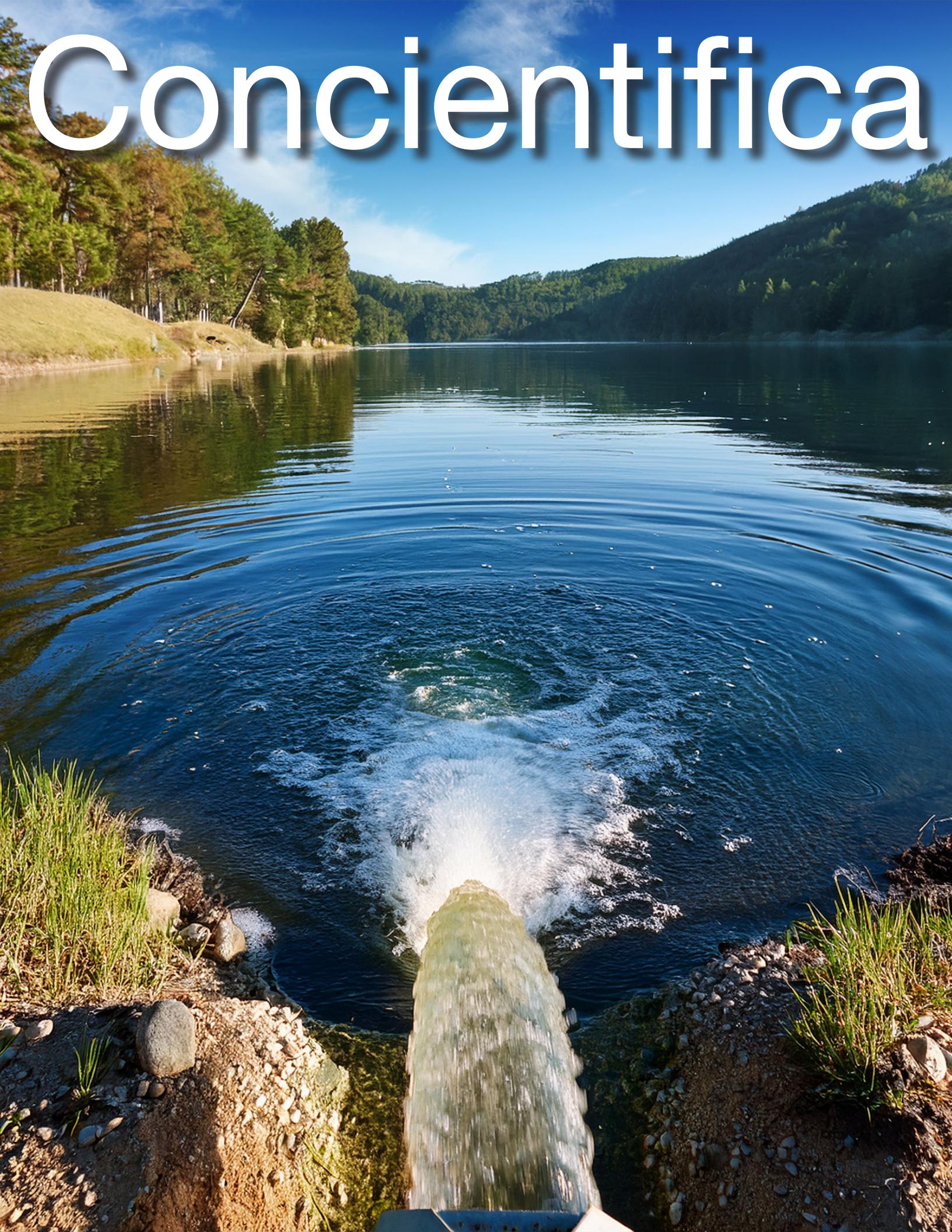


Concientifica



Enemigos invisibles: Contaminación y bacterias resistentes a antibióticos en cuerpos de agua

Invisible enemies: Pollution and antibiotic-resistant bacteria in water bodies

Santiago Reyes^{1,3,4*}
Natalia Fernández^{1,3,4}
José A. Di-Conza^{2,4}

Resumen

Los lagos poseen un alto valor ecológico, turístico y social, presentando una gran diversidad de seres vivos, y siendo un recurso vital para el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, la contaminación de los cuerpos de agua, ya sea por basura, aguas residuales o actividades humanas, favorece la aparición de bacterias resistentes a antibióticos, lo cual representa un riesgo a nivel global, siendo urgente la necesidad de tomar medidas para proteger estos ecosistemas.

Palabras clave: Lagos, presión antrópica, resistencia bacteriana.

Summary

Lakes hold high ecological, touristic, and social value, harboring a great diversity of living organisms and serving as a vital resource for drinking water supply. However, pollution of these water bodies, whether from solid waste, wastewater, or human activities, favors the emergence of antibiotic resistant bacteria, posing a global risk and highlighting the urgent need to implement measures to protect these ecosystems.

Keywords: Lakes, anthropogenic pressure, bacterial resistance.

¹Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, Río Negro, Argentina.

²Instituto de investigaciones en Bacteriología y Virología Molecular (IBaViM), Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina.

³Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas (IPATEC), (CONICET-UNComahue), Río Negro, Argentina.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

*Autor para la correspondencia:
santiagoreyes@comahue-conicet.gob.ar

Los lagos como zonas recreativas y el impacto poblacional

Cada vez que nos paramos frente a un lago, pocas veces nos preguntamos todo lo que sostiene: vida, historias, y también los efectos de nuestras propias acciones. Los lagos y otros cuerpos de agua son espacios naturales de gran valor ecológico y social. Son lugares donde las personas realizan actividades recreativas, como nadar, remar, bucear, o simplemente estar en contacto directo con la naturaleza. A nivel ecológico, albergan una elevada biodiversidad acuática y terrestre, de gran importancia para el equilibrio de los ecosistemas que los rodean. Asimismo, cumplen una función esencial como reservo-

rios naturales de agua potable, un recurso indispensable para la sociedad, la agricultura y el ambiente.

En muchas partes del mundo, estos ecosistemas también generan un gran beneficio económico gracias al turismo nacional e internacional, que atrae cada año a miles de visitantes. Sin embargo, la llegada masiva de turistas y el crecimiento de las poblaciones cercanas a los cuerpos de agua pueden poner en riesgo el equilibrio natural de estos ecosistemas. Cada persona que visita o habita las zonas ribereñas genera residuos, demanda servicios e infraestructura, y contribuye, aunque sea de manera indirecta, a la contaminación del entorno. Cuando la capacidad de tratamiento de aguas residuales o la gestión de desechos no es suficiente, los lagos comienzan a recibir más contaminantes de los que pueden sopportar. Como consecuencia, la presión sobre estos ecosistemas aumenta, los cuerpos de agua se encuentran cada vez más amenazados por la contaminación antrópica (originada por actividades humanas) y se alteran las comunidades de organismos y microorganismos que los habitan. En este contexto nos preguntamos ¿qué complicaciones desapercibidas podrían resultar de estos impactos antrópicos?

El desafío de la contaminación de los lagos

La contaminación de los cuerpos de agua se ha acelerado durante las últimas décadas, debido al aumento poblacional y a la falta de una gestión adecuada de los residuos y del manejo del turismo.

Esta contaminación se puede manifestar de varias formas (Figura 1), algunas pasan desapercibidas a simple vista [1]. Entre las principales fuentes de contaminación están los desechos producidos por las actividades humanas cercanas a los lagos. Por ejemplo, los residuos generados por casas rodantes, las heces de animales que contienen bacterias y nutrientes que se arrastran hacia el agua, y la contaminación de complejos turísticos, cuyos vertidos de aguas residuales (muchas veces sin trata-

miento adecuado) incluyen materia orgánica y contaminantes. A esto se suma el vertido directo de desagües cloacales con tratamiento insuficiente, así como los desechos dejados por turistas y residentes en las costas, que afectan incluso zonas alejadas a donde llegan arrastrados por el viento. En épocas de alta afluencia turística, el problema se intensifica, ya que el volumen de desechos supera la capacidad de limpieza o tratamiento local. Estos desechos no solo afectan el paisaje, sino que también pueden liberar sustancias tóxicas al descomponerse. Los efluentes difusos, provenientes de sistemas de alcantarillado deficientes, tanques sépticos que filtran hacia fuentes de agua subterráneas, o descargas arrastradas por lluvias (ej. efluentes domésticos e industriales no regulados), también contribuyen al problema. La agricultura también puede afectar la calidad del agua, en zonas rurales se añaden sedimentos, nutrientes, herbicidas y pesticidas, mientras que la infiltración desde vertederos introduce aguas contaminadas con metales pesados y sustancias que no se descomponen fácilmente. También existen los contaminantes químicos de origen industrial o farmacéutico, encontrándose entre los principales y más peligrosos los antibióticos. Estos compuestos, aunque útiles en la medicina humana y veterinaria llegan a los cuerpos de agua por el mal manejo de residuos y pueden alterar las comunidades microbianas naturales.

Todos estos compuestos se acumulan en los cuerpos de agua y terminan no solo degradando la calidad del agua potable, sino que favorecen la proliferación de microorganismos patógenos y bacterias resistentes a los antibióticos, un problema creciente a nivel global. Esto convierte a estos ecosistemas acuáticos en potenciales focos de enfermedades, representando un riesgo tanto para la salud humana como para las actividades turísticas. Por eso, entender cómo nuestras actividades cotidianas impactan estos ecosistemas es clave para prevenir riesgos que, aunque invisibles pueden afectarnos directamente.

Fuentes de contaminación



Figura 1. Esquema ilustrativo de diversas fuentes de contaminación de cuerpos de agua próximos a asentamientos urbanos: 1,2 y 3) Actividades recreativas y heces de animales silvestres y domésticos, 4) Infiltraciones y desechos de complejos turísticos y hoteles, 5) Vertidos de aguas de planta de tratamiento de efluentes, 6) Actividades inherentes al centro de las ciudades (ej. generación de basura, derrames de combustible y aceites), 7) Vertederos. (Imagen de elaboración propia con asistencia de IA).

Bacterias resistentes: una preocupación creciente

Las bacterias son microorganismos unicelulares que se encuentran en prácticamente todos los ambientes naturales y en nuestro cuerpo. Aunque a menudo se les asocia con enfermedades, la mayoría de las bacterias no son dañinas; muchas forman parte de nuestra microbiota y cumplen funciones clave en la digestión y protección contra patógenos. Sin embargo, algunas bacterias sí pueden causar enfermedades, un hecho que se demostró en el siglo XIX cuando el médico alemán Robert Koch descubrió la primera bacteria patógena, *Bacillus anthracis*, causante del ántrax. Antes de este descubrimiento, infecciones como la

peste bubónica o la tuberculosis habían causado la muerte de millones de personas sin que se comprendiera su origen ni cómo se transmitían.

Tiempo después, en 1928, el médico escocés Alexander Fleming descubrió la penicilina, el primer antibiótico, al observar que un hongo (*Penicillium notatum*) inhibía el crecimiento de bacterias (*Staphylococcus aureus*). Este descubrimiento revolucionó la medicina, permitiendo tratar infecciones que antes eran mortales y salvar la vida de millones de personas. En las décadas siguientes, se desarrollaron y descubrieron nuevos antibióticos, ampliando el arsenal contra las enfermedades bacterianas. Sin embargo, a medida que el uso de estos fár-

macos se extendió, las bacterias comenzaron a desarrollar mecanismos de resistencia que les permiten sobrevivir a los tratamientos con antibióticos. En otras palabras, las bacterias aprendieron a defenderse de las medicinas diseñadas para eliminarlas. Hoy, este fenómeno representa una de las mayores amenazas para la salud global, poniendo en riesgo muchos avances médicos que antes dábamos por sentados [2]. Y este problema no se limita a los hospitales: también está presente en el medio ambiente.

La resistencia a antimicrobianos es la capacidad que tienen las bacterias para sobrevivir y reproducirse en presencia de sustancias que son nocivas para su desarrollo, como los antibióticos [3]. Este fenómeno es de gran preocupación desde la perspectiva ecológica, ya que estas bacterias pueden desplazar a otros microorganismos, y también desde el punto de vista médico, por diversos motivos:

- Reducen la *efectividad* de los tratamientos, volviendo ineficientes antibióticos que antes curaban infecciones comunes.
- Elevan los costos de atención médica, al requerir medicamentos más caros, pruebas diagnósticas adicionales y hospitalizaciones prolongadas, lo que también eleva el riesgo de contraer otras infecciones.
- Aumentan la *mortalidad*; actualmente más de un millón de personas mueren cada año por resistencia a los antimicrobianos, y se proyecta que para el 2050 esa cifra podría superar los 10 millones.

Esto demuestra que la resistencia bacteriana a los antibióticos no es un problema futuro: ya está afectando la salud y la economía mundial.

Aunque la resistencia puede surgir de forma natural, muchos factores aceleran su propagación y persistencia en los ambientes. Por ejemplo: el uso excesivo de antibióticos (tanto en entornos clínicos como en el uso cotidiano o en la ganadería); la transferencia de bacterias resistentes desde animales a humanos, y

especialmente la contaminación de cuerpos de agua con residuos farmacéuticos, materia orgánica y microorganismos patógenos. En regiones turísticas, este problema se intensifica: las poblaciones han crecido sin que las redes de tratamiento de aguas residuales se adapten a la demanda, lo que se ve agravado por una infraestructura de saneamiento deficiente y la falta de políticas públicas efectivas. El resultado suele ser un incremento descontrolado de efluentes, desde plantas de tratamiento saturadas hasta vertidos domiciliarios difusos o clandestinos, que llegan a lagos y ríos.

Esta situación convierte a los cuerpos de agua en reservorios de bacterias resistentes, donde la contaminación no sólo afecta la salud de los ecosistemas acuáticos, sino también la salud pública, al comprometer la calidad del agua potable, y favorecer la propagación de enfermedades.

Si bien la resistencia a antibióticos es un aspecto de gran importancia de la contaminación de los cuerpos de agua, no se debe desviar la atención de otros aspectos igualmente preocupantes. Por ejemplo, otros contaminantes como metales pesados, pesticidas y microplásticos provenientes de actividades industriales, agrícolas y urbanas también agravan el problema. Esto no solo afecta la biodiversidad y reduce los distintos beneficios que ofrecen los cuerpos de agua, sino que también representa un riesgo para la salud humana. Por estos motivos, es necesario realizar un monitoreo constante en el tiempo que proteja no solo a los ecosistemas sino también a las comunidades que dependen de ellos, garantizando la salud y el bienestar del ambiente y la sociedad.

Medidas de prevención

Tanto el aumento de la contaminación de los cuerpos de agua como el incremento de las bacterias resistentes requiere de acciones urgentes y coordinadas por parte de varios sectores públicos y privados. Por lo tanto, es muy importante fortalecer la conciencia ciudadana sobre el impacto de actividades recreativas y prácticas cotidianas, como el uso inapropiado

de antibióticos o la eliminación inadecuada de los residuos, mediante campañas educativas que promuevan prácticas sostenibles y responsables. Además, los tomadores de decisiones, tanto del sector público como privado, deben dar prioridad a inversiones en infraestructura de saneamiento acorde a las demandas poblacionales, especialmente en zonas turísticas donde la presión sobre los recursos hídricos es cada vez mayor y más preocupante. En distintos países de América Latina se han establecido leyes para enfrentar estos desafíos. Por un lado, se han implementado leyes que establecen normas para proteger los recursos naturales y prevenir la contaminación ocasionada por las actividades humanas. Por otro lado, y de forma más específica, también existen leyes para controlar el uso de los antibióticos, restringiendo su venta exclusivamente bajo receta médica y sólo en casos justificados. Estas medidas son herramientas fundamentales, pero se necesita de una mayor fiscalización y una aplicación efectiva en todo el territorio. También se requiere de un mayor control sobre los vertidos industriales y agrícolas, así como de un mantenimiento adecuado y sostenido de las plantas de tratamiento de efluentes.

La colaboración entre la comunidad científica, las autoridades y la sociedad es sumamente importante para realizar un monitoreo de la calidad del agua, detectar focos de resistencia bacteriana y diseñar estrategias que protejan el ambiente y la salud humana. En este sentido, es necesario la búsqueda e implementación de herramientas biotecnológicas que permitan realizar un seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos. Un ejemplo es el uso de bioindicadores, organismos como plantas, algas o pequeños animales acuáticos que pueden reflejar los niveles de contaminación. Además, estas prácticas deben considerar la participación de la comunidad a través de la ciencia ciudadana, donde el conocimiento local es muy valioso y fortalece la conciencia ambiental. **iBIO**

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el apoyo financiero e institucional.

Referencias

- [1] Nishmitha, P. S., Akhilghosh, K. A., Aiswriya, V. P., Ramesh, A., Muthuchamy, M., & Muthukumar, A. (2025). Understanding emerging contaminants in water and wastewater: A comprehensive review on detection, impacts, and solutions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100755>
- [2] OMS (2021). *Resistencia a los antimicrobianos*. Disponible desde: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>. Consultado: 2 de junio, 2025.
- [3] Iglesias, J. O. (2019). Comprendiendo la resistencia a antibióticos. *Revista de Investigación y Educación en Ciencias de la Salud*, 4(2), 84-89. <https://doi.org/10.37536/RIECS.2019.4.2.164>