

LA RESISTENCIA EN LAS TRINCHERAS AMBIENTALES Y DE LA SALUD: BACTERIAS Y ANTIBIÓTICOS

Christopher Alejandro Salas Butrón, Miguel Alejandro
Maldonado Gordillo y Ricardo Iván Cruz Cano



Resumen

El cambio global no se limita únicamente al clima, ya que las actividades humanas y la pérdida de biodiversidad también impactan severamente la salud a escala microscópica. Las bacterias, indispensables para degradar la materia orgánica o fijar nutrientes en los ecosistemas, representan un reto sanitario cuando provocan infecciones. Su constante combate con antibióticos genera mutaciones genéticas que alteran sus proteínas externas, impidiendo que el medicamento las reconozca e inactive su efecto.

Prácticas inadecuadas como la automedicación, la interrupción de tratamientos o el uso masivo en la ganadería aceleran esta resistencia. Los fármacos desechados y las bacterias resistentes presentes en aguas residuales o heces terminan contaminando el agua, el aire y el suelo. Asimismo, la alteración de la microbiota intestinal afecta el eje microbiota-intestino-cerebro, repercutiendo en la salud mental. Ante los millonarios costos proyectados para el PIB global, se requieren políticas públicas urgentes, pues iniciativas como GLASS no se implementan eficientemente en México.

El fenómeno que no vemos, pero sentimos

Es muy probable que en la actualidad escuches o leas sobre el cambio global, ¿no? Bueno, es un concepto utilizado por numerosas campañas, publicidad e incluso la di-

fusión de información con el fin de generar conciencia sobre el impacto que tienen los combustibles fósiles y el consumo excesivo de productos a nivel mundial, así como sobre el daño que se genera en los ecosistemas y sus componentes. Incluso se han vendido algunos productos considerados favorables al medio ambiente, ecológicos o, como se les denomina actualmente, “eco-amigables”.

Ciertamente, el cambio climático no es un fenómeno reciente; de hecho, es un proceso natural que se ha presentado a lo largo de la historia de nuestro planeta en períodos de disminución de temperatura, llamados glaciaciones, o bien, en incrementos de temperatura, correspondientes al calentamiento global. Sí, es un proceso natural; sin embargo, la actividad humana ha acelerado el cambio en las condiciones climáticas, con un impacto que, hasta el momento, parece irreversible. Sobre este tema se ha escrito mucho y, aparentemente, se tiene la idea (en aumento) de que esto es falso o bien que los cambios no afectan nuestro modo de vida, pero ¿qué pensarías si te demostramos que no es así y que, en consecuencia, incluso nuestra salud puede verse comprometida?

Empecemos por definir el cambio global como el conjunto de transformaciones que surgen a escala planetaria a partir de fenómenos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la urbanización, la expansión de la agricultura y la ganadería. Se suele hablar del cambio climático y del globalismo como sinónimos, pero no es así...son completamente diferentes. El cambio global es una consecuencia del cambio climático, principalmente debido a la acti-

vidad humana y a su expansión a territorios donde los seres humanos no habitaban. Esto ha generado problemas de salud, como las zoonosis, es decir, enfermedades que no son propias de los seres humanos sino de otras especies y que pueden transmitirse, como en el caso del SARS-CoV-2, causado por un coronavirus. Sin embargo, esto solo se aborda desde la perspectiva microscópica, aquello que podemos ver, pero... ¿Te has preguntado si sucede algo a escala microscópica?

Letalidad microscópica: bacterias

Seguramente has escuchado o leído sobre las bacterias, organismos unicelulares vistos solo al microscopio, que son importantes en las relaciones de los ecosistemas. Son tan importantes que favorecen el mantenimiento de los suelos, degradan la materia orgánica en descomposición, es decir, los restos de organismos que han perecido y comienzan a degradarse. También participan en procesos en los que algunos elementos necesarios para los seres vivos (como el nitrógeno) circulan entre la atmósfera y la Tierra. Otras son indispensables para la asimilación de nutrientes en otros organismos, como en el caso de las plantas del grupo “leguminosas”, donde se encuentra el frijol, por mencionar un ejemplo.

Sin embargo, cuando escuchas la palabra “bacteria”, en tu mente la asocias con enfermedades respiratorias, gástricas o incluso con otras más graves que afectan tanto a las personas como a los animales. ¿Cómo se combate este tipo de microorganismos para eliminarlos del cuerpo? Si respondiste “antibióticos”, ¡correcto! El uso de antibióticos es un tratamiento eficaz para eliminarlos de tu sistema. No obstante, estos organismos siguen siendo un problema sanitario. ¿Por qué? La razón de ello radica en un mecanismo bastante eficaz que les ha permitido sobrevivir durante tantos años: la resistencia a este tipo de fármacos.

Este proceso de resistencia consiste, a grandes rasgos, en el reconocimiento de la molécula química (el antibiótico) por parte de la bacteria, que cambia su estructura externa para evitar el daño que le provoca este medicamento. En esencia, podemos hacer una analogía con un cambio de llaves... Imagina que alguien intentó entrar a tu casa porque tenía la llave de la chapa. Lo que hiciste al enterarse de esto fue cambiar la chapa por una nueva. Entonces, la llave anterior es inútil. Este mecanismo lo conocemos en biología como “mutaciones” porque ocurre un cambio en el material genético (ADN) para la formación de nuevas proteínas que se encuentran alrededor de la bacteria, las cuales actúan como esas cerraduras que mencionamos (Figura 1).



Figura 1. Cambio en las proteínas de membrana de la bacteria que no reconocen el antibiótico, lo que inhibe su efecto. Imagen realizada fue con ChatGPT versión GPT-5.6 Luna.

Gracias a este proceso, las bacterias pueden sobrevivir a los antibióticos; este cambio constante de “chapas” inutiliza las “llaves” (antibióticos) que tenemos hoy en día. ¿Has experimentado cómo el personal de salud te proporciona un antibiótico que antes hacía efecto y ahora ya no? Bueno, esto se explica por este proceso y es un problema porque ahora se tiene que sintetizar o encontrar otros antibióticos para combatir las bacterias causantes de enfermedades. Es tal el éxito en dicha resistencia que actualmente se usan antibióticos conocidos como de cuarta generación. Entonces, ¿cómo se relaciona esto con el problema que abordamos sobre la resistencia?

Malas decisiones que han impactado en la salud y el ambiente

Muy probablemente has tenido un familiar o conocido que te ha dicho “Tómame esto, te ayudará con la infección”. Resulta y resalta que es un antibiótico. Sin lugar a dudas, te ayudará a mejorar. El problema viene después porque no lo consumiste durante el periodo adecuado, lo que no garantiza la eliminación de las bacterias causantes del malestar. La próxima vez que lo emplees, el fármaco tendrá un efecto menor porque no se eliminó la mayoría de las bacterias y las que sobrevivieron ¡se volvieron resistentes!

El problema persiste porque en el intestino tenemos bacterias benéficas que forman parte de nuestra microbiota y aportan vitaminas al organismo. Afectar la microbiota puede afectar la salud. Se sabe, según estudios recientes, que la microbiota intestinal mantiene una estrecha relación con el sistema nervioso a través del llamado eje microbiota-intestino-cerebro. Las bacterias presentes en el intestino participan en la producción y regulación de neurotransmisores, sustancias inflamatorias y señales químicas que influyen en procesos como el estado de ánimo, la respuesta al estrés, la memoria y el comportamiento. Su alteración, conocida como disbiosis, se asocia con alteraciones emocionales y psicológicas, como la ansiedad, la depresión, el estrés e incluso problemas cognitivos.

Esto es delicado a nivel individual, pero puede afectar a nivel poblacional porque una fracción importante de los antibióticos se elimina por la orina; se estima que el porcentaje de eliminación por esta vía oscila entre el 30% y el 60%. ¿Y el problema? Aparentemente afecta solo a individuos con resistencia; sin embargo, si la mayor parte del antibiótico es excretada por la orina, este se irá por el sistema de drenaje, combinándolo con las aguas residuales, donde se encuentra una diversidad de bacterias entero gástricas, es decir, aquellas que infectan el tracto digestivo y, como consecuencia, también presentan resistencia a los antibióticos. Además, estas bacterias presentes en las aguas de desecho

serán vertidas en algún lugar (probablemente no regulado), donde se dispersarán por el ambiente. Entonces, las bacterias más resistentes se encuentran en el drenaje y es muy difícil eliminarlas, así como controlar tanto su crecimiento como su dispersión. Es un problema serio, ¿no te parece? Pero esto no termina ahí...

En la industria ganadera, por ejemplo, se emplean grandes cantidades de antibióticos para prevenir infecciones en el ganado. La situación se asemeja a lo descrito en los humanos, pero con la diferencia de que en este caso la distribución de dichas bacterias no se limita al agua, sino que también incluye el suelo y el aire. Las heces de estos animales permanecerán en el lugar donde se alimentaron hasta que comiencen a degradarse y a dispersarse por el viento. Es así como este tipo de bacterias no necesariamente llega a las personas por la alimentación, sino también por la respiración, a través de los aerosoles ambientales.

¿Qué tan severa es la situación? Numerosos estudios a nivel mundial han identificado la presencia de estos organismos resistentes en diversos ambientes, como el aire, el agua y el suelo, e incluso en organismos vivos. Es tal la relevancia de este fenómeno que ya se han identificado puntos geográficos con registros (Figura 2). Se ha observado que los mayores riesgos se encuentran en las áreas marinas cercanas a Brasil y África, y no en las zonas marinas cercanas al este de Estados Unidos.

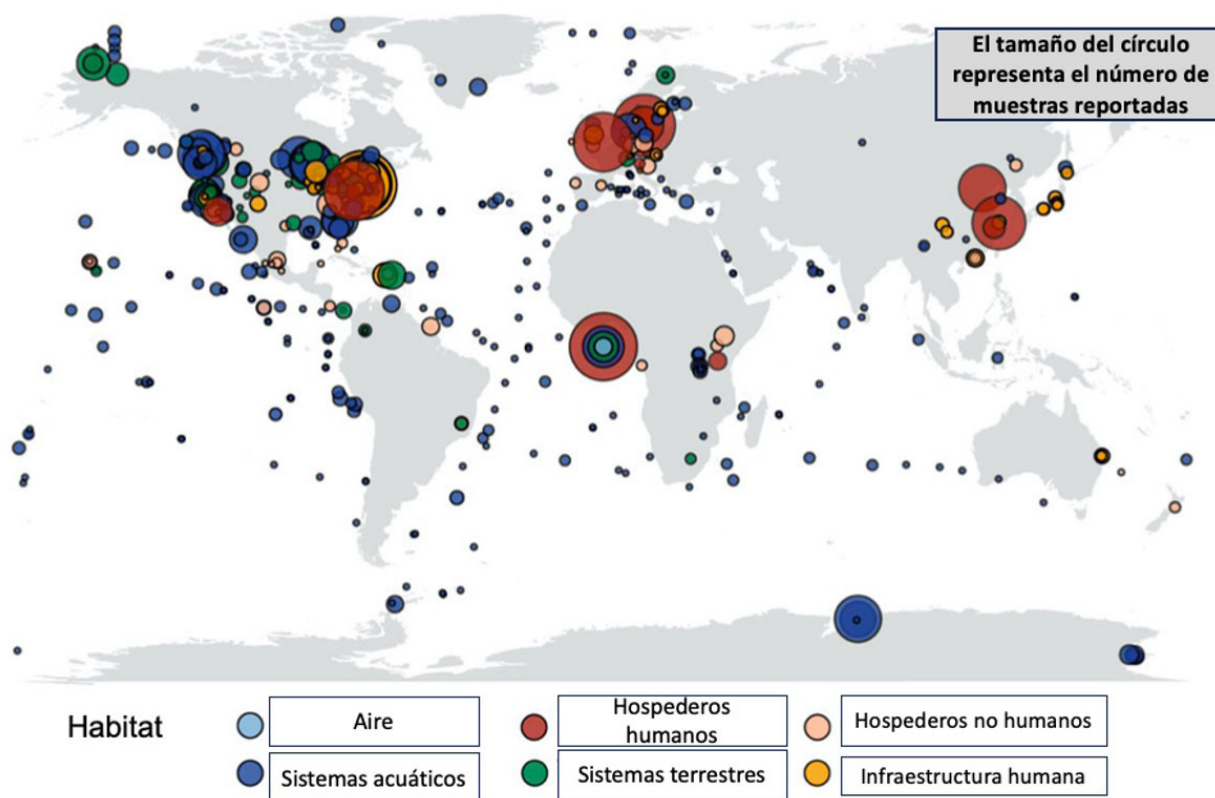


Figura 2. Distribución mundial de los sitios donde se ha detectado la presencia de genes de resistencia a los antibióticos (GRA) en alguna muestra ambiental o en hábitats específicos. Imagen adaptada de Zhang et al. (2022).

Ahora bien, este problema no solo involucra preocupaciones de índole ambiental y médica, sino también económica. ¿Por qué? Bueno, al aumentar el número de personas infectadas que enferman, se requiere destinar un mayor presupuesto al ámbito médico para brindarles tratamiento. Asimismo, comienzan a reconocerse efectos en la salud mental colectiva debido a la preocupación constante por las infecciones emergentes, la contaminación ambiental y los riesgos sanitarios globales. Esto demuestra que la resistencia antimicrobiana también tiene implicaciones para la higiene mental y el bienestar emocional de la sociedad. De hecho, se estima que para el 2030 se tendrán que aportar billones de dólares al producto interno bruto (PIB) de este ámbito. Sin dudas, el panorama no es favorable, pero algunos países ya han puesto manos a la obra, impulsando mejores obras, infraestructura y políticas de salud pública, como lo es el programa Sistema Global de Vigilancia y Uso de la Resistencia Antimicrobiana (GLASS, por sus siglas en inglés), promovido por la OMS en el 2015. Este programa recopila datos sobre la resistencia microbiana y el uso de antibióticos, con el fin de elaborar indicadores e instrumentos que permitan comprender, gestionar y solucionar este problema. Ahora, la pregunta del millón: ¿se implementa este sistema en México? Desafortunadamente, no.

Nuestro país participa en iniciativas bajo este esquema; sin embargo, hasta hoy han resultado ineficientes. Además, los estudios realizados a la fecha son contados: 2 desde 2010. Esto nos debe de preocupar, ya que México es un punto de tránsito hacia el norte, lo que lo convierte en un punto clave tanto para la llegada de los microorganismos resistentes a antibióticos como para su transmisión hacia América del Norte. De no trabajar en políticas de salud pública y en la infraestructura adecuada, el país podría verse enfrentado a un panorama poco favorable en este ámbito.

Finalizamos con una reflexión: esta situación puede mejorarse mediante diversas estrategias, como la reducción del uso innecesario de antibióticos. Para lograrlo, se requiere conciencia ciudadana y atención oportuna a las infecciones por parte del personal adecuado. También se requiere mejorar el tratamiento de las aguas residuales y realizar investigaciones sobre nuevos fármacos para tratar las infecciones bacterianas.

Como puedes ver, el cambio global tiene un impacto directo en este fenómeno, que involucra la sostenibilidad ambiental y la salud pública. La colaboración de científicos, formuladores de políticas, profesionales de la salud y de la sociedad en su conjunto será necesaria para frenar la propagación de estos organismos y preservar la eficacia de los antibióticos, con el fin de lograr planes de acción efectivos a nivel local, regional y global que involucren a toda la sociedad.

Referencias consultadas

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Amábile-Cuevas, C. F. (2010). Antibiotic resistance in Mexico: A brief overview of the current status and its causes. *Journal of Infection in Developing Countries*, 4(3), 126–131. <https://doi.org/10.3855/jidc.427>
- Becattini, S., Taur, Y., & Pamer, E. G. (2016). Antibiotic-induced changes in the intestinal microbiota and disease. *Trends in Molecular Medicine*, 22(6), 458–478. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2016.04.003>
- Cryan, J. F., O’Riordan, K. J., Cowan, C. S. M., Sandhu, K. V., Bastiaanssen, T. F. S., Boehme, M., Codagnone, M. G., Cusotto, S., Fulling, C., Golubeva, A. V., Guzzetta, K. E., Jaggar, M., Long-Smith, C. M., Lyte, J. M., Martin, J. A., Molinero-Perez, A., Moloney, G., Morelli, E., Morillas, E., ... Dinan, T. G. (2019). The microbiota-gut-brain axis. *Physiological Reviews*, 99(4), 1877–2013.
- Rodríguez-Verdugo, A., Lozano-Huntelman, N., Cruz-Loya, M., Savage, V., & Yeh, P. (2020). Compounding Effects of Climate Warming and Antibiotic Resistance. *IScience*, 23(4), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101024>
- Zheng, D., Yin, G., Liu, M., Hou, L., Yang, Y., Van Boeckel, T. P., Zheng, Y., & Li, Y. (2022). Global biogeography and projection of soil antibiotic resistance genes. *Science Advances*, 8(46), 1–13. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abq8015>

Sobre los autores

Biólogo Christopher Alejandro Salas Butrón. Especialista en la síntesis de la literatura científica y en la aplicación de la ecología genómica a diversos ecosistemas, con un énfasis particular en el estudio de virus patógenos y en la bioinformática. Email: christopheral122498@gmail.com.

Biólogo Miguel Alejandro Maldonado Gordillo. Profesor de asignatura, su enfoque se desarrolla en la docencia, en nuevas metodologías de aprendizaje y en la inmunogenómica, adscrito a la Escuela Nacional Preparatoria; División de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería y Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Medicina. Email: miguel.maldonado@enp.unam.mx.

Dr. Ricardo Iván Cruz Cano. Profesor de Carrera Asociado: su enfoque se centra en el eDNA ambiental (eDNA), la ecología genómica, la ecología de sistemas acuáticos, la ecofisiología, la metagenómica y la bioinformática, y está adscrito a la División de Investigación y Posgrado de la FES Iztacala.

Email: cruzcanor@ciencias.unam.mx.

