



Investigación UCR

## Tres estudios alertan que las bacterias se están volviendo más resistentes a los desinfectantes

El exceso de uso de uno de los compuestos químicos más usados en la industria de los productos desinfectantes, el cloruro de benzalconio, está incentivando la resistencia de bacterias dañinas para el ser humano

14 NOV 2023 Salud

Tres investigaciones, [una publicada en el 2021](#) y [dos en el 2023](#), son contundentes: **los microorganismos ambientales ya muestran sus primeras resistencias a los productos desinfectantes**, especialmente, a uno de los compuestos químicos más utilizados en el mundo: el cloruro de benzalconio (BAC). Este hecho, a largo plazo, podría afectar negativamente la salud humana.

Así lo reveló recientemente la **Dra. Luz Chacón Jiménez**, microbióloga de la Universidad de Costa Rica (UCR), quien lideró los estudios con un amplio equipo de once científicos nacionales e internacionales como parte de su Programa de Doctorado en Ciencias, del [Sistema de Estudios de Posgrados \(SEP-UCR\)](#).

Dentro de ese grupo de destacados especialistas sobresalen **Keilor Rojas Jiménez**, biólogo de la UCR; **María Arias Andrés**, de la Universidad Nacional; y **Alexandro Rodríguez Rojas**, cuando ejercía para el Instituto de Biología de la Universidad Libre de Berlín, Alemania.

De acuerdo con la Dra. Chacón, los estudios se enfocaron en ir a una planta de tratamiento de aguas residuales de Costa Rica con el fin de recolectar y analizar tanto **el líquido presente como los lodos activados** —materia usada para purificar el agua residual—. Los resultados encontrados no fueron alentadores.

El primer estudio, el del 2021, reveló **cambios en el grupo de bacterias alojadas** en los lodos activados de la planta de tratamiento después de su exposición al BAC. Además, a nivel genético, dichas bacterias mostraron un aumento significativo en dos variantes de un gen relacionado con la resistencia al químico, probablemente, **debido a la exposición constante a esa sustancia desinfectante**.

Incluso, hasta se identificó que una, de cada diez bacterias que vivían en esos lodos, **portaba un gen que les permitía "coger" genes de resistencia** y guardarlos dentro de su material genético.

Los estudios de este 2023 no se alejaron de esa realidad y terminaron por comprobar que, en efecto, la descarga excesiva de desinfectantes, entre ellos los que poseen como principio activo el BAC, **están desencadenando respuestas de resistencia en los microorganismos ambientales que habitan en los sistemas acuáticos de las aguas residuales**.

“Desde el 2013 nos interesaba indagar qué estaba pasando con las aguas residuales de Costa Rica. Al inicio buscamos patógenos. En eso, nos llamó la atención ver que las aguas que ingresaban a las plantas estaban llenas de desinfectante. Ahí nos preguntamos qué efecto podría ocasionar esto al ambiente y a la salud, para lo cual decidimos analizar el cloruro de benzalconio. Este compuesto es el que más se utiliza a nivel mundial y su uso aumentó todavía más después de la pandemia. **El primer resultado que nos sorprendió fue ver que el BAC sí estaba alterando la comunidad microbiana y sus genes de resistencia asociados a los desinfectantes**. Esto puede generar serias implicaciones a largo plazo”, comentó la Dra. Chacón.

Ahora bien, ¿cuál podría ser una de esas implicaciones? Justamente, que **los productos desinfectantes empiecen a ser menos efectivos para matar a las bacterias**.

“En primer lugar, es muy probable que ninguna persona piense que al usar un desinfectante está contaminando. La realidad es que sigue siendo un **producto químico como cualquier otro que, al ser usado en exceso y descartado en las aguas residuales, tiene un efecto sobre el ambiente**. En las bacterias de los ecosistemas acuáticos se pueden activar mecanismos muy similares a los que generan resistencia a los antibióticos. Esto tiene implicaciones para la salud humana y del ambiente, efectos en la evolución de algunos grupos particulares de bacterias y alteraciones en la ecología por el cambio en las abundancias de los grupos de bacterias respecto a un ambiente no contaminado”, indicó Keilor Rojas.

“El trabajo de la Dra. Chacón inicia un proceso de comprensión sobre qué puede suceder cuando las bacterias están expuestas a sustancias como los desinfectantes. En ese trabajo se indica que esas bacterias, con potencial patogénico, pueden estar ahí acechando y comprometiendo la salud humana, animal y el equilibrio de los ecosistemas”.

Dr. Alexandro Rodríguez Rojas.



En el 2015 se efectuaron las primeras recolecciones de lodo activado. En ese mismo año se hizo una primera determinación de la cantidad de cloruro de benzalconio que había en dichas muestras. En esta primera parte se contó con el apoyo del Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA-UCR).

---

## Resistencia cruzada

Por supuesto, la posible pérdida de eficacia y eficiencia de los desinfectantes no sería el único impacto. La resistencia generada por las bacterias ante esos productos de limpieza también podría agudizar, de manera indirecta, **la problemática de la resistencia a los antibióticos que actualmente vive el mundo.**

De acuerdo con la última [Revisión de la Resistencia Antimicrobiana](#) del Reino Unido, actualmente **700 000 personas mueren** cada año por la resistencia a los antibióticos. Si el hecho no cambia, en el 2050 la problemática cobraría la vida de **más de 10 000 000 de personas en el mundo.**

¿El motivo? Sencillo. La ciencia explica que las bacterias expuestas a elevadas cantidades de una sustancia que las amenaza las obliga a iniciar una lucha por la supervivencia. Durante ese proceso, **los microorganismos llevan al máximo sus mecanismos para evadir el daño y subsistir.**

Esa respuesta es similar tanto para las sustancias desinfectantes como para los antibióticos. Por eso, cuando un grupo de bacterias genera resistencia a un desinfectante, **también está muy cerca de crear resistencia a los antibióticos.**

Básicamente, es como si la bacteria aprendiera que la forma para defenderse del **enemigo A (desinfectante)** también podría servir para enfrentarse al **enemigo B (antibiótico)**. En el

campo de la salud a esto se le denomina resistencia cruzada y fue un dato muy bien explicado por la Dra. Chacón y el Dr. Rojas [en un artículo científico publicado en el 2020](#).

“La resistencia a los antibióticos es un problema de salud pública que nos compete a todos. En algún momento no vamos a tener antibióticos que funcionen para eliminar los microorganismos que tenemos. Entonces, cuando vemos que hay resistencia a aminas cuaternarias –productos químicos desinfectantes potentes– **sabemos que esto viene muy de la mano con la resistencia a los antibióticos. Esto es una alerta que hay que tomar en cuenta**”, explicó la Dra. Chacón.



El Dr. Rodríguez considera este trabajo como una investigación pionera sobre cómo se pueden abordar los temas de la resistencia a los desinfectantes y antibióticos. "La Dra. Chacón y los demás colegas de la UCR han hecho un trabajo impresionante y, sobre todo, con un compañerismo y una humanidad envidiable", afirmó el científico.

---

## ¿Y el riesgo se podría agudizar?

Si no se toman medidas a tiempo, **probablemente sí**. En el caso costarricense, esa resistencia se puede exacerbar y extender por la forma en cómo se gestionan los líquidos desinfectantes ya utilizados en el país.

Esos desechos líquidos, por lo general, se depositan en las plantas de tratamiento y, después de muchos procesos de limpieza, **son liberados al medio ambiente**.

Lo que pasa, explicó la microbióloga, es que **el tratamiento no elimina al 100 % todas las bacterias de las aguas residuales** y, como consecuencia, el agua con los microorganismos resistentes que no se descartaron en el proceso salen al exterior.

A ese desafiante fenómeno se le debe agregar otro igual de retador: **los lodos activados**. Los científicos encontraron que estos lodos, usados para purificar el agua, pueden conservar el BAC durante períodos prolongados.

El BAC se integra al lodo y se absorbe hasta en un 95 % en tan solo unas pocas horas. Como si eso no fuera suficiente, la degradación del BAC en sólidos es aproximadamente **20 veces más lenta que en la fase líquida**.

Es decir, el lodo activado (el elemento que debería reducir considerablemente las bacterias perjudiciales del agua residual) al conservar el BAC por tanto tiempo se convierte **en un aliado más que incentiva la generación de bacterias resistentes**.

“La interacción de cargas eléctricas hace que el BAC se absorba (se pegue) fuertemente a las arcillas de los lodos activados. Esto hace muy difícil su degradación natural. La alta persistencia de la molécula en los lodos activados provoca que la exposición a las comunidades de microorganismos sea por períodos prolongados, **hasta un punto que las bacterias de ese ecosistema se acostumbran a vivir en esas condiciones**. Por eso, cuando aislamos microorganismos de los lodos y los expusimos al BAC, no le hicimos ni cosquillas”, comentó el Dr. Rojas.

Ahora bien, al encontrar que en los lodos activados tenían BAC en concentraciones de miligramos por litro, la Dra. Chacón se planteó la siguiente pregunta: **¿qué podría pasar con un microorganismo que vive normalmente en ese lodo activado y sale de la planta de tratamiento al ambiente para seguir viviendo?** La respuesta la encontró rápidamente.

La especialista señaló que muchas de esas aguas tratadas son liberadas a ríos que, a su vez, se usan con fines de fertilización. **Un ejemplo está en regar los campos de cultivo**. Por lo tanto, es posible que se llegue a usar un tipo de agua tratada que trae consigo bacterias más resistentes que, eventualmente, quedarán impregnadas en suelos, frutas y vegetales de consumo.

Dichos alimentos, al ser ingeridos, pueden hacer que las bacterias que residen dentro del cuerpo humano también aprendan a generar esa misma resistencia. De ahí el riesgo de que, a la hora de que la persona enferme y deba tomar un antibiótico, **este medicamento no brinde el efecto deseado a favor de la salud del paciente**.

“Al utilizar diferentes sustancias desinfectantes, estamos haciendo que las bacterias sean tan versátiles que incluso, en altas concentraciones de desinfectantes, pueden crecer en grandes cantidades. Por lo tanto, hay una implicación para la salud. **Es como echarle agua a la bacteria, no le hace nada**. Esto hace que nos empecemos a quedar sin herramientas en variedad de campos, desde la industria alimentaria hasta para la limpieza de ambientes hospitalarios y del hogar”, reflexionó la Dra. Chacón.



“Se reconoce que la resistencia a los antimicrobianos se origina en el medio ambiente, donde las aguas, el suelo y otros sitios pueden proporcionar un acervo genético inigualable con una gran diversidad que puede superar la de la microbiota animal y humana. En consecuencia, la contaminación antimicrobiana contribuye a la evolución de la resistencia basada en mutaciones”, se cita en el artículo científico

---

## ¡Muchas mutaciones!

Otro de los hallazgos más sobresalientes de los estudios fue hallar cómo los microorganismos ambientales desarrollaron la resistencia a los productos desinfectantes. **La respuesta es que muchas de esas bacterias lo hicieron mediante mutaciones.**

En total, se identificaron **15 762 mutaciones asociadas** con el transporte, la resistencia a los antimicrobianos y las proteínas de la membrana externa, además de un nuevo orden en el genoma.

Para descubrir lo anterior, las y los científicos utilizaron como muestra una cepa de *Aeromonas hydrophila* 100 % costarricense. A ese patógeno lo denominaron **INISA09**, en honor al [Instituto de Investigaciones en Salud de la UCR](#) (Inisa-UCR), y desde un inicio mostró que podía sobrevivir a altas cantidades de BAC. ¡INISA09 era el anzuelo perfecto de análisis!

Con esa bacteria, el equipo de la UCR logró encontrar cuáles fueron los mecanismos de resistencia más importantes generados por las bacterias. **Los resultados fueron sorprendentes.**

Primero, al secuenciar el genoma, INISA09 mostró **ser muy diferente a las otras 52 *Aeromonas* encontradas en el planeta** que están científicamente caracterizadas.

Asimismo, evidenció tener ciertas adaptaciones para resistir la presión que las sustancias desinfectantes ejercían sobre ella.

“Comparamos a INISA09 con otra cepa de *Aeromonas* y con eso supimos que su genoma estaba acomodado diferente y que acumulaba mutaciones, pequeños cambios de nucleótidos que se llaman polimorfismos. INISA09 de forma natural había hecho adaptaciones para resistir al BAC. **Esto la llevó a cambiar su estructura superficial, su membrana y a modificar muy rápidamente su metabolismo para sobrevivir al desinfectante**”, ahondó la Dra. Chacón.

En la Universidad de Berlín se llevaron a cabo dos ensayos para analizar lo anterior y profundizaron cómo respondía el aislamiento de *Aeromonas hydrophila* al cloruro de benzalconio en diferentes concentraciones. **Gracias a estos análisis se conocieron las armas de la bacteria, su aspiración y su evolución conseguida.**

*Aeromonas hydrophila* es un organismo modelo porque “abunda en entornos acuáticos y es una bacteria ambiental que puede causar infecciones en humanos y animales. Este género se ha estudiado por varias razones, entre ellas su relevancia clínica, su capacidad para adaptarse a distintos entornos y su potencial para adquirir mecanismos de resistencia. Si bien estos mecanismos pueden variar entre las distintas especies bacterianas, **también hay patrones comunes que sirven como guía para enfrentar nuevos mecanismos de resistencia**”, aclaró el Dr. Alexandro Rodríguez Rojas, cuando ejercía para el Instituto de Biología de la Universidad Libre de Berlín.



“Los microorganismos pueden venir doblemente blindados: resistentes a las sustancias desinfectantes de uso común y a ciertos antimicrobianos. A largo plazo esto nos va a golpear en la cara y no vamos a tener suficientes herramientas para lidiar con ciertos microorganismos patógenos”.

Dra. Luz Chacón Jiménez.

---

## El apoyo

El estudio del efecto del cloruro de benzalconio en comunidades microbianas se financió a través de los fondos FES-CONARE 2014 (el proyecto premiado se llamaba "Desarrollo de plataformas y protocolos generales para el análisis de datos genómicos, metagenómicos y transcriptómicos de modelos biológicos complejos usando técnicas computacionales, matemáticas y estadísticas", coordinado por el Dr. Fernando García Santamaría.

La caracterización de *Aeromonas hydrophila* se hizo con fondos ordinarios de la Vicerrectoría de Investigación en el proyecto B7255: "Mecanismos de resistencia a los desinfectantes y a los antibióticos en microorganismos aislados de plantas de tratamiento de aguas residuales del Gran Área Metropolitana, Costa Rica".

Finalmente, la pasantía realizada por la Dra. Chacón en la Universidad Libre de Berlín fue financiada por el Servicio de Intercambio Académico Alemán (DAAD) y la UCR.

## El siguiente paso

Para la Dra. Chacón, este estudio abre nuevas oportunidades de investigación. Un ejemplo está en **analizar la presencia de productos farmacéuticos en las aguas residuales** de las plantas de tratamiento.

Actualmente, se cree que a las aguas residuales están llegando fármacos diluidos, con la posibilidad de que estén incentivando **nuevas formas de resistencia bacteriana**.

“Es muy necesario continuar investigando. Ver las implicaciones ahora, en el corto plazo, es difícil. Lo que probablemente empecemos a ver es una escalada a nivel clínico de resistencia a los antimicrobianos con infecciones cada vez más difíciles de tratar. **Estamos generando espacios perfectos para que estos microorganismos evolucionen antes de salir al ambiente y multiplicarse**. Por lo tanto, debemos tomar medidas preventivas”, acotó la microbióloga.

Y, por el momento, ¿qué se puede hacer? Las y los expertos son claros: **el secreto está en usar menos sustancia a fin de minimizar la cantidad de microorganismos multirresistentes**. En medio de este desafiante panorama, esta es una excelente noticia.

La resistencia a los desinfectantes y a los antibióticos depende de la cantidad de sustancia que se encuentre en el ambiente. Así, si se minimiza el uso de estos químicos, **las bacterias vivirán más relajadas porque no hay nada que justifique la necesidad de ponerse a la defensiva**.

“Es muy difícil eliminar de un día para otro el uso de estas sustancias y, más aún, cambiar las costumbres de las personas. **Sin embargo, hay algunas cosas que se podrían hacer**. Primero, usar dosis más bajas del compuesto. Segundo, rotar el uso del BAC con otros compuestos como peróxido de hidrógeno, ácido cítrico, cloro y etanol. Tercero, incentivar que el diseño de las plantas de tratamiento de aguas cuente con una fase extra enfocada en la bioremediación de estos contaminantes emergentes como el BAC y residuos de compuestos farmacéuticos, cuyos efectos en el ambiente apenas estamos empezando a observar”, manifestó el Dr. Rojas.

La Dra. Chacón aporta algo similar. “La principal recomendación es usar el desinfectante cuando se requiera. **Está bien que usted lo use para bajar la carga microbiana, pero hágalo con medida**. No vale la pena, por ejemplo, coger desinfectante para lavar una acera. Esto es completamente innecesario, se usa mucho volumen y ni siquiera va la planta, cae directamente en alcantarilla y probablemente en un río. Por lo tanto, **antes de usar un desinfectante piense si realmente lo necesita y no solo porque huele rico**. Estamos hablando de un uso consciente”, enfatizó la Dra. Chacón.

Además de las formas mencionadas por el Dr. Rojas, otras están en sustituir de vez en cuando el desinfectante por jabón o cloro diluido.

**Lea todos los artículos científicos en profundidad en**

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34874898/>

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2023.1180128/full>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.202300056?af=R>

# Recomendación de políticas públicas

Para hacer frente a la creciente amenaza de la resistencia a los desinfectantes y antibióticos y mejorar el tratamiento del agua, el Dr. Alexandro Rodríguez Rojas recomienda lo siguiente:

1. Poner en marcha un sólido sistema nacional de vigilancia para controlar la prevalencia y las tendencias de la resistencia a los desinfectantes y antibióticos en entornos humanos, animales y medioambientales. Entre ellos, establecer mecanismos para la notificación oportuna de los datos de resistencia procedentes de los centros sanitarios, las prácticas veterinarias y los organismos de vigilancia ambiental.
2. Aplicar una normativa estricta sobre la venta y el uso de antibióticos, tanto en medicina humana como veterinaria, para evitar el uso excesivo y el abuso, así como en los mismos desinfectantes que están poco regulados y contaminan más el medio ambiente que los propios antibióticos. Promover el uso prudente de los antibióticos mediante campañas educativas dirigidas a los profesionales sanitarios, los veterinarios y el público en general es necesario.
3. Asignar fondos a la investigación de nuevos antibióticos, desinfectantes y agentes antimicrobianos alternativos para combatir la resistencia. Es necesario fomentar las asociaciones entre organismos gubernamentales, instituciones de investigación y empresas farmacéuticas para acelerar el desarrollo de nuevos agentes antimicrobianos.
4. Introducir mejoras en el tratamiento de las aguas para lo que habría que invertir en la mejora y modernización de las plantas de tratamiento del agua, a fin de garantizar la eliminación eficaz de los contaminantes, incluidos los antibióticos y los desinfectantes.
5. Aplicar tecnologías avanzadas de tratamiento del agua para mejorar la eliminación de residuos antimicrobianos de las aguas residuales. La gestión de las aguas residuales implica establecer normativas para la correcta eliminación de residuos farmacéuticos y desinfectantes para evitar su liberación al medio ambiente. De igual forma, se puede promover el desarrollo y la aplicación de tecnologías eficientes de tratamiento de aguas residuales para reducir la carga medioambiental de los residuos antimicrobianos.
6. Favorecer la colaboración internacional. Costa Rica podría ser líder para mostrar el camino a otros países, como ya lo es en otras esferas medioambientales. Para ello es necesario proporcionar incentivos normativos orientados al desarrollo y a la comercialización de nuevos agentes antimicrobianos, desinfectantes y tecnologías de tratamiento del agua.



[Jenniffer Jiménez Córdoba](#)  
Periodista Oficina de Comunicación Institucional  
Área de cobertura: ciencias de la salud  
[jenniffer.jimenezcordoba@ucr.ac.cr](mailto:jenniffer.jimenezcordoba@ucr.ac.cr)

