

EXPERIENCIAS

Génesis, desarrollo y retos actuales del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET)

Genesis, development, and current challenges of the Regional Institute for Toxic
Substance Studies (IRET)

Luisa Eugenia Castillo¹, María Luisa Fournier², Fernando Ramírez³ y Clemens Ruepert⁴

[Recibido: 14 de noviembre de 2025, Aceptado: 17 de noviembre de 2025 Corregido: 5 de diciembre de 2025, Publicado: 12 de diciembre de 2025]

Resumen

El Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), de cobertura centroamericana, nació en 1998 en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (UNA), sobre la base del trabajo realizado en la temática de plaguicidas desde la década de 1980. Ha aportado conocimiento en relación con el uso e impacto en el ambiente y la salud de los plaguicidas y otros contaminantes emergentes, como antibióticos y plásticos, con énfasis en zonas costeras, ríos, quebradas y ecosistemas en áreas agrícolas. En el campo de la salud se ha investigado la relación de los plaguicidas con el cáncer en la población laboral e infantil, así como la exposición ocupacional a plaguicidas y al calor. En el campo agrícola se promueve la utilización de prácticas agroecológicas y tecnologías limpias, y genera información sobre los plaguicidas importados y sus usos en la agricultura. El enfoque y trabajo incluye tanto la evaluación de riesgos, como la búsqueda de soluciones y la prevención. Cuenta con un laboratorio especializado en técnicas químicas analíticas (LAREP) y otro en estudios ecotoxicológicos (ECOTOX), así como con tres programas académicos (Salud Ocupacional, Ecotoxicología y Bioética) para la formación de profesionales de maestría. Algunos de los factores de éxito del IRET han sido el trabajo científico multidisciplinario y la colaboración con instituciones académicas, gubernamentales y ONG, en el país e internacionales. Dada su línea de estudio y resultados, puede y debe ser un fuerte aliado para revertir el uso de sustancias tóxicas, su emisión al ambiente y su impacto en la salud y en el ambiente.

Palabras clave: sustancias tóxicas; plaguicidas; salud; ambiente; formación académica

- 1 Académica jubilada, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. lecastillo2010@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2641-6886>
- 2 Académica jubilada, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. malufournier@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0169-074X>
- 3 Profesor e investigador, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. fernando.ramirez.munoz@una.ac.cr, <https://orcid.org/0000-0003-0904-0204>
- 4 Académico jubilado, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. cruepert@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5109-2222>



Abstract

The Central American Institute of Studies on Toxic Substances, IRET, was born in 1998 within the School of Environmental Sciences at Universidad Nacional, built upon work on pesticides since the 1980's decade. It has contributed to the knowledge of the use and impact on the environment and health of pesticides and other emerging contaminants like antibiotics and plastics with emphasis on coastal zones, rivers, creeks and agricultural ecosystems. In the field of health, it has studied occupational and childhood cancer, occupational and environmental exposure to pesticides, and the exposure to heat. It promotes the use of agroecological practices and clean technologies in agriculture and generates qualitative and quantitative information of imported pesticides and their uses in Costa Rican agricultural activities. The focus of the Institute includes not only the evaluation of risks but also a contribution to the search for solutions and risk prevention. It has a laboratory specialized in analytical chemical techniques (LAREP) and another in ecotoxicological studies (ECOTOX) as well as three academic programs: Master's in Occupational Health, Master's in Ecotoxicology and Masters in Bioethics. Some of the keys to the success of IRET have been its scientific and multidisciplinary work in collaboration with governmental and non-governmental organizations within the country, with other academic units at UNA and with other state universities and regional and international collaboration. Given its experience and knowledge IRET should and can be a strong ally in the search for solutions to the use and emissions to the environment of toxic substances and to the prevention of their impact on health and the environment.

Keywords: Toxic substances, pesticides, health, environment, academic training

1. Antecedentes

Los plaguicidas se introdujeron a Costa Rica en el decenio de 1950, con lo cual se dio un cambio marcado hacia una agricultura dependiente del combate químico de plagas. A inicios de la década de 1980, el uso de plaguicidas en el país se había incrementado tanto que, entre 1970 y 1987, las importaciones ascendieron de 5.6 a 11.2 millones de kilogramos (Hilje *et al.*, 1987).

Para entonces, eran frecuentes las noticias sobre intoxicaciones de las personas trabajadoras de fincas agrícolas, principalmente en el cultivo del banano. También se conocía de la mortandad de peces, camarones y otros organismos acuáticos en áreas arroceras, bananeras y otras.

Asimismo, en Costa Rica, en 1980, se documentó el caso de la infertilidad de trabajadores de fincas bananeras que habían estado en contacto con el DBCP (1,2-Dibromo-3-chloropropano, el ingrediente activo del Nemagon o Fumazone), un fumigante utilizado hasta 1988 para controlar los nemátodos en las raíces del banano (Ramírez y Ramírez, 1980). La intoxicación por el uso de insecticidas organofosforados fue documentada por Ingianna *et al.* (1983) y un año después Barquero y Constenla (1986) publicaron un estudio sobre la presencia de organoclorados en tejido adiposo humano. Tal era la seriedad del problema, que el entonces ministro de Salud, Dr. Edgar Mohs Villalta, denunció el número de intoxicaciones y muertes por plaguicidas (La República, 9 de octubre de 1989, p. 2A).



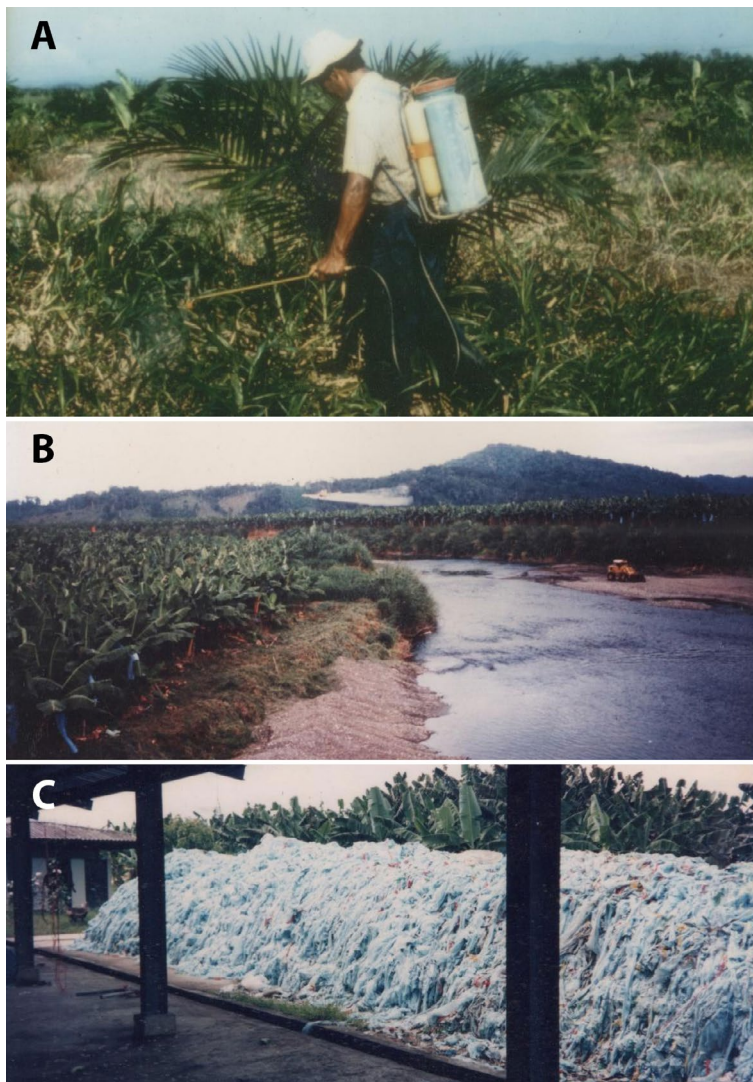


Figura 1. Trabajador aplicando herbicidas en una plantación de palma, sin equipo de protección (A), aplicación aérea de plaguicidas en una plantación de banano (B) y bolsas plásticas desechadas en una empacadora de banano (C). Fotografía: Luisa Eugenia Castillo (s. f.).
Figure 1. Worker applying herbicides in a palm plantation, without protective equipment (A), aerial application of pesticides in a banana plantation (B) and discarded plastic bags at a banana packing plant (C). Photograph: Luisa Eugenia Castillo (n. d.).

tóxico insecticida clorpirifos, utilizadas previamente para cubrir los racimos de banano (**Figura 1C**); muchas de estas bolsas se encontraban posteriormente en los ríos de la zona.

2. La respuesta de la UNA

Motivado por esta situación, el director de la Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA) de la Universidad Nacional (UNA), el Dr. Charles Schnell, planteó la posibilidad de traducir al español una serie de publicaciones sobre las características y el manejo seguro de los plaguicidas más usados en esa época en Costa Rica.

Una vez realizadas estas traducciones, se decidió usarlas para hacer capacitaciones a personas trabajadoras agrícolas y pequeñas agricultoras en todo el país. En estas capacitaciones colaboraron biólogos, médicos, químicos y agrónomos, así como también colegas del Ministerio de Salud, algunas ONG, e incluso compañías agrícolas.

La experiencia permitió conocer de primera mano el manejo de estos productos peligrosos, sus formas de aplicación y la intensidad de uso en los diferentes cultivos, así como documentar esta realidad mediante fotos y entrevistas. Como ejemplos de prácticas incorrectas, se detectaron situaciones comunes, como la aplicación de plaguicidas sin el uso de equipo de protección (**Figura 1A**) y la fumigación aérea sobrevolando un río (**Figura 1B**). Asimismo, la acumulación de bolsas plásticas desechadas, impregnadas con el



Era evidente la exposición a plaguicidas para las personas trabajadoras, las comunidades y el ambiente. Se tuvo la oportunidad de observar, por ejemplo, a mujeres y niños trabajando sin ninguna protección en galeras y bodegas, abriendo bolsas impregnadas de insecticidas que se usaban luego para cubrir los racimos de banano; o bien, a aplicando productos granulados tóxicos con la mano, sin protección alguna.

Además, se visitaron comunidades prácticamente inmersas dentro de los cultivos donde se aplicaban plaguicidas, incluso por vía aérea. De igual forma, se observaron ríos y quebradas sumidas en las áreas de cultivo, o canales de drenajes agrícolas que muchas veces desembocaban en zonas costeras y en los vastos humedales de Palo Verde y Tortuguero, en el Pacífico y el Caribe, respectivamente. Estos cuerpos de agua quedaban expuestos a la contaminación por plaguicidas provenientes de las fumigaciones aéreas en las zonas bananeras y arroceras, o por escorrentía desde las áreas de cultivo.

Fue evidente también, durante estos recorridos, la falta de información sobre el efecto negativo del uso de plaguicidas sobre el ambiente y la salud.

2.1 El surgimiento de aliados oportunos

Asimismo, el trabajo de capacitación fue valioso para establecer nexos con instituciones estatales, tales como los ministerios de Salud, Agricultura y Ganadería, y Ambiente, así como con algunas ONG.

De esta manera, el incipiente proyecto de capacitación de la EDECA se fue enriqueciendo con la incorporación de profesionales de las áreas de biología, medicina, química, agricultura y sociología, y permitió consolidar una visión multidisciplinaria de los problemas asociados al uso de plaguicidas y a sus posibles alternativas. En aquellos tiempos ya era claro que un abordaje unidisciplinario de una problemática con tantas facetas era inadecuado. Por tanto, se inició el trabajo de investigación para generar información en temas de salud y ambiente, así como sobre el uso de plaguicidas en el país.

Esta intensa actividad de extensión e investigación hizo posible darnos a conocer en el ámbito nacional, así como a establecer los primeros contactos internacionales, que serían clave en el desarrollo académico posterior.

En 1986 había un desarrollo importante de proyectos de extensión e investigación, algunos con financiamiento externo, proveniente de la Cooperación Suiza, la Cooperación Técnica Alemana (GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y otras agencias.

Los resultados fueron presentados en simposios y congresos, tanto nacionales como centroamericanos. Al respecto, es pertinente destacar que en 1985 se participó en el simposio *Recursos Naturales y Desarrollo en Costa Rica*, celebrado en la UNA, con una amplia y voluminosa ponencia que incluía aspectos agronómicos, ambientales, de salud, económicos y legales; preparada por un grupo interdisciplinario, integrado por Luko Hilje (entomólogo), Luisa Eugenia Castillo (bióloga), Lori Ann Thrupp (economista) e Ineke Wesseling (médica), que después se



convertiría en el libro *El uso de los plaguicidas en Costa Rica* (Hilje *et al.*, 1987). Este tuvo tal impacto en el ámbito interno, que al año siguiente permitió justificar la creación del Programa de Plaguicidas, Desarrollo, Salud y Ambiente, propuesto desde la EDECA y aprobado por la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar de la UNA.

2.2 Los aportes de la cooperación internacional

La cooperación internacional fue muy relevante, pues la difícil situación presupuestaria de las universidades impedía un apoyo financiero significativo a los proyectos de investigación y extensión. Por tanto, se debió recurrir a dicha cooperación, incluidas las agencias mencionadas, que contribuyeron casi desde el inicio.

Tiempo después, un proyecto desarrollado gracias al financiamiento del Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA) y la Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Noruega (NORAD), abrió la posibilidad de trascender las fronteras nacionales de forma más amplia, para efectuar investigación en los siete países de la región centroamericana. Este proyecto, denominado *Diagnóstico sobre el uso e impacto de los plaguicidas en América Central*, permitió preparar y publicar una serie de fascículos —uno por cada país— sobre el uso de plaguicidas e impactos en la salud y el ambiente. A ellos se sumó el artículo *Uso e impacto de los plaguicidas en tres países centroamericanos* (Castillo *et al.*, 1989). También se participó en la *Primera Conferencia Centroamericana sobre Ecología y Salud* (1992), organizada por la OPS, con la ponencia *Plaguicidas en América Central: algunas consideraciones sobre las condiciones de uso* (Wesseling y Castillo, 1992).

Cabe resaltar que los contactos en América Central derivados del proyecto CSUCA-NORAD, al igual que la organización y participación en simposios y congresos en la región, se mantuvieron a lo largo del tiempo y fueron esenciales para conformar proyectos posteriores.

Un aspecto relevante de la colaboración internacional fue el apoyo para la formación académica de los integrantes del futuro Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), así como para el fortalecimiento de su personal académico. Fue así como, mediante becas y apoyos internacionales procedentes de Bélgica, Holanda y Suecia, se formaron varios investigadores del IRET, que incluyeron dos doctorados en epidemiología y dos en ecotoxicología, a la vez que se incorporaron al IRET dos personas expertas extranjeras, con grado de maestría, uno en química analítica ambiental (Clemens Ruepert) y otro en salud ocupacional (Rudolf van der Haar).

El programa de investigación colaborativa *Pesticides, Environment and Health*, entre el Programa de Plaguicidas de la UNA -cuando aún no existía el IRET- e instituciones suecas (el Instituto Nacional para la Vida de Trabajo, el Instituto de Medicina Ambiental del Instituto Karolinska, la Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia y el Departamento de Ecología de Sistemas de la Universidad de Estocolmo) dio un gran impulso a la investigación del Programa de Plaguicidas. La iniciativa *Pesticides, Environment and Health* incentivó y apoyó la presentación de los resultados de investigación en eventos, al igual que su publicación en revistas científicas internacionales. Además, se organizaron cursos para estudiantes de toda América Central con el



apoyo de docentes de la Universidad de Estocolmo, del Instituto Karolinska y de varias universidades de Estados Unidos (Hogstedt *et al.*, 2001).

Este importante proyecto promovió una mayor integración a la comunidad científica regional e internacional, al apoyar la participación en eventos científicos internacionales. Al respecto, se destaca la realización de la *Conferencia Internacional de Uso de Plaguicidas en Países en Desarrollo: Impactos en Ambiente y Salud*, que tuvo lugar en San José, en febrero de 1998; reunió a unas 500 personas de más de 40 países, para discutir

temas de ambiente, salud, reducción del uso de plaguicidas, aspectos económicos y de políticas (Elinder *et al.*, 1998). Fue en la sesión inaugural de este congreso, con la presencia del Consejo Universitario de la UNA, así como de los ministros de Ambiente, Salud y de Agricultura y Ganadería, cuando se anunció la creación del IRET -la cual había sido previamente aprobada por el Consejo Universitario de la UNA- y se juramentó a su primera directora, Luisa Eugenia Castillo Martínez (Figura 2).



Figura 2. Acto de juramentación de la primera directora del IRET a cargo de la UNA, Dr. Jorge Mora Alfaro. Fotografía: IRET, 1998.

Figure 2. Swearing-in ceremony of the first director of IRET by the rector of UNA, Dr. Jorge Mora Alfaro. Photograph: IRET (1998).

3. El desarrollo del IRET

El Programa de Plaguicidas estaba conformado por tres áreas de trabajo (Ambiente, Salud y Diagnóstico y Alternativas), a las que se les dio continuidad al aprobarse el IRET. En el área de *Ambiente* se trabaja en estudios ecotoxicológicos (el impacto de las sustancias tóxicas en los ecosistemas), tales como el análisis de contaminantes en los ecosistemas -principalmente en el agua y el aire-, la afectación de la biodiversidad acuática y la evaluación del riesgo ambiental. En el área de *Salud* se desarrollan los temas de epidemiología ambiental y ocupacional, salud y seguridad ocupacional, y evaluación de riesgos. El área de *Diagnóstico y Alternativas* busca la utilización de tácticas agroecológicas y tecnologías limpias en la agricultura, a la vez que genera información cualitativa y cuantitativa de los plaguicidas importados y sus usos en las actividades agrícolas del país.

Adicionalmente, el IRET ha trabajado con los registros toxicológicos y ambientales de los plaguicidas en uso en América Central. Como resultado, se publicó, entre otros, el *Manual de*



plaguicidas: guía para América Central (<https://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php>). Contar con información fidedigna sobre el uso de estas sustancias es imprescindible para las investigaciones sobre su impacto en el ambiente y la salud. Además, es valiosa para dar seguimiento a cambios en el uso de los diferentes plaguicidas, así como de la respuesta a medidas tomadas, como prohibiciones, restricciones y otros posibles cambios en los sistemas de cultivo.

Es pertinente resaltar el trabajo integrado de las tres áreas del IRET para apoyar a la Contraloría General de la República de Costa Rica con el informe *Los plaguicidas de uso agropecuario en Costa Rica: impacto en la salud y el ambiente* (de la Cruz *et al.*, 2004), utilizado como insumo para su informe *Evaluación de la gestión del Estado en relación con el control de plaguicidas agrícolas* (DFOE-AM-19-2004).

Es oportuno señalar que el trabajo de investigación del IRET se enriqueció mucho con la creación de dos laboratorios: el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) y el Laboratorio de Estudios Ecotoxicológicos (ECOTOX) (**Figura 3A-B**). Ambos iniciaron sus labores en un espacio subutilizado de la EDECA; en el caso del LAREP, se aprovechó un equipo de cromatografía de gases en desuso, gracias al aporte del químico ambiental holandés Clemens Ruepert, incorporado en 1991 al Programa de Plaguicidas.



Figura 3. Infraestructura de los laboratorios de Análisis de Residuos (A) y de Ecotoxicología (B). Fotografía: IRET (2024).

Figure 3. Infrastructure of the Residue Analysis (A) and Ecotoxicology (B) laboratories. Photograph: IRET (2024).

Para comenzar, la GTZ y la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) financiaron algunos de los primeros proyectos de investigación que utilizaron los servicios del LAREP y ECOTOX. Con estos fondos se financió no solamente el trabajo de campo, sino también la adquisición de equipo para los laboratorios, incluyendo una cámara fría para el ECOTOX, la cual aún está en servicio.

Además, el financiamiento aportado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Holanda permitió contratar por tres años a Clemens Ruepert, quien después siguió incorporado al IRET.



Asimismo, se pudo contratar a Rudolf van der Haar, quien contribuyó en la creación de la Maestría en Salud Ocupacional, como se detallará más adelante.

Los laboratorios permitieron dar un salto cualitativo en cuanto a la investigación sobre el impacto ambiental de los plaguicidas y posteriormente fueron también de gran apoyo para proyectos del Área de Salud. Con el sustento de ellos, a partir de 1992 se desarrollaron proyectos en zonas bananeras, piñeras, arroceras y otras. Estos han aportado al conocimiento de problemas locales, al documentar la contaminación con plaguicidas de los ríos y quebradas de zonas arroceras, bananeras, piñeras, hortícolas, zonas costeras y otras. De hecho, gracias a un estudio del IRET se identificó por primera vez la presencia del herbicida bromacil en aguas de pozos y ríos de zonas piñeras (Castillo y Ruepert, 2000; Ruepert *et al.*, 2005).

Un hecho a destacar es que el área de Ambiente, el LAREP y el ECOTOX apoyan al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en el análisis de mercurio en la zona de minería ilegal en Crucitas de San Carlos; en la contaminación del agua potable de la región de Cartago; y participa en programas de monitoreo de aguas realizados por la Dirección de Agua del MINAE, entre otros estudios relevantes de dicha área que requieren de análisis químicos especializados o de estudios ecotoxicológicos. Además, investigaciones del área de Salud del IRET se han enriquecido con el apoyo de técnicas analíticas, sobre todo en el estudio de la exposición dermal de niños y niñas a plaguicidas y el análisis de la dispersión de plaguicidas por aire y polvo fuera de las áreas de cultivo (Córdoba *et al.*, 2020; Solano, 2009).

Por su carácter regional, vale destacar otros proyectos de dimensiones internacionales, como la coordinación y preparación del *Central America and the Caribbean Regional Report* (Castillo *et al.*, 2002), que incluyó 23 países de la región de América Central y el Caribe, y formó parte del *Regional Based Assessment of Persistent Toxic Substances*, del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), publicado en el 2003. Posteriormente se organizó el 8.º Congreso Ibérico y el 5.º Iberoamericano de Contaminación Ambiental y Toxicología, que se realizó en el campus Omar Dengo de la UNA, en el 2010; dicho congreso contó con la asistencia de científicos de 15 países de la región iberoamericana.

Además, desde finales del decenio de 1990 se participó en redes internacionales, como la Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAPAL), la International Pollutants Elimination Network (IPEN) y, recientemente, en la Pesticide Research Network (PRN).

Igualmente, se ha participado por más de una década en el proyecto *Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) Network*, que estudia las concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes a nivel global (POP) (Rauert *et al.*, 2016; Schuster *et al.*, 2015).

Por su parte, el área de Salud del IRET da un aporte importante en generar y sistematizar conocimiento sobre los impactos por el alto uso de plaguicidas, tanto en la salud de la población en general, como en el campo ocupacional, muchos con la incorporación de colaboradores internacionales. Entre ellos destacan, por su relevancia, estudios relacionados con el cáncer, la exposición ocupacional y ambiental a plaguicidas, el cáncer en personas



trabajadoras y en la población infantil y la exposición al calor. Al respecto, debe destacarse el aporte del epidemiólogo finlandés Dr. Timo Partanen, quien se unió al IRET durante algunos años como profesor visitante.

Otro paso importante fue la iniciativa, en el 2003 del Programa Salud, Trabajo y Ambiente en América Central (SALTRA) (<https://www.saltra.una.ac.cr/index.php/es/>), una red de centros de salud ocupacional y salud ambiental en seis universidades públicas miembros del CSUCA, con el fin de contribuir a mejorar las condiciones de salud y trabajo en la región, mediante la recopilación de datos, el fortalecimiento de la capacidad humana y de alianzas, la creación y el monitoreo de indicadores, entre otros. Posteriormente, en el 2004, el IRET fue designado como Centro Colaborador en Epidemiología Ocupacional y Ambiental y Toxicología de la Organización Mundial de la Salud (CC-OMS).

SALTRA contribuyó en el 2012 a la formación del Consorcio para el Estudio de Nefropatía en Centroamérica y México (CENCAM) (<https://cencam.net/>), un grupo experto para entender y atender la enfermedad renal crónica con origen no-tradicional (ERCnT) en la región. Un grupo de personas investigadoras de SALTRA, con participación del área de Salud del IRET, forma parte actualmente de un consorcio internacional con financiamiento del Instituto Nacional de Salud (NIH) de los Estados Unidos, que investiga los factores que contribuyen a la ERCnT.

Finalmente, el programa Infantes y Salud Ambiental (ISA) cuenta con una larga trayectoria en la investigación de la exposición a plaguicidas de niños, niñas y mujeres embarazadas en áreas cercanas a plantaciones bananeras y de plátano en el Caribe, así como sobre el neurodesarrollo infantil al buscar mediante un enfoque ecosistémico y participativo la reducción de los riesgos de exposición (<https://www.isa.una.ac.cr/index.php/es/>).

4. Maestrías en Salud Ocupacional y Ecotoxicología Tropical

El nivel de desarrollo del IRET en investigación, más la formación académica de su personal, así como la existencia de sus laboratorios, permitió crear tres maestrías: Salud Ocupacional, Ecotoxicología Tropical y Bioética. De esta manera, se contribuye a fortalecer el currículo de formación académica de la UNA. Aquí nos referiremos solo a las dos primeras.

4.1 Maestría en Salud Ocupacional

Esta maestría se inició en 1999 y fue uno de los primeros programas de posgrado interinstitucionales estatales del país. Se creó y ha sido desarrollada por el IRET, junto con la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, del Instituto Tecnológico de Costa Rica (EISHLA-TEC). Propone la formación de profesionales de alto nivel, capaces de tener una visión amplia de la problemática del ambiente laboral y su impacto en la salud, con habilidades para ofrecer soluciones adecuadas, y asegurar así la productividad. El enfoque multidisciplinario ha sido fundamental, y es considerado una valiosa fortaleza de la maestría desde su creación. Se ofrecen las opciones de maestría académica o maestría profesional. Hasta el 2025, ha graduado cerca de 101 estudiantes, en 11 promociones, que trabajan en universidades, empresas privadas e instituciones públicas de varios países centroamericanos.



4.2 Maestría en Ecotoxicología Tropical

A lo largo del camino recorrido en investigación y de la producción científica alcanzada, los integrantes del IRET han atestiguado la necesidad de contar con profesionales que comprendan, estudien y propongan soluciones adecuadas y sostenibles a los problemas ambientales que provoca el aumento en la magnitud y la diversidad de la contaminación. Por ello, en el 2009 se el plan de estudios de la Maestría en Ecotoxicología Tropical.

Esta maestría forma profesionales con perfil de investigadores, consultores y asesores de la calidad y del riesgo ambiental asociado con la producción, utilización y emisión de sustancias químicas. El programa aporta una formación integral teórica y práctica en el campo de la ecotoxicología, y abarca los campos de la química ambiental, el conocimiento de las pruebas ecotoxicológicas y la evaluación de los riesgos e impactos ambientales. Algunas de las personas graduadas y egresadas se han incorporado como funcionarias de entidades tales como el MINAE, municipalidades e instituciones académicas universitarias. Hasta la fecha cuenta con tres promociones y 12 personas graduadas, de 22 estudiantes provenientes de Costa Rica, El Salvador, Nicaragua y Estados Unidos.

5. Plaguicidas y contaminantes emergentes: fortalezas y retos

Los retos en el tema de contaminantes siguen siendo muchos. El número de sustancias químicas producidas y usadas en el mundo se ha incrementado notablemente, y cada año salen al mercado nuevas moléculas (United Nations Environment Programme [UNEP], 2019). La producción de sustancias químicas se incrementó 50 veces desde 1950, y se espera que para el 2050 esta producción se triplique con respecto a la producción del 2010. Existen unas 350 000 sustancias químicas en el mercado global, alrededor de 70 000 registros en la última década, de las cuales casi la mitad han sido registradas en economías emergentes, en las que la capacidad de evaluación de riesgos y el manejo de sus desechos es muchas veces limitada (Persson *et al.*, 2022; UNEP, 2019).

Las sustancias químicas liberadas al ambiente de manera continua durante el último siglo han superado el límite planetario seguro, lo cual implica serios problemas para mantener la salud ecosistémica y las funciones de la vida en el planeta. Cada vez más sustancias químicas de origen antrópico son encontradas en lugares remotos del planeta, y el número de lugares contaminados está incrementándose fuertemente, a pesar de los esfuerzos realizados para su control.

En Costa Rica se refleja esta situación, pues el uso de plaguicidas sigue creciendo. El promedio anual de uso de plaguicidas en el quinquenio 2014-2018 fue de 12,6 millones de kg de ingrediente activo (i. a.) con cerca de 24 kg i. a. por hectárea de cultivos agrícolas (excluyendo pastos y forestales). El cultivo de banano sigue siendo el principal consumidor de plaguicidas, con cerca del 50 % del total de plaguicidas usados, seguido por la piña (20 %), en tanto que el resto de los cultivos consumen con porcentajes menores al 5 %.

A través de su trabajo de investigación y extensión, así como con en la formación de profesionales, el IRET ha buscado influir en la reducción del uso de estos grupos de contaminantes.



Uno de los grandes retos es lograr un cambio de paradigma en la producción agrícola nacional, al pasar de una fuerte y casi absoluta dependencia del control químico de plagas a una producción de alimentos saludables bajo un concepto integral que apunte a la seguridad y la soberanía alimentaria. No obstante, la existencia de monocultivos a gran escala, como banano, piña, palma, arroz, caña de azúcar, café y, en alguna medida, hortalizas, dificultan este cambio.

Al respecto, el área de Diagnóstico y Alternativas ha participado en proyectos tales como *Highly Hazardous Pesticides: Phase out and alternatives in Costa Rica*, que busca contribuir a eliminar el uso de los plaguicidas más peligrosos en la agricultura (Ramírez *et al.*, 2018). Este y otros resultados generados han sido usados como insumos para apoyar estos cambios, tanto a nivel nacional como internacional, a pesar de la gran presión ejercida por las grandes corporaciones agroquímicas.

Dentro de las alternativas que impulsa el IRET, la agroecología es la punta de lanza que, basada en principios ecológicos y sociales, y en la integración de la ciencia con el conocimiento y la práctica de las personas agricultoras, promueve la seguridad y la soberanía alimentaria, incluido el derecho a producir y acceder a alimentos nutritivos, sin residuos de productos químicos tóxicos.

La preocupación existente por parte de diversos sectores de la sociedad ha sido el motor, tanto en el sector público como en el privado, para generar métodos y tecnologías eficientes y ambientalmente benignas para manejar problemas fitosanitarios en los cultivos. Entre dichos métodos figuran el mejoramiento genético, los inductores de resistencia, las prácticas agrícolas, los agentes de control biológico, los repelentes botánicos, las feromonas, las trampas adhesivas, los extractos de humus, entre otras tácticas de manejo de plagas, acerca de las cuales hay esfuerzos continuos tanto en las universidades como en centros de investigación de la región centroamericana.

Para lograr avances más sustantivos al respecto, Costa Rica debería invertir en la búsqueda de alternativas al uso de plaguicidas, para una producción más sostenible, y especialmente en la agricultura orgánica, mediante la investigación. La oportunidad de aumentar la producción agrícola orgánica será alta, siempre y cuando se invierta en su promoción, mediante el fomento de la investigación, la extensión y la capacitación en estas técnicas, a la vez que se ofrecen incentivos para el cambio a una producción orgánica.

De acuerdo con un estudio de la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (Procomer), en el 2017 las tierras dedicadas a la agricultura orgánica representaban el 1,1 % de la región de América Latina y el Caribe, mientras que a nivel mundial representaba el 11 % y en Costa Rica solo el 0,5 % del total de su tierra agrícola. Según las estadísticas de la Unidad de Registro y Acreditación de Agricultura Orgánica del Ministerio de Agricultura (www.sfe.go.cr/DocsARAO) para el 2004, el banano (4057 ha), la caña de azúcar (2549 ha), el cacao (666 ha) y el café (459 ha) son los cultivos con mayores extensiones con modalidad de producción orgánica.

En el caso de los plásticos, debido a su amplio uso y persistencia, son de los contaminantes con mayor distribución a nivel global, cuya producción se incrementó en un 79 % del 2000 al 2015, y para el 2050 alcanzará unos 33 000 millones de toneladas. Además, su producción tiene



impacto en el cambio climático, pues el 4 % de los combustibles fósiles se usan para la producción de plásticos (Persson *et al.*, 2022).

Las evidencias de su impacto en los organismos, lo cual indudablemente afectará a los ecosistemas, son cada vez mayores (Villarrubia-Gómez *et al.*, 2017). Los procesos de fraccionamiento y degradación de estos productos liberan partículas, como microplásticos y polímeros, pero también otra gran variedad de moléculas usadas como plastificantes o colorantes. Esas moléculas, con potencial dañino para los sistemas vivos, deben ser valoradas por los esquemas de evaluación para evidenciar su riesgo ambiental y contar con argumentos para detener su liberación.

Por otra parte, los microplásticos que entran en las redes tróficas tienen serias consecuencias para la nutrición de los organismos e incluso pueden alterar sus microbiomas internos. Sobre este punto, los microplásticos también alteran las propiedades físicas del ambiente en el compartimento agua, al modificar las condiciones para la vida microbiana y favorecer interacciones que facilitan la transferencia horizontal de genes (Aminov, 2011; Arias-Andres *et al.*, 2019).

Este tipo de eventos son un punto de unión entre el problema de la contaminación con plástico y la propagación de la resistencia antimicrobiana, que es parte del problema de la presencia de residuos de compuestos farmacéuticos de uso humano y animal en aguas residuales, e incluso el uso de antibióticos como plaguicidas en la agricultura.

Dos estudios recientes han documentado su amplia distribución y su potencial de riesgo, al punto de que el 43,5 % de más de 1000 sitios muestreados en 104 países contenían productos farmacéuticos, según lo reveló un primer estudio (Bouzas-Monroy *et al.*, 2022). Por su parte, un segundo estudio (Wilkinson *et al.*, 2022), en el cual participó el IRET, incluyó más de 1000 sitios en diferentes continentes, y concluyó que los sitios más contaminados están en regiones con deficiente manejo de las aguas servidas. Asimismo, en estudios colaborativos realizados por el IRET se demuestra que estos compuestos también están presentes en las aguas continentales de Costa Rica (Causanilles *et al.*, 2017) y destacan el uso y los riesgos de los antibióticos en la agricultura, la ganadería, entre otros la generación de resistencia a los antibióticos (Vargas-Villalobos *et al.*, 2014).

El IRET cuenta con fortalezas en este campo de estudio, con personal formado a nivel de doctorado, equipo científico especializado y proyectos, publicaciones y alianzas intra e interinstitucionales, que le permitirían desarrollar un trabajo relevante en este tema del impacto de los microplásticos y otros contaminantes emergentes en el ambiente y en la búsqueda de soluciones para controlar y prevenir los impactos sobre los ecosistemas tropicales.

6. Conclusiones

El trabajo y las fortalezas desarrolladas en el IRET en el tema de plaguicidas y contaminantes emergentes son muy relevantes, tanto por los estudios realizados como por sus programas académicos de formación de profesionales, así como por las capacidades analíticas y de metodologías de estudios ecotoxicológicos y de evaluación de riesgos. A través de sus estudios se ha



aportado al conocimiento de la presencia de contaminantes en el ambiente como los plaguicidas, los antibióticos y los plásticos, de su riesgo para los ecosistemas acuáticos, su impacto a la salud, incluyendo información sobre exposición de la ciudadanía a plaguicidas, daños al desarrollo de infantes expuestos a plaguicidas, así como estudios sobre enfermedades crónicas.

El IRET ha realizado aportes significativos a la formación de recursos humanos en los campos de la ecotoxicología y la salud ocupacional. Algunos de los factores de éxito del IRET o han sido su trabajo multidisciplinario en el abordaje de las problemáticas de su interés, la colaboración con instituciones gubernamentales y no gubernamentales en el país, con otras unidades académicas de la UNA y de otras universidades estatales, así como la colaboración regional e internacional, más allá de la obtención de recursos fundamentales para su trabajo académico.

Costa Rica ha sido un país que ha ganado un importante reconocimiento mundial por la conservación y protección de sus recursos naturales, la protección de su biodiversidad y la promoción del ecoturismo. Sin embargo, aspectos como el uso intensivo de plaguicidas en la agricultura, la contaminación de sus cuerpos de agua y otros problemas ambientales van en detrimento de esta imagen y son cada vez más visibles. En otras palabras, si Costa Rica quiere ser consecuente con su prestigio ambiental, como un país con conciencia y a la vanguardia de iniciativas ambientales relevantes en el marco internacional, así como con la protección de la salud y el ambiente en cumplimiento del artículo 50 de la Constitución Política, es necesaria la conjunción de esfuerzos serios para revertir el uso, la emisión al ambiente y el impacto en la salud y el ambiente de estos compuestos. En tal sentido, el IRET puede y debe ser un fuerte aliado en la consecución de esta meta, con sus estudios y capacidad de propuestas.

7. Conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito, que no hay conflictos de intereses de ningún tipo, que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos, y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

8. Agradecimientos

A todas las personas colegas que a través del tiempo han contribuido al desarrollo del IRET. Es pertinente indicar que el presente artículo retoma información incluida en el documento *Plaguicidas y contaminantes emergentes: la creación y desarrollo del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET)* (Castillo *et al.*, 2023), publicado como parte de la Colección de Oro *La investigación en la UNA: 50 años aportando a la sociedad* (Morera y Salgado, 2023).



9. Referencias

- Aminov, R. I. (2011). Horizontal gene exchange in environmental microbiota. *Frontiers in microbiology*, 2(158), 1-19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00158>
- Arias-Andres, M., Rojas-Jimenez K. y Brossart, H. P. (2019). Collateral effects of microplastic pollution on aquatic microorganisms: An ecological perspective. *Trends in Analytical Chemistry*, 112, 234-240. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993618304576/pdf?md5=213d7f9efc72b1d3079e9d27efb4974a&pid=1-s2.0-S0165993618304576-main.pdf>
- Barquero, M. y Constenla, M. A. (1986). Residuos de plaguicidas organoclorados en tejido adiposo humano en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 34(1), 7-12. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/24351>
- Bouzas-Monroy A., Wilkinson, J. L., Melling, M. y Boxall, A. B. A. (2022). Assessment of the Potential Ecotoxicological Effects of Pharmaceuticals in the World's Rivers *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(8), 2008-2020. <https://doi.org/10.1002/etc.5355>
- Castillo L., Wesseling, C., Aguilar, H., Castillo, C. y de Vos, P. (1989). Uso e impacto de los plaguicidas en tres países centroamericanos. *Estudios Sociales Centroamericanos*, 49, 119-139.
- Castillo, L., Whyllie, P., Gonzalez, R., Singh, J., Nieto, O., Ruepert, C., Dierksmeier, G., Espinoza, J. y Partanen, T. (ed.) (2002). Central America and the Caribbean Regional Report. Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. United Nations Environmental Programme, Global Environment Facility.
- Castillo, L. E. y Ruepert, C. (2000). *Estudio preliminar de la calidad del agua superficial en la Zona de Volcán, Buenos Aires de Puntarenas*. Informe para la Defensoría de los Habitantes. San José, Costa Rica.
- Castillo, L. E., de la Cruz, E., Mena, F., Monge, P., Orozco, M., Ramírez, F., Ruepert, C., Vargas, S. y Solano-Díaz, K. (2023). Plaguicidas y contaminantes emergentes: la creación y desarrollo del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET). En C. Morera Beita y V. Salgado Silva (Eds.), *La investigación en la UNA: 50 años aportando a la sociedad* (Vol. VII, pp. 309-330). EUNA. <https://euna.una.ac.cr/index.php/EUNA/catalog/view/390/564/144>
- Causanilles, A., Ruepert, C., Ibañez, M., Emke, E., Hernández, F. y de Voogt, P. (2017). Occurrence and fate of illicit drugs and pharmaceuticals in wastewater from two wastewater treatment plants in Costa Rica. *Science of the Total Environment*, 599-600, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.202>
- Córdoba Gamboa, L., Solano Diaz, K., Ruepert, C. y van Wendel de Joode, B. (2020). Passive monitoring techniques to evaluate environmental pesticide exposure: Results from the Infant's Environmental Health study (ISA). *Environmental Research*, 184, 109243. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109243>



- De la Cruz, E., Ruepert, C., Wesseling, C., Monge, P., Chaverri, F., Castillo, L. y Bravo, V. (2004). *Los Plaguicidas de Uso Agropecuario en Costa Rica: Impacto en la Salud y el Ambiente*. Informe de consultoría para Área de Servicio Agropecuario y Medio Ambiente de la Contraloría General de la República. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Elinder, C. G., Wesseling, C. y Castillo, L. E. (1998). Report from a round-table discussion on research needs. International Conference on Pesticide Use in Developing Countries: Impact on Environment and Health, San José, Costa Rica, 23-27 February 1998. *AMBIO*, 27, 494-5.
- Hilje, L., Castillo, L. E., Thrupp, L. A. y Wesseling, I. (1987). *El uso de los plaguicidas en Costa Rica*. EUNED.
- Hogstedt, C., Ahlbom, A., Aragon, A., Castillo, L., Kautsky, N., Lidén, C., Lundberg, I., Sundin, P., Tedengren, M., Thörn, A. y Wesseling, C. (2001). Experiences from Long-term Research Cooperation between Costa Rican, Nicaraguan, and Swedish Institutions. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 7(2), 130–135. <https://doi.org/10.1179/107735201800339542>
- Ingianna, J., Herrero, R. y Albertazzi, C. (1983). Estudio comparativo de casos de intoxicaciones por insecticidas organofosforados en diferentes zonas de Costa. *Revista De Biología Tropical*, 31(1), 139-144. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/25137>
- La República. (9 de octubre de 1989). Incremento por intoxicaciones por agroquímicos causa alarma. *La República*, p. 2A. <https://prensacr.info/data/61dbb827445c2c430caed58a>
- Morera Beita, C. y Salgado Silva, V. (Eds.). (2023). *La investigación en la UNA: 50 años aportando a la sociedad* (Vol. VII). EUNA. <https://euna.una.ac.cr/index.php/EUNA/catalog/view/390/564/144>
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z. y Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 1510-1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Ramírez, A. L. y Ramírez, C. M. (1980). Esterilidad masculina causada por la exposición laboral al nematocida 1,2-dibromo-3-cloropropano. *Acta Médica Costarricense*, 23(3), 219-222. <https://www.binasss.sa.cr/revistas/amc/v23n31980/art2.pdf>
- Ramírez, F., Luna, S. y Berrocal, S. (2018). *Informe Final Uso de Plaguicidas. Proyecto Highly Hazardous Pesticides: phase out and alternatives in Costa Rica*. IRET-UNA, SAICM-PNUD. Heredia, Costa Rica.



- Rauert, C., Harner, T., Schuster, J. K., Quinto, K., Fillmann, G., Castillo, L. E., Fentanes, O., Villa Ibarra, M., Miglioranza, K. S. B., Moreno Rivadeneira, I., Pozo, K., Padilla Puerta, A. y Aristizábal Zuluaga, B. H. (2016). Towards a regional passive air sampling network and strategy for new POPs in the GRULAC region: Perspectives from the GAPS Network and first results for organophosphorus flame retardants. *Science of the Total Environment*, 573, 1294-1302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.229>
- Ruepert, C., Castillo, L. E., Bravo, V. y Fallas, J. (2005). *Vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por plaguicidas*. Informe a la Fundación Costa Rica Estados Unidos de América para la Cooperación (CRUSA). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35300.99205>
- Schuster, J. K., Harner, T., Fillmann, G., Ahrens, L., Altamirano, J. C., Aristizábal, B., Bastos, W., Castillo, L. E., Cortés, J., Fentanes, O., Gusev, A., Hernández, M., Ibarra, M. V., Lana, N. B., Lee, S. C., Martínez, A. P., Miglioranza, K. S. B., Padilla Puerta, A., Segovia, F., Siu, M., Tominaga, M. Y. y Zuluaga, B. H. A. (2015). Assessing polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in air across Latin American countries using polyurethane foam disk passive air samplers. *Environmental Science & Technology*, 49 (6), 3680-3686. https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es506071n?ref=article_openPDF
- Solano, K. (2009). *Análisis de plaguicidas en polvo de casa y escuelas cercanas a plantaciones de banano y piña en la zona del Caribe de Costa Rica* [Tesis de Maestría en Salud ocupacional con énfasis en Higiene Ambiental]. Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- United Nations Environment Programme [UNEP] (2019). *Global Chemicals Outlook II – From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030, Agenda for Sustainable Development*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28113/GCOII.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vargas-Villalobos, S., Hernández, F., Fabregat-Safont, D., Salas-González, D., Quesada-Alvarado, F., Botero-Coy, A. M., Esperón, F., Martín-Maldonado, B., Monrós-Gonzalez, J., Ruepert, C., Estrada-König, S., Rivera-Castillo, J., Chaverri-Fonseca, F. y Blanco-Peña, K. (2024). A case study on pharmaceutical residues and antimicrobial resistance genes in Costa Rican rivers: A possible route of contamination for feline and other species. *Environmental research*, 242, 117665. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117665>
- Villarubia-Gómez P., Cornell, S. E. y Fabres, J. (2017). Pollution as a planetary boundary threat - The drifting piece in the sustainability puzzle. *Marine Policy*, 96, 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.035>
- Wesseling, C. y Castillo, L. E. (1-3 de setiembre de 1992). *Plaguicidas en América Central: algunas consideraciones sobre las condiciones de uso*. Primera Conferencia Centroamericana sobre Ecología y Salud (ECOSAL I), San Salvador, El Salvador.





Wilkinson, J. L., Boxall, A. B., Kolpin, D. W., Leung, K. M. Y., Lai, R. W. S., Galban-Malagon, C., Adelle, A. D., Mondon, J., Metian, M., Marchant, R. A., Bouzas-Monroy, A., Cuni-Sanchez, A., Coors, A., Carriquiriborde, P., Rojo, M., Gordon, C., Cara, M., Moermond, M., Luarte, ... Teta, C. (2022). Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *PNAS*, 119(8), 1-10. <http://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>

