

# Medidas para la reducción del riesgo de contaminación ambiental con residuos de antibióticos y propagación de bacterias resistentes

## Measures to reduce the risk of environmental pollution with antibiotic residues and the spread of resistant bacteria

Adriana Villalobos Araya<sup>1</sup>  
Sandra Estrada-König<sup>2</sup>  
Andrea Chaves Ramírez<sup>3</sup>

Josué Rivera-Castillo<sup>4</sup>  
Fabio Chaverri-Fonseca<sup>1,5</sup>

Gustavo Gutiérrez-Espeleta<sup>6</sup>  
Kinndle Blanco-Peña<sup>7</sup>

DOI: 10.22458/rb.v34i1.4823

Recibido – Received: 20 / 02 / 2023 / Corregido – Revised: 15 / 05 / 2023 / Aceptado – Accepted: 24 / 05 / 2023

### RESUMEN

La contaminación ambiental con antibióticos y la propagación de bacterias resistentes pueden provocar daños a la salud, el surgimiento de nuevas pandemias, la alteración del equilibrio de los ecosistemas, la inseguridad alimentaria y una crisis económica mundial. Ante este contexto, se plantea un análisis documental de las causas y consecuencias del problema, con el propósito de proponer medidas para la reducción de los riesgos. Como resultado de la investigación, se plantea el abordaje de la problemática a partir del enfoque “Un mundo, una salud”, donde es fundamental la implementación de buenas prácticas para la prevención de enfermedades infecciosas y el uso óptimo de antibióticos en la salud humana, animal y vegetal. Esto debe estar acompañado de procesos de investigación y concientización social, participación ciudadana, incidencia y gestión política, que permitan conservar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

**Palabras clave:** enfermedades infecciosas; producción agropecuaria; desarrollo sostenible; educación; política pública.

### ABSTRACT

Environmental pollution with antibiotics and the spread of resistant bacteria may cause health damage, the emergence of new pandemics, the disruption of the balance of ecosystems, food insecurity, and a global economic crisis. Given this context, this article broaches a documentary analysis of the causes and consequences of the problem, with the main objective of proposing measures to reduce risks. As a result of the research, access to this problem is proposed from the “One world, one health” approach, where it is crucial to implement good practices for the prevention of infectious diseases and the optimal use of antibiotics in human, animal and plant health. This must be accompanied by research processes, social awareness, citizen participation, political incidence and management that allow the preservation of a healthy and ecologically balanced environment.

**Keywords:** infectious diseases; food production; sustainable development; education; public policies.

1 Centro de Educación Ambiental, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. [advillalobos@uned.ac.cr](mailto:advillalobos@uned.ac.cr)  
ID: <https://orcid.org/0000-0001-9143-7352>

2 Universidad Nacional, Costa Rica. Escuela de Medicina Veterinaria. [sandra.estrada.konig@una.cr](mailto:sandra.estrada.konig@una.cr)  
ID: <https://orcid.org/0000-0003-0786-5552>

3 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. [andreachaves.biol@gmail.com](mailto:andreachaves.biol@gmail.com)  
ID: <https://orcid.org/0000-0002-6237-0678>

4 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. [jrivera@utn.ac.cr](mailto:jrivera@utn.ac.cr)  
ID: <https://orcid.org/0009-0007-2163-9531>

5 Universidad Nacional, Costa Rica. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET).  
†Descansa en paz.

6 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. [gutierrezspeleta@gmail.com](mailto:gutierrezspeleta@gmail.com)  
ID: <https://orcid.org/0000-0003-4133-5002>

7 Universidad Nacional, Costa Rica. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET). [kinndle.blanco.pena@una.cr](mailto:kinndle.blanco.pena@una.cr)  
ID: <https://orcid.org/0000-0002-0883-1832>

## Introducción

Los antibióticos han tenido un rol trascendental en la salud pública y en el desarrollo del sector agropecuario debido a su capacidad de destruir o detener el crecimiento de microbios (Silva, García y Muñoz, 2006). Por esta razón, estas sustancias son clave en el tratamiento de enfermedades infecciosas que afectan al ser humano, las plantas y los animales. No obstante, el uso intensivo e inadecuado de estos medicamentos ha provocado una acumulación constante y en aumento en el ambiente, amenazando la salud humana y la salud de los ecosistemas. Cuando los seres humanos y los animales consumen antibióticos, su cuerpo metaboliza una pequeña cantidad del ingrediente activo del fármaco y el restante es liberado al ambiente. Según Massé, Cata y Gilbert (2014), los animales a los cuales se les suministran eliminan en sus heces y orina entre 70 % y 90 % de metabolitos inalterados del medicamento, que pueden permanecer días, semanas, meses e incluso años en el entorno.

Costa Rica no cuenta con un sistema de registro integrado para el control de la utilización de antibióticos en la salud animal, vegetal y humana, pero estudios en el ámbito mundial y nacional evidencian la problemática de contaminación ambiental con sus residuos y la propagación de bacterias con genes de resistencia a antibióticos (ARGs, por sus siglas en inglés), incluso en ecosistemas con poco o ningún impacto humano (Durso, et al., 2012). Según una investigación realizada por Vargas-Villalobos (comunicación personal con el químico en analítica ambiental Seiling Vargas-Villalobos, el 16 de febrero de 2023), en el país se muestrearon 22 ríos ubicados en tres parques nacionales (Braulio Carrillo,

Tortuguero y Los Quetzales) y sus alrededores. El resultado obtenido fue la detección de residuos de antibióticos en 47% de muestras de agua. Además, todas las muestras fueron positivas para al menos un ARG.

La acumulación y persistencia de antibióticos en el ambiente expone a las bacterias a concentraciones bajas o subletales de estos medicamentos, lo cual provoca mutaciones en los organismos que conducen a la resistencia a uno o múltiples antibióticos (Martínez et al., 2015, como se citó en Mirzaei et al., 2019). Cuando una bacteria adquiere genes que le confieren resistencia a los antibióticos puede transmitirlos fácilmente a otras bacterias, incluyendo las patógenas, dificultando el tratamiento de enfermedades infecciosas.

El artículo presenta la problemática de los residuos de antibióticos y la propagación de bacterias resistentes en el ambiente, a partir de un análisis documental de sus causas y consecuencias, con el propósito de proponer medidas para la reducción de los riesgos de contaminación ambiental. La información fue obtenida mediante la revisión de literatura y conversaciones personales con investigadores en la temática.

## Desarrollo

*Causas de la contaminación ambiental con residuos de antibióticos y propagación de bacterias resistentes*

El uso desmedido y manejo inadecuado de los antibióticos son las principales causas de contaminación ambiental con residuos de estos fármacos y de la propagación de bacterias resistentes. La agricultura a gran escala utiliza estas sustancias para obtener una mayor eficacia del sistema productivo (Bacanli y



Başaran, 2019). En el ámbito mundial, se considera que la producción animal es el área con mayor demanda de antibióticos, debido a que representa el doble de consumo en relación con el de los seres humanos. Se estima que a 80% de los animales para la producción de alimentos se les aplican estos medicamentos con fines terapéuticos, para la prevención de enfermedades y como promotores de crecimiento (Mbarga Manga, 2022). Además, se reportan como fuente de contaminación los desechos: industriales, urbanos y médicos (Chen et al., 2013).

#### *Consecuencias de la contaminación ambiental con residuos de antibióticos y propagación de bacterias resistentes*

La acumulación de residuos de antibióticos en el ambiente y la propagación de bacterias resistentes a estos medicamentos tiene serias implicaciones sociales, económicas y ambientales, como las que se detallan a continuación:

- Efectos a la salud

La presencia de residuos de antibióticos en el ambiente y el uso inadecuado de estos fármacos puede provocar que ingresen a la cadena alimenticia, al ser ingeridos por el ser humano o los animales a través de los alimentos (Mund, 2017) o el agua potable (Lui, 2020). El consumo potencialmente puede afectar de forma directa la salud, generando reacciones alérgicas, toxicidad, desequilibrio del microbioma intestinal, trastornos reproductivos y/o cáncer (Mbarga Manga, 2022).

El efecto secundario más grave de estos residuos es el desarrollo de bacterias resistentes a los antibióticos, lo cual induce al fracaso del tratamiento de enfermedades infecciosas, que lleva a un incremento en las tasas

de mortalidad (Hidron et al., 2008, como se citó en Ben, 2019). Según Linde (2017), se estima que en el 2050 las muertes causadas por microorganismos resistentes alcancen los 10 millones de personas al año en el mundo, por lo que se convertiría en una pandemia (Linde, 2017). Esta situación también afecta los sistemas de salud y la economía de los países, puesto que en un escenario de resistencia a los antibióticos se requiere de medicamentos más caros o mayor tiempo de hospitalización de los pacientes (Laxminarayan et al., 2013).

- Alteración del equilibrio de los ecosistemas

La acumulación de residuos de antibióticos en el ambiente perturba la composición bacteriana natural, lo cual afecta las funciones fundamentales que estos microorganismos desempeñan para la humanidad y el equilibrio ambiental (Villalobos-Araya et al., 2020). Según Zhang et al. (2021), se podrían ver afectadas funciones ecosistémicas, tales como el ciclo biogeoquímico de los nutrientes y los procesos de depuración de otros contaminantes, agravando aún más la situación. Por lo tanto, se pone en riesgo la existencia de otros seres vivos, lo que conlleva a la reducción de la biodiversidad y la degradación de los ecosistemas (Zeng et al., 2022).

Adicionalmente, las bacterias resistentes a antibióticos pueden propagarse de fuentes antropogénicas a ecosistemas naturales, pudiendo afectar el estado de salud de los animales silvestres y, por tanto, su conservación. En ese sentido, existen múltiples estudios que evidencian la presencia de ARGs en excretas tanto de animales silvestres como animales adaptados a las condiciones ambientales modificadas por la actividad humana (Angulo et al., 2023; Blanco-Peña et al., 2017; Rodríguez et al., 2007), pero hay una carencia

notoria de información sobre la afectación de su salud. Además, los animales silvestres pueden ser reservorio de bacterias resistentes con importancia clínica (Dolejska y Literak, 2019), facilitando su transmisión a humanos o animales domésticos.

- Amenaza a los medios de subsistencia

El sector agropecuario se enfrentará a enfermedades infecciosas resistentes a los antibióticos, lo que representa una reducción de la productividad debido a una mayor inversión en tratamientos y al incremento en los porcentajes de pérdidas (Regea, 2018). Esto tiene un efecto directo en la seguridad alimentaria, puesto que una menor oferta de alimentos deriva en el aumento de los precios al consumidor.

La presencia de enfermedades infecciosas resistentes tendrá un impacto negativo en el comercio internacional generado por el “factor miedo”, ya que se podrían interrumpir importaciones de productos agropecuarios ante la presencia de un brote (Jonas y Marquez, 2017). Adicionalmente, los mercados internacionales, en especial de países desarrollados, están implementando restricciones comerciales a productos alimenticios con residuos de antibióticos superiores a los aceptables (Milhaud y Pinault, 2001).

La contaminación ambiental con residuos de antibióticos y propagación de bacterias resistentes es una de las mayores amenazas al desarrollo sostenible (OMS, 2018). De hecho, se prevé un impacto negativo en el crecimiento económico principalmente en países de bajos ingresos debido a la importancia del sector agropecuario en sus economías, lo que resultará en un pronunciado aumento de la pobreza (Jonas y Marquez, 2017).

#### *Medidas para la reducción del riesgo potencial de contaminación ambiental con residuos de antibióticos*

- Abordaje de la problemática desde el enfoque “Un mundo, una salud”

El enfoque “Un mundo, una salud” fue propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Mundial de la Sanidad Animal (OIE) y la Organización Mundial de la Salud. Este se basa en el reconocimiento de la interdependencia de la salud humana, animal y vegetal, ya que las actividades antropogénicas influyen directamente en la salud de los animales, las plantas y el ambiente; así como la salud de los animales, las plantas y el ambiente determina la salud humana (OIE, 2022). Todos formamos parte de un planeta y dependemos de los recursos presentes para mantener la salud y preservar la vida.

La problemática causada por la contaminación ambiental con residuos de antibióticos y propagación de bacterias resistentes debe ser abordada desde una visión holística con estrategias integrales y transdisciplinarias (Regea, 2018). Por lo tanto, para el establecimiento y aplicación de medidas preventivas y de control, es necesario generar alianzas multisectoriales en el ámbito local, nacional y mundial.



**Figura 1**

*Medidas para la reducción del riesgo potencial de contaminación ambiental con residuos de antibióticos a partir del enfoque "Un mundo, una salud"*



*Nota.* Elaboración propia con base en el estudio realizado.

- Prevención de enfermedades infecciosas

La prevención de enfermedades infecciosas es una estrategia necesaria para reducir la contaminación ambiental con residuos de antibióticos y desacelerar la resistencia bacteriana a estos medicamentos. Existen diversas medidas para la prevención de enfermedades infecciosas en seres humanos y animales, dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes.

- Realizar procesos de inmunización mediante sistemas de vacunación en humanos y animales domésticos de compañía o de sistemas productivos.
- Mantener medidas de higiene y bioseguridad.
- En el caso de la producción pecuaria, se debe velar por el bienestar animal mediante una alimentación adecuada y espacios confortables libres de estrés.
- Favorecer la conservación de la biodiversidad nativa para reducir la abundancia de hospederos silvestres generalistas.
- Uso óptimo de antibióticos en la salud humana, animal y vegetal.

El uso de antibióticos se debe restringir a situaciones en las cuales sean indispensables para el tratamiento de una enfermedad diagnosticada. En ambos casos, este medicamento debe ser prescrito por un profesional (médico, médico veterinario o ingeniero agrónomo, según sea el caso).

Los antibióticos deben manejarse de forma responsable, siguiendo las especificaciones de tiempo, frecuencia y dosis de aplicación descritas en la receta. Durante el plazo de uso, deben almacenarse según las recomendaciones del fabricante descritas en el prospecto respectivo. Una vez finalizado el tratamiento, los residuos del medicamento no deben desecharse en la basura convencional, fuentes de agua o el suelo, ya que lo recomendable es entregarlos en los centros de salud, veterinarias o agroveterinarias, según sea el caso.

Los antibióticos no deben emplearse en la alimentación animal como promotores de crecimiento. La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Asociación Médica Estadounidense y la Asociación Estadounidense de Salud Pública han instado al desarrollo de normas para limitar y prohibir esta práctica (Graham et al., 2007). Mientras que, en la Unión Europea, desde el 2006 está prohibido este tipo de uso (Serrano et al., 2021).

El contexto anteriormente descrito, deja en evidencia que para cuidar la salud planetaria y poder acceder a determinados mercados es necesario que el sector pecuario busque promotores de crecimiento que sustituyan a los antibióticos, los cuales mejoren los índices de conversión alimentaria y mantengan la eficacia de los sistemas productivos. Existen estudios donde se propone el uso de enzimas, probióticos, prebióticos y aditivos derivados de plantas como una alternativa sana, segura

desde el punto de vista sanitario y accesible para los productores (Ardoino, et al., 2017).

### *Investigación para la comprensión de la problemática e identificación de soluciones*

La contaminación con residuos de antibióticos y la resistencia a estos medicamentos requiere de soluciones integrales, por tanto, es indispensable la conformación de equipos multidisciplinarios que investiguen el fenómeno. El conocimiento permitirá reducir el riesgo de contaminación al saber puntualmente cuál es el problema por solucionar, no necesariamente será el mismo que en otras latitudes con condiciones ambientales, económicas y sociales distintas.

La información científica que se genere será clave para la toma de decisiones y la generación de políticas públicas, así como para generar conocimientos base para el desarrollo de cambios culturales. Algunas líneas de investigación se enlistan a continuación.

- Mayor comprensión de los agentes patógenos y sus mecanismos de resistencia.
- Desarrollo de nuevas tecnologías para la salud, como vacunas y nuevos antibióticos.
- Generación de buenas prácticas para la prevención y el combate de enfermedades infecciosas.
- Tecnologías de saneamiento para controlar la acumulación de residuos de antibióticos en el ambiente.
- Tecnologías limpias de producción agropecuario que minimicen el uso inadecuado de antibióticos.
- Mejora de los mecanismos de farmacovigilancia.

- Análisis del impacto social, económico y ambiental de la problemática.

### *Concientización crítica sobre la problemática*

El conocimiento adquirido permite concientizar a la sociedad y a grupos específicos, tales como profesionales del área de salud humana, médicos veterinarios, agrónomos, productores agropecuarios, vendedores de fármacos, sector político, entre otros. Además, fundamenta el diseño de estrategias pedagógicas acordes con el perfil de cada población; las cuales permitirán, a partir de un sentido crítico y adaptado a sus contextos, adquirir conocimientos, formar valores, generar cambios actitudinales y plantear soluciones a la problemática.

El proceso de concientización debe ser de carácter permanente e integral, amparado en el concepto de "Aprendizaje a lo largo de la vida", propuesto por la UNESCO. Por lo tanto, la estrategia educativa comprende la educación formal, la educación no formal y la educación informal (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2020).

Las universidades deben abordar esta problemática a partir de la transversalización de la dimensión ambiental. No obstante, carreras del área de salud humana, medicina veterinaria y agronomía requieren de una mayor profundización y análisis del fenómeno, considerando el enfoque ético de la práctica disciplinar.

La educación no formal juega un rol importante en la actualización de profesionales sobre el uso de antibióticos y resistencia a estos medicamentos. También, permite la concientización sobre el tema en poblaciones que no poseen acceso a la educación universitaria



como, por ejemplo, algunos vendedores de antibióticos y productores agropecuarios.

Adicionalmente, los medios de comunicación colectiva son un aliado indispensable en procesos de educación informal debido a su influencia en el traslado de la información y generación de criterio en la sociedad. La Ley Orgánica del Ambiente de Costa Rica n.º 7554 (1995, artículo 14) reconoce esta función social y promueve la participación de los medios de comunicación colectiva en la formación de una cultura ambiental hacia el desarrollo sostenible.

#### *Participación ciudadana e incidencia política*

La Constitución Política de la República de Costa Rica (1994, artículo reformado 50) establece el derecho de toda persona a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como le legitima para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado. Como complemento, la Ley Orgánica del Ambiente n.º 7554 (1995, artículo 6) le confiere al Estado la obligación de fortalecer la participación activa y organizada de los habitantes en la toma de decisiones y en la protección del ambiente.

El marco jurídico ampara el derecho y deber cívico de los costarricenses para involucrarse de forma diligente e informada en la planificación, implementación y control de acciones y políticas gubernamentales enfocadas en la reducción de la contaminación ambiental con residuos de antibióticos y la mitigación de la resistencia a estos medicamentos. Asimismo, el Estado debe brindar los espacios y mecanismos de participación ciudadana.

Las personas de forma individual u organizada pueden ejercer control social para que las instituciones velen por el cumplimiento

de disposiciones legales y administrativas que minimicen la problemática. Por ejemplo, se debe denunciar el uso o comercialización de antibióticos que no estén registrados ante el Ministerio de Salud o el Ministerio de Agricultura y Ganadería, según sea el caso. También, se deben denunciar aquellos establecimientos comerciales que vendan antibióticos sin receta médica, excepto los de uso tópico que contengan oxitetraciclina, neomicina, bacitracina, o polimixina (Ministerio de Salud de Costa Rica, 1998).

La participación ciudadana permite un diálogo entre pluralidad de actores que oriente la gestión pública al desarrollo de acciones y políticas pertinentes a las demandas sociales. También, en este tipo de procesos los habitantes pueden incidir para que el Estado rinda cuentas sobre su accionar e inversión de recursos.

Las estrategias educativas descritas en el punto anterior deben comprender el empoderamiento social para que los ciudadanos tengan las competencias necesarias para actuar responsablemente, ser propositivos en la solución del problema e incidir en la toma de decisiones públicas. De esta manera, se fortalecerá la defensa de los derechos y el ejercicio democrático.

#### *Políticas públicas actualizadas, integrales y prospectivas para la atención del problema*

La contaminación ambiental con residuos de antibióticos y desarrollo de bacterias resistentes es un tema de interés nacional y global que debe contar con políticas públicas actualizadas, que aborden la problemática desde un enfoque integral y prospectivo. Durante la elaboración de las políticas, se debe prever la asignación de recursos necesarios para su implementación.

Los resultados de investigaciones generadas en esta temática son fundamentales para el planteamiento de políticas públicas, ya que brindan información que justifica y orienta el alcance de las mismas. La toma de decisión política basada en evidencias científicas mejora la eficiencia del Estado en la atención del interés común y facilita la concertación de actores. Posterior a la aprobación e implementación de las políticas públicas, se debe dar seguimiento y evaluar su impacto.

## Conclusiones y recomendaciones

Los antibióticos revolucionaron la salud humana, animal y vegetal. No obstante, su uso desmedido y su manejo inadecuado ha provocado la acumulación de sus residuos en el ambiente y la propagación de bacterias resistentes. Esto representa un riesgo inminente a la salud, al equilibrio ecosistémico y amenaza a los medios de subsistencia, afectando en gran medida el desarrollo sostenible en el ámbito local, nacional y global.

Es urgente adoptar buenas prácticas para la prevención del contagio de enfermedades infecciosas y restringir el uso de antibióticos a situaciones en las cuales sea indispensable para el tratamiento de una enfermedad diagnosticada. Ellos se deben aplicar con responsabilidad y siguiendo las instrucciones de un profesional (médicos, médicos veterinarios y agrónomos).

La problemática de la resistencia a antibióticos debe ser abordada desde el enfoque “Un mundo, una salud”, mediante la articulación de esfuerzos en procesos de investigación, concientización social, participación ciudadana, incidencia y gestión política que permitan

conservar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por lo tanto, es importante la generación de estrategias integrales de atención que involucren al Ministerio de Salud, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio del Ambiente y Energía, la Caja Costarricense de Seguro Social, las universidades, la Asamblea Legislativa, entre otros actores. Para la propuesta de soluciones a la contaminación ambiental con estos fármacos y la propagación de bacterias resistentes se requiere de mayor investigación. Por lo tanto, se recomienda considerar temas como tecnologías de saneamiento para el control de estos residuos y de producción agropecuarias que minimicen el uso de antibióticos, el desarrollo de nuevos antibióticos y vacunas, la presencia de bacterias resistentes en diferentes ecosistemas y sus efectos en distintos organismos, entre otros.

### Agradecimiento

Se agradece al master profesional en Evaluación de Programas y Proyectos de Desarrollo Claudio Monge Hernández por la lectura y comentarios realizados al artículo, así como al Fondo de Educación Superior Estatal del Consejo Nacional de Rectores de Costa Rica (CONARE) por apoyar el estudio.



## Referencias

- Angulo, A.S., Esperon Fajardo, F., Salom-Pérez, R., Carazo Salazar, J., Taylor, F., Pilé, E., Quesada-Alvarado, F., Blanco-Peña, K. (2023). Identification of anthropogenic impact on natural habitats by antimicrobial resistance quantification in two neotropical wild cats and their geospatial analysis. *Journal of Wildlife Diseases*. DOI: 10.7589/JWD-D-21-00182.
- Ardoino, S.M., Toso, R.E., Toribio M.S., Álvarez, H.L., Mariani, E.L., Cachau, P.D., Mancilla, M.V., Oriani, D.S. (2017). Antimicrobianos como promotores de crecimiento (AGP) en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. *Ciencia Veterinaria*.19(1):50-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/cienvet-20171914>
- Bacanli, M., Başaran, N. (2019). Importance of antibiotic residues in animal food. *Food Chem. Toxicol*, 125: 462-466. doi: 10.1016/j.fct.2019.01.033
- Ben, Y., Fu, C., Hu, M., Liu, L., Wong, M.H., Zheng, C. (2019). Human health risk assessment of antibiotic resistance associated with antibiotic residues in the environment: A review. *Environmental Research*, 169: 483-493. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.040>
- Blanco-Peña, K., Esperón, F., Torres-Mejía, A.M., de la Torre, A., de la Cruz, E., Jiménez-Soto, M. (2017). Antimicrobial Resistance Genes in Pigeons from Public Parks in Costa Rica. *Zoonoses Public Health*. <https://doi.org/10.1111/zph.12340>
- Buelow, E., Ploy, M.C., Dagot, C. (2021). Role of pollution on the selection of antibiotic resistance and bacterial pathogens in the environment. *Current Opinion in Microbiology*, 64:117-124. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2021.10.005>
- Constitución Política de la República de Costa Rica. *Artículo reformado 50*. 24 de mayo de 1994 (Costa Rica).
- Chen, B., Yang, Y., Liang, X., Yu, K., Zhang, T., Li, X. (2013). Metagenomic profiles of antibiotics resistance genes (ARGs) between human impacted estuary and deep ocean sediments. *Environ Sci Technol*, 47(22):12753–12760. <https://doi.org/10.1021/es403818e>
- Dolejska, M., Literak, I. (2019). Wildlife is overlooked in the epidemiology of medically important antibiotic-resistant bacteria. *Antimicrob Agents Chemother* 63 <https://doi.org/10.1128/AAC.01167-19>
- Durso, L.M., Miller, D.N., Wienhold, B.J. (2012). Distribution and Quantification of Antibiotic Resistant Genes and Bacteria across Agricultural and Non-Agricultural Metagenomes. *PLoS ONE* 7(11): e48325. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048325>
- Graham, J.P., Boland, J.J., Silbergeld, E. (2007). Growth promoting antibiotics in food animal production: An economic analysis. *Public Health Rep.*, 122(1): 79-87.
- Jonas, O., Marquez, P. (2017). *Drug-Resistant Infections: A Threat to Our Economic Future*. World Bank Group.
- Laxminarayan, R., Duse, A., Wattal, C., Zaidi, A.K., Wertheim, H.F., Sumpradit, N., Vlieghe E, Hara, G.L., Gould, I.M., Goossens, H, Greko, C, So, A.D., Bigdeli, M., Tomson, G, Woodhouse, W, Ombaka, E, Peralta, A.Q., Qamar, F.N., Mir, F, Kariuki, S, Bhutta, Z.A., Coates, A, Bergstrom, R, Wright, G.D, Brown, E.D., Cars, O. (2013). Antibiotic resistance-the need for global solutions. *Lancet Infect Dis*. doi: 10.1016/S1473-3099(13)70318-9.
- Ley Orgánica del Ambiente n.º 7554. (1995). Artículos 6 y 14. 8 de octubre de 1995 (Costa Rica).
- Linde, P. (2017). La epidemia que matará a más gente que el cáncer (si no lo remediamos). (25/ 09/ 2015). *El País*. [https://elpais.com/elpais/2017/09/21/plane-ta\\_futuro/1506004048\\_715947.html](https://elpais.com/elpais/2017/09/21/plane-ta_futuro/1506004048_715947.html)
- Liu, Y, Feng, M, Wang, B, Zhao, X, Guo, R, Bu, Y, Zhang, S, Chen, J. (2020). Distribution and potential risk assessment of antibiotic pollution in the main drinking water sources of Nanjing, China. *Environ Sci Pollut Res* 27, 21429–21441. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08516-7>
- Massé, D., Cata, N, Gilbert, Y. (2014). Potential of Biological Processes to Eliminate Antibiotics in Livestock Manure: An Overview. *Animals* (Basel). 4(2): pp. 146-163. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4494381/>
- Mbarga, J.A, Anyutoulou, L.D, Podoprigrora, I.V, Smolyakova, L.A, Souadkia, S, Ibrahim, K., Das, M.S. (2022). The public health issue of antibiotic residues in food and feed: Causes, consequences, and potential solutions. *Veterinary World*, 15(3): 662-671.
- Milhaud, G, Pinault, L. (2001). *Evaluation des Médicaments Vétérinaires: Autorisation de Mise sur le Marché (AMM), limites Maximales de Résidus (LMR)*. Editions Le point Vétérinaire.

- Ministerio de Salud de Costa Rica. (1998). *Decreto Ejecutivo 26984-S*. San José, Costa Rica.
- Mirzaei, R., Mesdaghinia, A., Sajjad Hoseini, S., Yunesian, M. (2019). Antibiotics in urban wastewater and rivers of Tehran, Iran: Consumption, mass load, occurrence, and ecological risk. *Chemosphere*, 221:55-66, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.187>
- Mund, M.D, Khan, U.H, Tahir, U, Mustafa, B, Fayyaz, A. (2017). Antimicrobial drug residues in poultry products and implications on public health: A review. International. *Journal of Food Properties*, 20 (7) <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1212874>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). El enfoque de aprendizaje a lo largo de toda la vida. Implicaciones para la política educativa en América Latina y el Caribe. UNESCO
- Regea, G. (2018). Pharmacology & Clinical Research Review on Antibiotics Resistance and its Economic Impacts. *Journal of Pharamtology y Clinical Research*. (5):5 DOI: 10.19080/JPCR.2018.05.555675
- Rodríguez, CE, Rodríguez, E, Gamboa, MM, Jiménez, S, Sánchez, R, Gutiérrez, G. (2007). Flora Bacteriana De La Cavidad Oral Del Mono Tití (Saimiri Oerstedii) Y Su Perfil De Sensibilidad A Antibióticos. *Neotropical Primates* 14 (3) <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/1200343/18198168/1337026349560/NP14.3.saimiri.resistencia.pdf?token=%2FOqcfb-J4NISKoeALhYrQyNHDKl0%3D>
- Serrano, M.J, García-Gonzalo, D, Abilleira, E, Elorduy, J, Mitjana, O, Falceto, M.V, Laborda, A, Bonastre, C, Mata, L, Condón, S, Pagán, R. (2021). Antibacterial Residue Excretion via Urine as an Indicator for Therapeutical Treatment Choice and Farm Waste Treatment. *Antibiotics*. 10 (7), 762. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070762>
- Silva, M., García, M., Muñoz, A. (2006). *Técnicos especialistas de laboratorio del servicio navarro de salud-Osasunbidea*. 2ª. ed. Málaga: Mad, S.L.
- Villalobos-Araya, A., Blanco-Peña, K., de la Cruz-Malavassi, E. (2020). *Uso correcto de los antibióticos en la producción animal*. EUNED, San José, Costa Rica.
- World Organization for Animal Health (OIE). (2022). One Health. <https://www.oie.int/en/what-we-do/global-initiatives/one-health/>
- Zhang, B., Qin, S., Guan, X., Jiang, K., Jiang, M., Liu, F. (2021). Distribution of Antibiotic Resistance Genes in Karst River and Its Ecological Risk. *Water Research* (203). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117507>.
- Zeng, Y., Chang, F., Liu, Q., Duan, L., Li, D., Zhang, H. (2022). Recent Advances and Perspectives on the Sources and Detection of Antibiotics in Aquatic Environments. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. Volume 2022, Article ID: 5091181 <https://doi.org/10.1155/2022/5091181>

