice h más que con base en el impacto que la investigación tiene sobre las personas que contribuyen con su dinero para que las agencias de ciencia y técnica lo distribuyan. Ese criterio alienta la producción de artículos científicos pero no necesariamente la asignación de esfuerzos de la comunidad científica para resolver el problema sanitario que ocasionan los vectores.

Al menos a nivel internacional, el creciente apoyo a estudios usando biología molecular, genómica, neurociencia y farmacología fue acompañado de una declinación de los recursos asignados a estudios parasitológicos y de entomología médica (Goddard 2003). Los programas de manejo integrado de vectores fueron reemplazados por programas de atención primaria y vacunación, que no consiguieron reemplazar la tarea que tales programas de trabajo sobre vectores realizaban.

■ SESGO DE FINANCIACIÓN.

Estudios de entomología médica que traten exclusivamente la historia natural no constituyen una buena inversión de recursos. Estudios sofisticados sobre vectores fuera del contexto de los patógenos que ellos transmiten y enfermedades que producen son buenos para avanzar en la investigación básica pero contribuyen poco para resolver los acuciantes y a veces urgentes problemas del control de vectores. Publicaciones relacionados con tópicos sobre “herramientas genético-moleculares” y “GIS, sensoramiento - remoto, modelos” se encuentran principalmente (70%) en revistas científicas con factor de impacto >2, mientras que aquellas relativas a tópicos sobre “sistemática – taxonomía”, “ecología”, y “control” están en revistas con factor de impacto <2 (Cuisance and Rioux 2004). Esta tendencia comenzó a mostrarse hacia la década de 1980 e impactó cada vez con más fuerza sobre la cantidad de recursos para investigación que los entomólogos médicos podían atraer. Existen pocos recursos asignados desde el sistema de ciencia y tecnología a la investigación en entomología médica, y las reglas de “libre mercado” siguen premiando a quienes exhiben en sus currícula publicaciones en revistas que tienen elevados factores de impacto.

■ SE PUEDE/DEBE REVERTIR LA TENDENCIA?

La tendencia sobre el estado de la entomología médica como disciplina recibió la atención de organismos internacionales, quienes solicitan a los estados la implementación de acciones que reviertan el debilitamiento de la capacidad de trabajo en entomología médica. Para nuestro país, los ministerios de ciencia y técnica y de salud de Argentina deberían confrontar conjuntamente el desafío que representan las enfermedades transmitidas por vectores, priorizando acciones combinadas y potenciando capacidades complementarias, creando un programa que nunca existió en Argentina. Debería explorarse la idea de constituir un programa adecuadamente financiado para controlar las enfermedades transmitidas por vectores cubriendo los múltiples aspectos desde la innovación hasta la evaluación de calidad. Una convocatoria conjunta, con objetivos definidos por salud y calidad evaluada por ciencia y técnica, que incluya la evaluación de eficacia y eficiencia de estrategias y técnicas actuales y el desarrollo de nuevas herramientas para la vigilancia y control de vectores es una necesidad que debería aparecer más pronto que tarde en la agenda política Argentina.

Para recuperar la capacidad en entomología médica en Argentina hay que aumentar sustancialmente la oferta para formar entomólogos médicos, ya que las ofertas para la formación en posgrado en entomología médica son escasas. A la corta vida de la Maestría en Entomología Aplicada que se ofreció desde el CRILAR (1998-2002), le sobrevivieron la Maestría en Entomología de la Universidad Nacional de Tucumán, y las actuales Diplomaturas en Manejo Integrado de Vectores de enfermedades (Universidad Na-

cional de San Martín), y en Manejo Profesional de Plagas Urbanas (Cs Agropecuarias, Universidad Nacional Córdoba). En general, la oferta apunta al mercado profesional de control de plagas urbanas o a la formación académica. No existe oferta orientada al fortalecimiento de la capacidad de los equipos de salud de diferentes niveles jurisdiccionales (nación, provincia, municipio) para resolver los problemas a la escala del territorio (Pandey et al 2015, Connelly 2019). Universidades Nacionales junto al Ministerio de Salud deberían desarrollar planes estratégicos de mediano plazo para formar recursos humanos en entomología médica y control vectorial, con relevancia para la salud pública. A los contenidos tradicionales de la entomología médica, tales planes deberán adicionar contenidos sobre epidemiología, sistemas de información geográfica, investigación operacional, gestión de programas, manejo de la información y tecnología de la comunicación, y bioética, que posibiliten un efectivo planeamiento, monitoreo evaluación y manejo de los esfuerzos de los programas de control.

Desde el punto de vista operacional, los programas de control vectorial deberían incorporar más seriamente componentes ambientales, socio-culturales, de participación comunitaria y comunicación y movilización social. Incorporar además estrategias de control basadas en la integración de herramientas, considerando otras herramientas más allá del uso de pesticidas químicos. El paradigma de “hay que matar al vector para solucionar el problema” debería ser reemplazado por “hay que crear un ambiente que impida la instalación de poblaciones del vector”.

Implementar incentivos para que investigadores de institutos y univer-

sidades se involucren en programas de monitoreo y control de vectores. A pesar de múltiples esfuerzos y promesas durante los últimos 25 años, ninguna gestión del área responsable de la jurisdicción nacional concretó la conformación de una comisión de asesoramiento técnica.

A pesar las inestabilidades políticas y pobreza de recursos materiales, tenemos una larga historia de estudios y descubrimientos en entomología médica, una comunidad científica considerable y en muchos casos comprometida. Debemos usar esas ventajas como plataforma para re-pensar la entomología médica que Argentina debería tener en 2030.

■ REFERENCIAS

- Beard CB, Visser SN, Petersen LR. 2019. The need for a national strategy to address vector-borne disease threats in the United States. *Journal of Medical Entomology*, 56(5): 1199–1203
- Bowman LR, Runge-Ranzinger S, McCall PJ (2014) Assessing the Relationship between Vector Indices and Dengue Transmission: A Systematic Review of the Evidence. *PLoS Negl Trop Dis* 8(5): e2848.
- Casas J., Lazzari C., Insausti T., Launois P. & Fouque F. 2016. Mapping of courses on vector biology and vector-borne diseases systems: time for a worldwide effort. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 111(11): 717-719.
- Connelly R. 2019. Highlights of Medical Entomology 2018: The Importance of Sustainable Surveillance of Vectors and Vector-Borne Pathogens. *Journal of Medical Entomology*, 56(5): 1183–1187
- Cuisance D, Rioux JA. 2004. Current status of medical entomology in France: endangered discipline or promising science?. *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases* 27: 377–392.
- Daly H. 1995. Endangered Species: Doctoral Students in Systematic Entomology. *American Entomologist* 41(1): 55-59.
- Gaspe MS, Fernandez MP, Cardinal MV, Enriquez GF, Rodriguez-Planes LI, Macchiaverna NP, Gurtler RE. 2020. Urbanisation, risk stratification and house infestation with a major vector of Chagas disease in an endemic municipality of the Argentine Chaco. *Parasites and Vectors* 13: 316.
- Global Vector Hub 2021. <https://globalvectorhub.lshtm.ac.uk/> Último acceso Mayo 26 2021.
- Goddard J. 2003. Where had all the medical entomologists gone?. *Infections in Medicine* 20: 89-90.
- Gorla DE. 2021. Cambio climático y enfermedades transmitidas por vectores en Argentina. *Medicina* 81(3) (en prensa).
- Gouveia-Almeida AP, Fouque F, Launois P, Sousa CA, Silveira H. 2017. From the Laboratory to the Field: Updating Capacity Building in Medical Entomology. *Trends in Parasitology* 33(9): 664-668
- Gürtler RE, Canale DM, Spillman C, Stariolo R, Salomón OD, Blanco S, Segura EL. 2004. Effectiveness of residual spraying of peridomestic ecotopes with deltamethrin and permethrin on *Triatoma infestans* in rural western Argentina: a district wide randomized trial. *Bull WHO* 82: 196-205.
- Laroche M, Bérenger JM, Delaunay P, Charrel R, Pradines B, Berger F, Ranque S, Bitam I, Davoust B, Raoult D, Parola P. 2017. Medical Entomology: A reemerging field of research to better understand vector-borne infectious diseases. *Clinical Infectious Diseases* 65 (Suppl 1): S30-S38.
- Levin L., Kreimer P. & Jensen P. 2020. Local issues and global knowledge on Chagas disease. *Medical Anthropology* (en prensa).
- Mincyt 2020. Plan Argentina Innovadora 2020. Núcleos socio-productivos estratégicos en el sector salud. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/argentina-innovadora-2030/plan-argentina-innovadora-2020/salud> (último acceso 22 de mayo de 2021)
- Mnzava AP, Macdonald MB, Knox TB, Temu EA, Shiff CJ. 2014. Malaria vector control at a crossroads: public health entomology and the drive to elimination. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 08: 550–554
- Oxitec 2021. Oxitec Launches New Program to Target Growing Global Cattle Tick Challenge. <https://www.oxitec.com/en/news/oxitec-launches-new-program-to-target-growing-global-cattle-tick-challenge> (20 May 2021).
- Pandey A, Zodpey S, Kumar R. Demand–supply gaps in human resources to combat vector-borne disease in India: capacity-building measures in medical entomology. *WHO South-East Asia Journal of Public Health* 2015; 4(1-2): 92–97.

- Provecho Y, Fernandez MP, Salvá L, Meli S, Cano F, Sartor P, Carbal de la Fuente AL. 2021. Urban infestation by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae), an overlooked phenomena for Chagas disease in Argentina. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 116, e210056, 1-6.
- Reisen, W.K. 2014. Medical entomology – Back to the future. *Infection, Genetics and Evolution* 28: 573 – 582
- WHO. 2013. Vector Control Technical Expert Group Report to MPAC. Capacity Building in Entomology and Vector Control. September 2013, Geneva
- Wilson N. 2020. Medical Entomologists: A Vanishing Species. *BioScience* 70: 281–288.
- Yadón Z., Gurtler R. E., Tobar F. & Medici A. 2006. Descentralización y gestión del control de las enfermedades transmisibles en América Latina. *Organización Panamericana de la Salud*. ISBN 92 75 07397 X <https://iris.paho.org/handle/10665.2/18538> (último acceso 22 de mayo de 2021)

■ NOTAS

1 Como ejemplo de caso valga la siguiente anécdota. En 2003 informé al Ministro de Salud de La Rioja (a la sazón Contador Público Nacional) sobre la grave situación sanitaria

provocada por la infestación de viviendas en Los Llanos por *Triatoma infestans*. Para mi sorpresa, el Ministro me respondió que los problemas con vinchucas en La Rioja habían sido resueltos hacía mucho tiempo. Durante el siguiente año quedó claro que el responsable del programa de control de vinchucas de la provincia mantenía completamente desinformado a su ministro, y que la infestación de viviendas rondaba el 40%. La aceptación de la realidad derivó en uno de los programas de control de vinchucas más exitosos en La Rioja, entre 2004 y 2012. Diez años después (en 2021), la infestación de viviendas que había bajado a menos del 2% vuelve a estar cerca del 35% (Gorla, datos no publicados)

NOTA

BREVE ANÁLISIS BIBLIO-CIENCIOMÉTRICO DE LA DISCIPLINA CIENCIA DE LOS INSECTOS DESARROLLADA EN ARGENTINA DESDE 1996 HASTA 2018-2020

Palabras clave: Insectos; Entomología; Entomología Molecular; Ciencia de los Insectos.
Key words: Insect Science; Insects; Molecular Entomology; Entomology.

Se realiza un breve análisis bibliométrico de la disciplina Ciencia de los insectos comparando Argentina con el resto del mundo. Se analizan los Rankings SCIMAGO basados en producción de documentos y en citas.

Brief scientometric analysis of Argentina's Insect Science compared with the rest of the world. The SCIMAGO Rankings founded both in Citable Documents and Citations are analyzed.

■ Luis A. Quesada-Allué

IECYT – AA. Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires.

E-mail: lualque@iib.uba.ar

Desde el punto de vista global de las ciencias en Argentina, destaca la Ciencia de los Insectos, que abarca desde Entomología Taxonómica hasta Entomología Molecular y Fisiológica. Esta afirmación es válida tanto si se la compara con otras disciplinas argentinas como con el país en forma global; y también comparándola con la misma de otros países. Es una de las disciplinas científicas y tecnológicas argentinas más exitosas ya que ha mejorado su posición en los Rankings compilados por el "SJR-Scimago Journal and Country Rank" (SJR, 2011) (el banco de datos bibliométrico más completo) dentro de la gran área que agrupa trabajos sobre Ciencias Biológicas y Agricultura.

En la Figura 1 se han graficado las variaciones de posición de Argentina en los Rankings Scimago de países, elaborados para la Ciencia de los Insectos. Los valores para 2020 son provisorios y las posiciones en ranking de citas se tienen en cuenta solamente hasta el año 2018

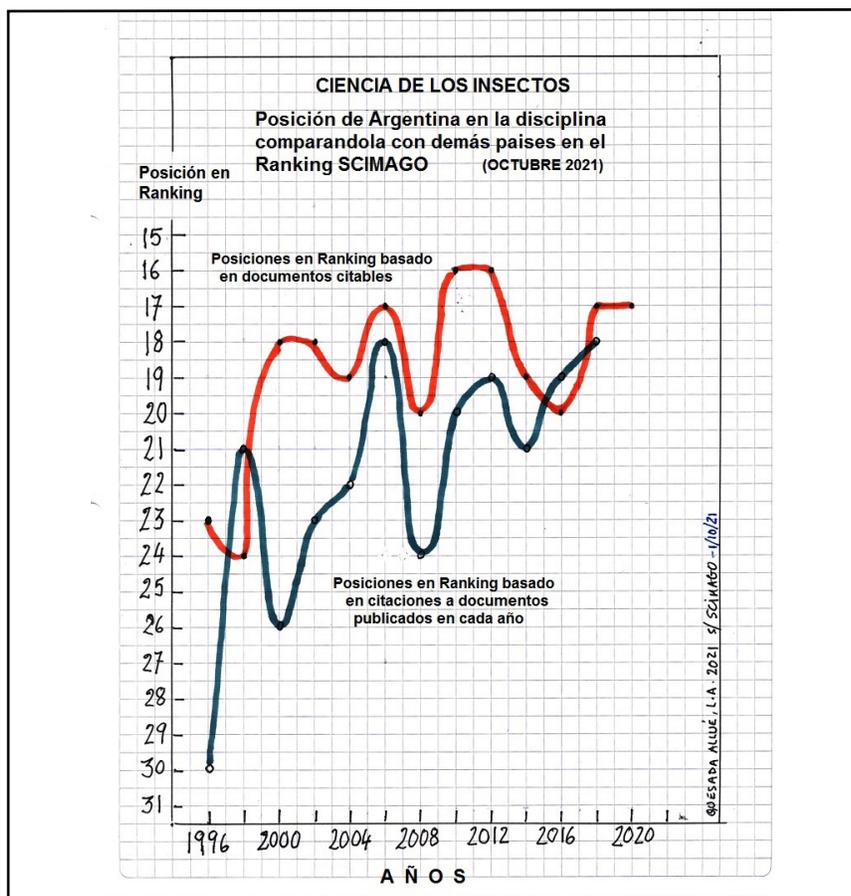


Figura 1: Variación de la disciplina argentina Ciencia de los Insectos en los Rankings SCIMAGO de países, generados en base a producción anual de documentos y a citas a dichos documentos.

Es muy importante tener siempre en cuenta que los análisis globales cuanti- y cualitativos de la Ciencia de un País no contemplan la calidad/cantidad puntual que se puede apreciar en análisis de entidades pequeñas como Universidades, Institutos, etc.; y mucho menos los análisis de tipo curricular aplicables a individuos. Es sabido que Argentina posee una élite científica y tecnológica que ha exhibido y exhibe grandes éxitos individuales y/o puntuales, que frecuentemente no conciben con lo global de cada disciplina (Quesada-Allué, 2019).

Lo primero que llama la atención es la excelente posición de la Entomología argentina en los Rankings, en el período cubierto por el banco de datos desde 1996 a 2020 (Figura 1). La posición promedio para dicho período en el Ranking que toma en cuenta la generación de Documentos Citables es la decimoctava (Siendo los anteriores en el Ranking, en orden, 1-Estados Unidos, 2-China, 3-Reino Unido de G.B., 4-Brasil, 5-Alemania, 6-Japón, 7-Francia, 8-Canadá, 9-Australia, 10-India, 11-España, 12-Italia, 13-Federación Rusa, 14-México, 15-Países Bajos, 16-Corea del Sur y 17-Sudáfrica). A modo de comparación, globalmente para todas las disciplinas, Argentina figura para esos 24 años como País 39 en el Ranking de documentos citables. En el gráfico, la curva basada en documentos muestra un ascenso significativo de 1998 al 2000 (seis posiciones de la 24 a la 18). Lo más notorio es que la disciplina, a pesar de una conocida deficiente financiación por parte del estado y las Universidades y casi nula financiación por parte de empresas, haya logrado mantenerse (Posición 17 en 2018-2020). Desde 1998 se registra una variabilidad de año en año, bastante habitual en diferentes países (entre posiciones 16 y 20).

En el Ranking de países basado en citas a trabajos de cada año, (que es un ranking con posible cambio ya que siempre se adicionan citas), Argentina para el período de 1996 a 2020 figura en la posición 20, muy destacable ya que globalmente para todas las disciplinas Argentina figura en la posición 37. El total de citas da una idea muy aproximada de la calidad de los

trabajos, ya que además obviamente depende de la cantidad de trabajos publicados. Observándose que países con menor volumen de trabajos pueden superar en el ranking de citas a países con mayor volumen. Por ejemplo se aprecia en SCIMAGO que la calidad promedio aparente estimada por número de citas supera a la de Argentina en países de alto nivel como Suiza,

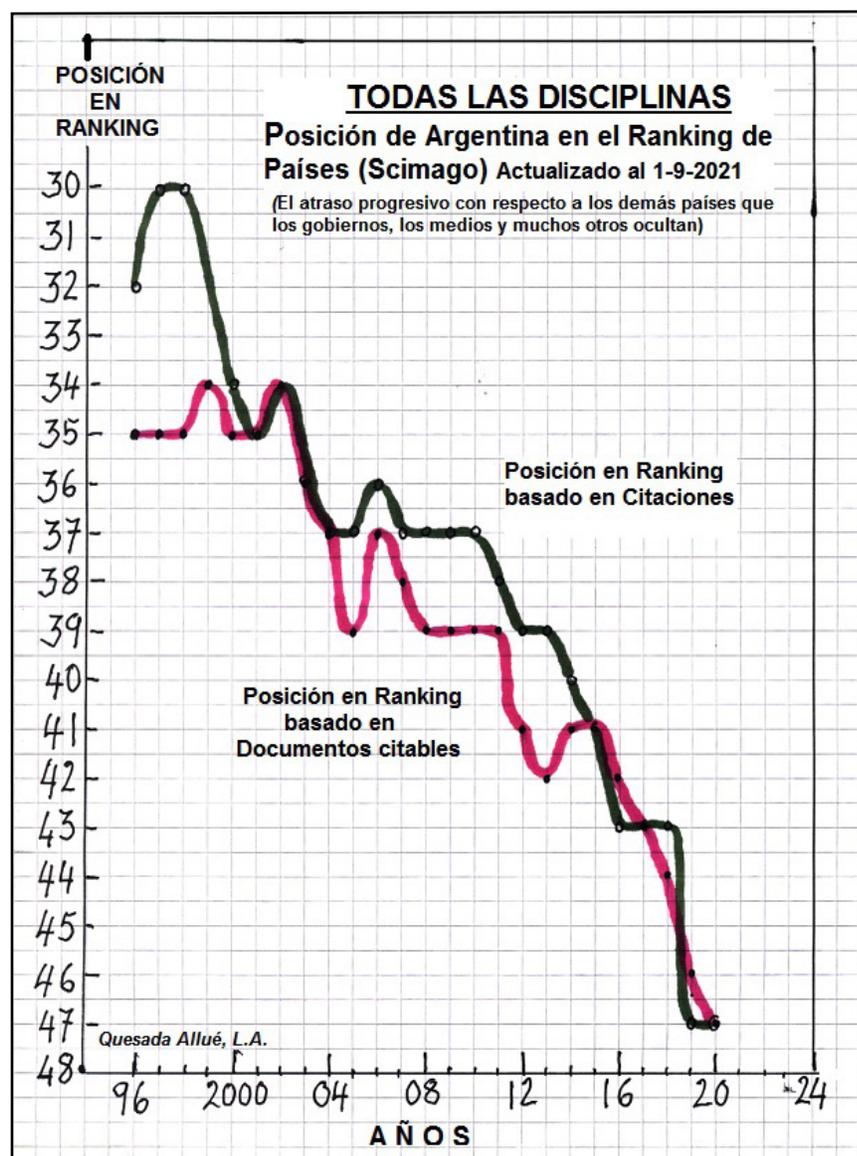
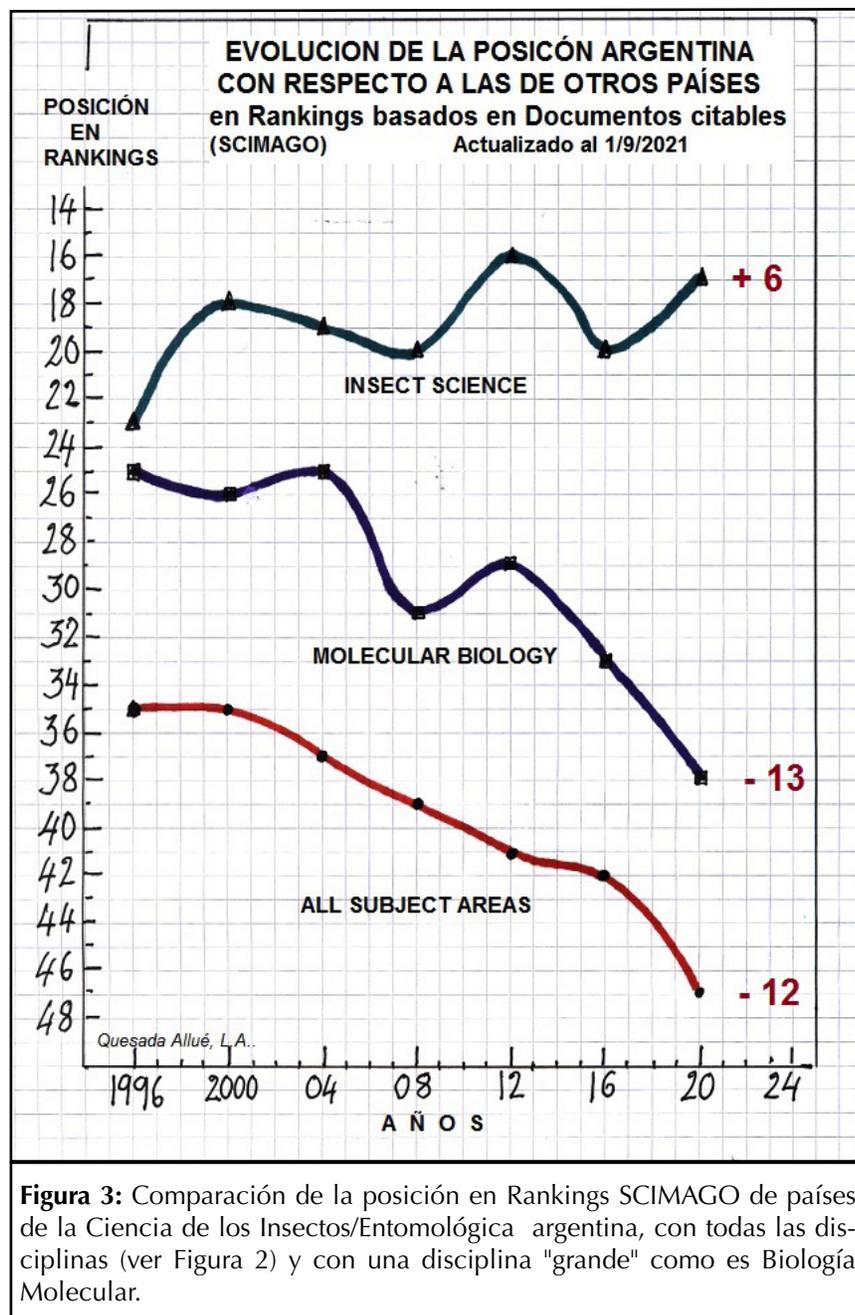


Figura 2: Variación del "Tamaño Científico" de Argentina, según SCIMAGO, basado en cantidad de documentos publicados en todas las disciplinas (Curva inferior roja) y variación en el Ranking SCIMAGO basado en citas a dichos documentos (curva superior negra). Ambos parámetros comparados con los correspondientes de los demás países.

Bélgica y Suecia, que en el Ranking figuran respectivamente en posiciones 13, 14 y 15. También es sabido que en una disciplina puede haber trabajos muy citados y otros que no reciben ninguna citación; o que empiezan a recibirlas después de muchos años. El fenómeno de evaluación de calidad es complejo y puede apreciarse mejor y con mayor rigor en el ranking que contempla el promedio de citaciones por documento (un tercer Ranking SCIMAGO). En este ranking de citaciones promedio, para 1996 a 2020 la Ciencia de los Insectos argentina ocupa al día de hoy la posición 121 de los 214 países computados mientras que, por ejemplo, Estados Unidos ocupa la 21, Suiza la 9 y Suecia la 23; Italia y España registran posiciones 43 y 45. La posición de Argentina se explica porque tiene solamente 49417 citaciones para 3594 trabajos, lo que le da un promedio de 13,74 citas/documento. Notorio en Latinoamérica Nicaragua con sólo 38 trabajos recibió 1151 citaciones y con un promedio de 30,29 citaciones/documento registra la posición 18. Como ejemplos, al día de hoy, Honduras figura en este Ranking en la posición 56, Guatemala en la 59, Panamá en la 70, Perú en la 84, Venezuela en la 96, Cuba en 117, superando a Argentina; y Uruguay, Chile, México y Colombia ocupan respectivamente las posiciones 122, 141, 153 y 158; mientras Brasil ocupa la 132. Como se indicó más arriba, la calidad aparente para cada país, medida con estos parámetros en forma global, es parcialmente independiente del volumen de publicaciones.

Otro indicador indirecto de calidad, que apunta a los trabajos más citados, en general (pero no siempre) publicados por la élite de cada disciplina, es el índice H de disciplina, que para los 24 años analizados para la Ciencia de los Insectos argentina es de 75, ocupando la posición



vigesimosexta en el respectivo Ranking H. Esto muestra que la élite de esta disciplina parece mantener una posición internacional acorde con la indicada por el número de trabajos, aunque muchos de ellos no reciban ni mucho menos tantas citaciones. Obviamente para el índice H es muy importante el tamaño científico medido en número de documentos publicados. Brasil tiene un índice H de 106, debido a su gran tamaño

científico, aunque el promedio de citaciones por documento en esta disciplina sea menor al de Argentina (ver arriba),

■ CONCLUSIONES

Lo más destacable desde el punto de vista cuantitativo es que la Ciencia de los Insectos se encuentra entre las más exitosas disciplinas cultivadas en Argentina. A las bue-

nas posiciones en Rankings debe sumársele como fenómeno notable que, tomando el período analizado, se han mantenido a grandes rasgos sus posiciones internacionales, sin acompañar la caída generalizada de Argentina en la gran mayoría de disciplinas (Figuras 2 y 3).

Así, una observación importante que se desprende de las curvas en la figura 1 es que las escasas variaciones de posición entre 2002 y 2020 no han acompañado la caída global de Argentina durante esos años (Figura 2). Es muy notorio que disciplinas con mayor número de científicos que la ciencia de los insectos y por tanto con más publicaciones (y más apoyo), a pesar de contar con élites muy importantes, globalmente han retrocedido internacionalmente (Figura 3). Esta caída de la mayoría de disciplinas que provocan la del país científico ha obedecido sobre todo a dificultades económicas debidas a la pésima financiación de la Ciencia; y también a los avatares sociopolíticos que han afectado históricamente a la Investigación científica y Tecnológica en Argentina (Albornoz, 2019; Beckerman, 2018; Gitlin y Quesada-Allué, 1995; Quesada-Allué, 2016,2019, Velasco, 1983).

■ GLOSARIO

-**Cienciometría:** La Cienciometría o Cientometría (Scientometrics en Inglés) analiza aspectos cuantitativos, cualitativos y las características de la Investigación Científica, de la Ciencia y la Tecnología, usando principalmente herramientas bibliométricas.

- **Índice H:** Es un indicador indirecto de calidad y un estimador de traba-

jos de élite que indica el número de documentos (h) que han recibido al menos h citas.

■ BIBLIOGRAFÍA

Albornoz, M. (2019) Viejas estructuras y nuevos desafíos. Ponencia Reunión AAPC. https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2019/05/Documento_Albornoz.pdf

Bekerman, F. (2018); La investigación científica en dictadura. Transferencias y desplazamientos de recursos (1974-1983). Colección Indagaciones. Mendoza, EDIUNC.

Fleming, C. (2016) (Editor) Insect Science. Evolution, Behavior and Management of insects. Arizona, Syrawool,

Gilbert, L. I. (2005) Comprehensive Molecular Insect Science. London Elsevier.

Hagedorn, H. H., Hildebrand, J. G., Kidwell, M-G. y Law, J.H. (1990). Molecular Insect Science, New York, Springer.

Krauskopf, M.; Pessot, R. Vicuña, R. (1986) Science in Latin America. How much and along what lines? *Scientometrics*, 10: 199–206.

Quesada-Allué, L.A. (2016) Situación de la ciencia argentina .Anales de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. Tomo L.. pp.113-126 https://www.ciencias.org.ar/user/files/Anales_2016_final.pdf

Quesada-Allué, L.A (2019) Comparación Cienciométrica de Argentina con otros países Ponencia Reunión AAPC. https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2019/05/Documento_Quesada.pdf

Quesada-Allué, L.A. y Gitlin, D. S. (1988) Evolución de la producción científica Argentina, *Ciencia e Investigación*, 42 94–101.

Quesada-Allué, L.A. y Gitlin, D.S. (1995) Scientific output in Argentina 1966-1983 *Scientometrics* 34(1)27-35. Google Scholar

Radhakrishnan, N. (2018) Global research trends in entomology during 2012 – 2016: an analytical study . *Library Philosophy and Practice* (e-journal) <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5347&context=libphilprac>

Harry Rothman (1987) Insect pest control research : the analysis of historical trends with special reference to scientometric analysis. PhD Thesis.Aston University.Birmingham.UK.

SJR. Scimago Journal and Country Rank: <https://www.scimagojr.com/> Consultado el 21/9/2021

Velasco,L. (1983) Algunos hechos y muchas impresiones sobre la ciencia y la tecnología en Argentina. Parte I, *Interciencia*, 8 166–172.Google Scholar. Parte II,*Interciencia*, 8 (1983) 224–231.Google Scholar

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista CIENCIA E INVESTIGACION

Ciencia e Investigación, órgano de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), es una revista de divulgación científica y tecnológica destinada al mundo académico, a educadores, estudiantes universitarios, profesionales y público educado en general. La temática abarcada por sus artículos es amplia y va desde el tratamiento accesible de temas de investigación básica y tecnológica, hasta comentarios analíticos y/o bibliográficos, sin restricción de ciencias o tecnologías. En principio, se excluyen artículos de investigación puntual y originales, que son objeto de revistas especializadas. Desde el año 2009 la revista tiene difusión en versión on line (www.aargentinapciencias.org)

Las contribuciones centrales de temas básicos y tecnológicos son habitualmente solicitadas por los Editores y, en la mayoría de los casos, agrupadas en números temáticos coordinados por los Editores o Editores invitados. Los miembros de la AAPC, y eventualmente otros del ambiente académico, pueden sugerir temas de interés general o someter un artículo de especial relevancia para eventual publicación en un número temático. También se puede proponer a los Editores o a cualquiera de los miembros del Comité Editorial, la evaluación para su eventual publicación de notas cortas (hasta 2500 palabras) de especial interés, debiendo ser de actualidad y/o interés amplio como: entrevistas, historia de las ciencias, crónicas de actualidad, biografías, obituarios y comentarios bibliográficos. La propuesta se deberá acompañar con una nota (conteniendo correo electrónico y teléfono) explicando su importancia. Se considerarán también eventuales Cartas al Editor y/o al Autor, referidas a artículos publicados (aspectos técnicos o teorías). Todos los artículos y notas serán arbitrados y una vez aprobados para su publicación, la versión eventualmente corregida (con posibles sugerencias de los árbitros) deberá ser nuevamente enviada por los autores. Las páginas deben numerarse (arriba a la derecha) en forma corrida, incluyendo el texto, glosario, bibliografía o referencias y las leyendas de las figuras y tablas.

PRESENTACIÓN DEL MANUSCRITO

El artículo se presentará vía correo electrónico a (cienciaeinvestigacion@aargentinapciencias.org), como documento adjunto, escrito con procesador de texto word (extensión «doc») en castellano o inglés, en hoja tamaño A4, a doble espacio, con márgenes de por lo menos 2,5 cm en cada lado, letra Time New Roman tamaño 12.

La primera página deberá contener:

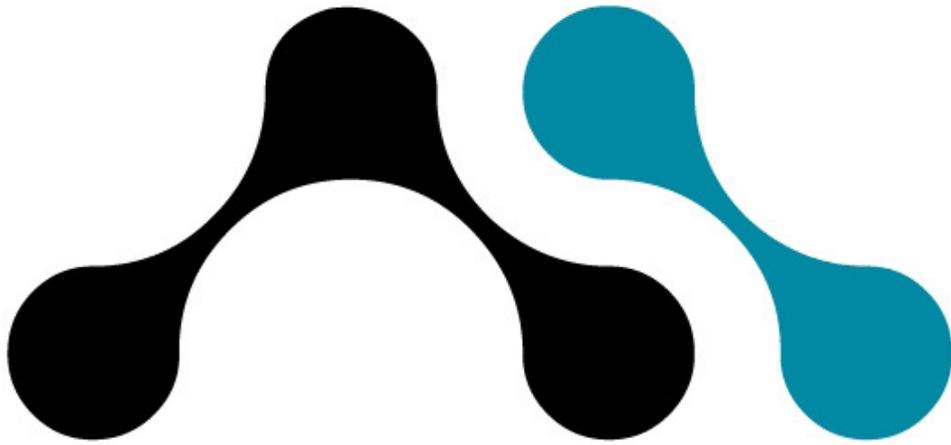
- (a) Título del trabajo (Puede haber un título general seguido de sub-título)
- (b) Nombre y apellido de los autores, indicando pertenencia institucional con índices. (Ejemplo: Juan N.Pandolfi^{1,2}.)
- (c) Institución(es) a la(s) que pertenecen y lugar(es) de trabajo, con los respectivos números
- (d) Correo electrónico del autor correspondiente (con asterisco en el nombre del autor a quién pertenece)
- (e) Entre 4 y 8 palabras claves en castellano y su correspondiente traducción en inglés.

La segunda página incluirá un resumen del trabajo, en castellano y en inglés, con un máximo de 250 palabras para cada idioma.

El texto del trabajo comenzará en la tercera página, y finalizará con el posible glosario, la bibliografía y las leyendas de las figuras. Colocar las ilustraciones numeradas (figuras y tablas) al final (páginas con numeración romana). Por tratarse de artículos de predominante divulgación científica aconsejamos acompañar el trabajo con un glosario de los términos que puedan resultar desconocidos para los lectores no especialistas en el tema. La extensión de los artículos, salvo excepción, no excederá las 10.000 palabras, (incluyendo título, autores, resumen, glosario y bibliografía). Otras notas relacionados con actividades científicas, bibliografías, historia de la ciencia, crónicas o notas de actualidad, etc, en principio no deberán excederse de 2.500 palabras.

El material gráfico se presentará como: a) figuras (dibujos e imágenes en formato JPG) y se numerarán correlativamente (Ej. Figura 1) y b) tablas numeradas en forma correlativa independiente de las figuras (Ej. Tabla 1). En el caso de las ilustraciones que no sean originales, éstas deberán citar su origen/autor en la leyenda correspondiente (cita bibliográfica o de página web). Los autores deberán acompañar, si fuera necesaria, la autorización para utilizar dichas figuras. Es importante que las figuras y cualquier tipo de ilustración sean de buena calidad.

En caso de utilización de datos significativos que no sean propios se debe siempre indicar la fuente en las Referencias. En el texto del trabajo se indicará el lugar donde el autor ubica cada figura y cada tabla (poniendo en la parte media de un renglón **Figura...** o **Tabla...**, en negrita y tamaño de letra 14). La lista de trabajos citados en el texto deberá ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el apellido del primer autor, seguido por las iniciales de los nombres, restantes autores separados por comas, año de publicación entre paréntesis, título completo de la contribución, título de la revista o libro donde fue publicada, volumen y página(s). Ejemplos: Benin L. W., Hurste J. A., Eigenel P. (2008) The non Lineal Hypercycle. *Nature* 277, 108 –115. Tinbergen N. (1951) *The Study of Instinct*. Oxford: Clarendon Press.



FUNDACION ARGENTINA DE
NANOTECNOLOGIA

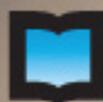
(5411) 4518-1715/4518-1716 - 25 de Mayo 1021. C.P. 1650.
San Martín. Provincia de Buenos Aires. Argentina - www.fan.org.ar - info@fan.org.ar

El artículo 41 de la Constitución Nacional expresa:

Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano, y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes, sin comprometer las de las generaciones futuras.

Para ello, trabajamos en el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA) en docencia, investigación y desarrollo tecnológico.

3iA



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL
www.unsam.edu.ar