



# "Contaminantes emergentes y el desafío del monitoreo ambiental en Chile"

Ricardo Salazar-González



@HIDRORICARDO



 ricardo.salazar@uc.cl

 @hidroricardo

 Ricardo Salazar-González



**Centro UC**  
Derecho y Gestión  
de Aguas

*impulsando sinergias  
y soluciones*

*"El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza"*  
*Leonardo Da Vinci.*

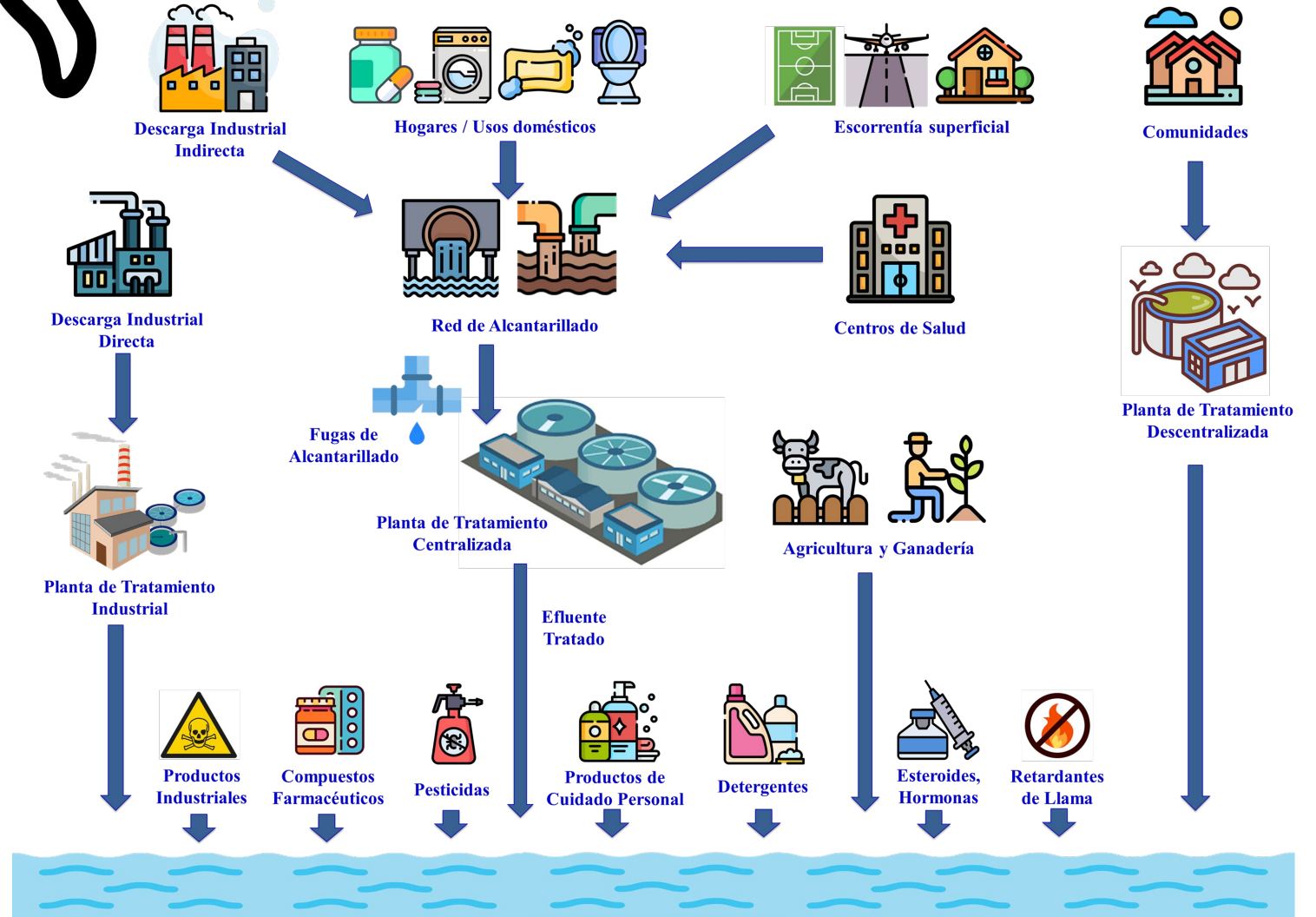


La crisis del agua ya  
no es solo cantidad.

También es calidad



# Contaminantes emergentes



# Plantas Depuradoras



# Plantas Depuradoras

Una planta de tratamiento de agua residual es un conjunto de estructuras y unidades en donde se remueven total o parcialmente los contaminantes contenidos en el agua.

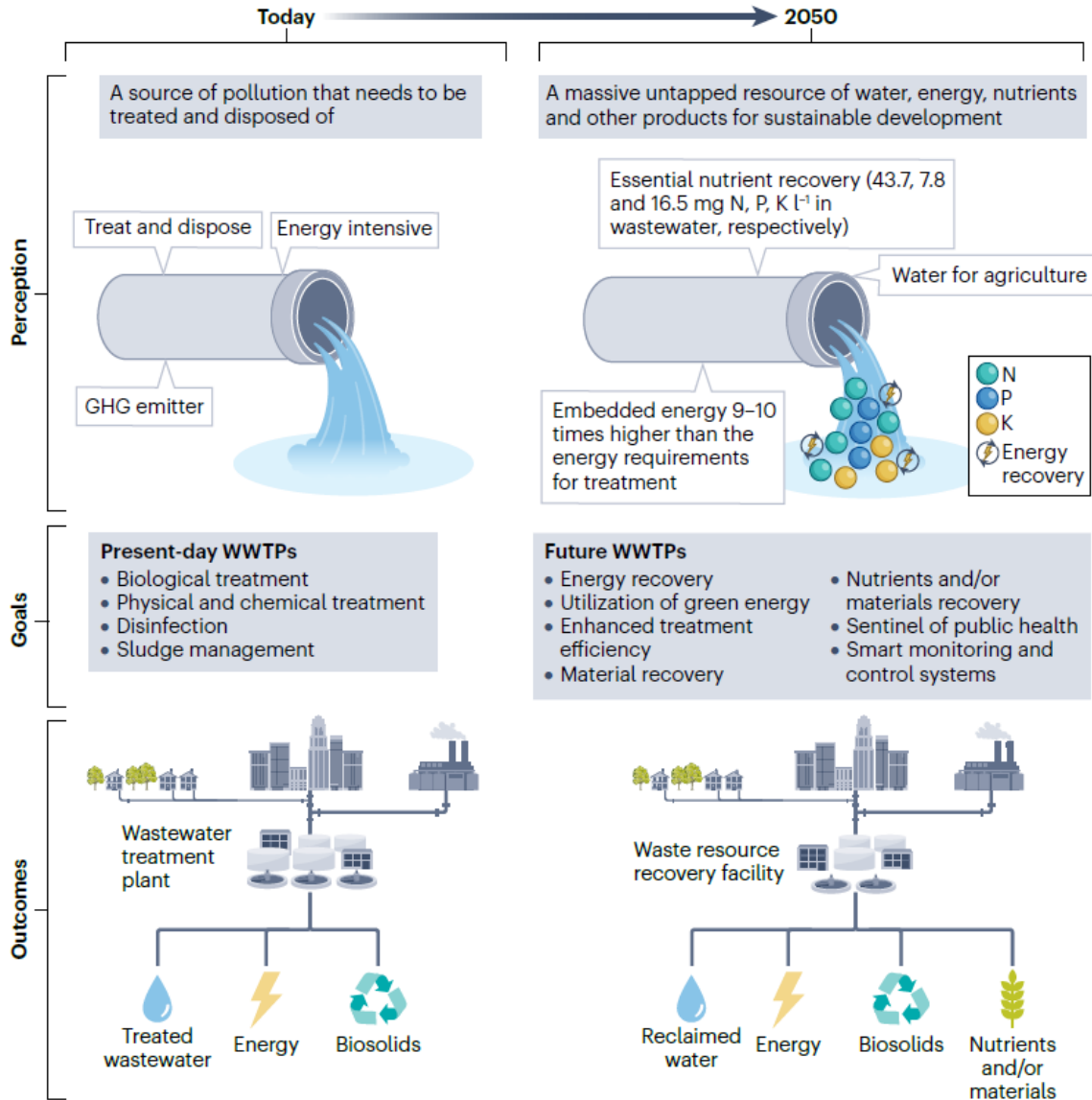
Esto se logra mediante la utilización de diversos procesos, dispuestos en orden creciente de complejidad o combinados, así como variantes de estos que pueden ser aprovechados para lograr requerimientos específicos de tratamiento a bajo costo y con alta eficiencia.

Se pueden identificar cuatro objetivos generales del tratamiento:

- 1) Para evitar la contaminación del cuerpo receptor.
- 2) Para producir mediante tratamiento, un efluente cuyas características permitan su reutilización.
- 3) Para cumplir con la normatividad ambiental vigente.
- 4) Para la protección de flora y fauna.

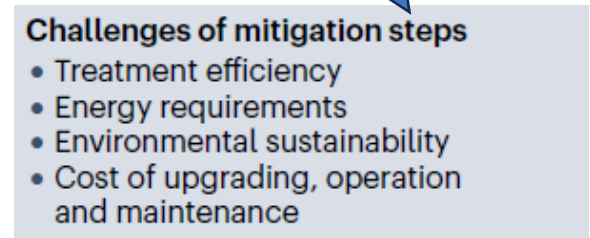
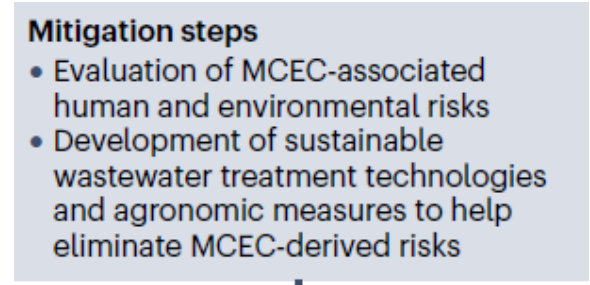
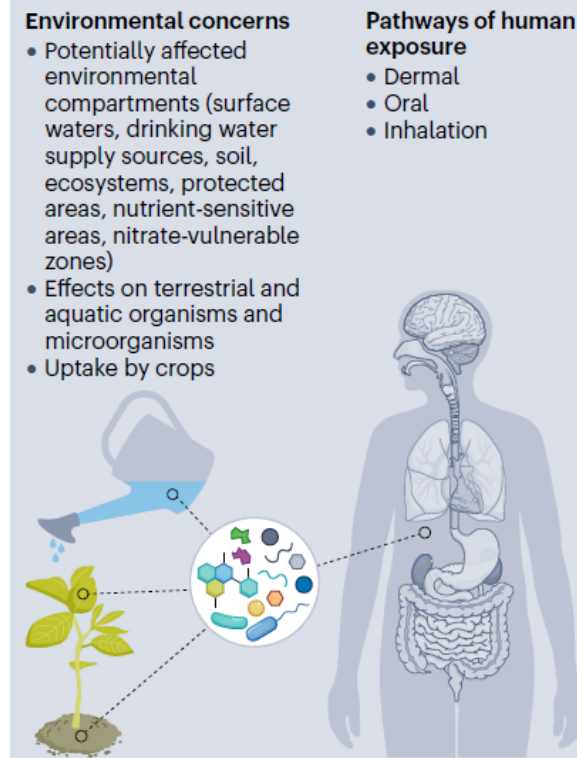
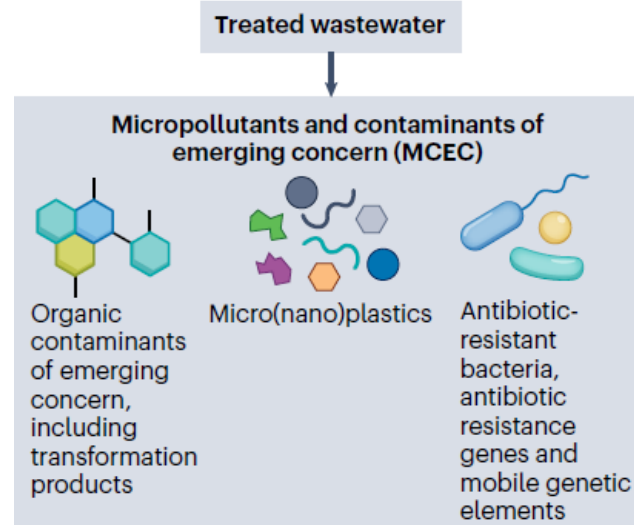


# Potencial para transformar el sector del tratamiento de aguas residuales en un marco de economía circular.



**"Las aguas residuales deben considerarse un recurso que debe utilizarse".**

# Desafíos y limitaciones en la reutilización de aguas tratadas



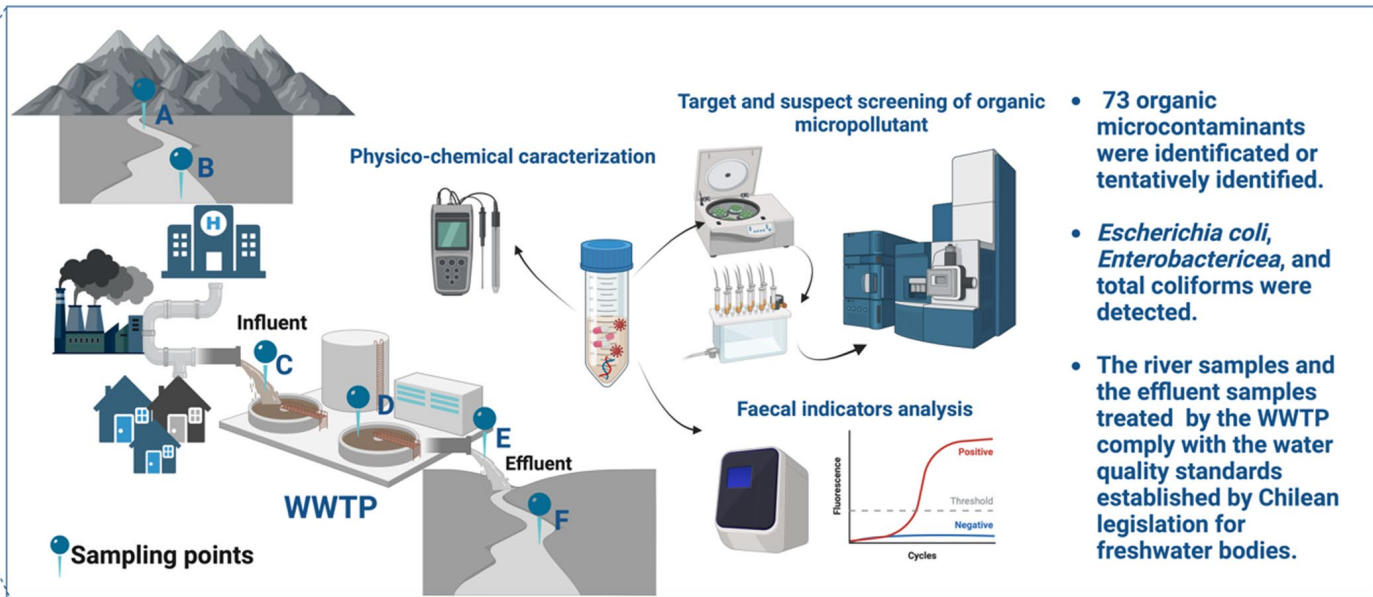
**Las aguas residuales contienen contaminantes recalcitrantes que son tóxicos, y su tratamiento es complejo.**



$\mu\text{g L}^{-1}$  o  $\text{ng L}^{-1}$

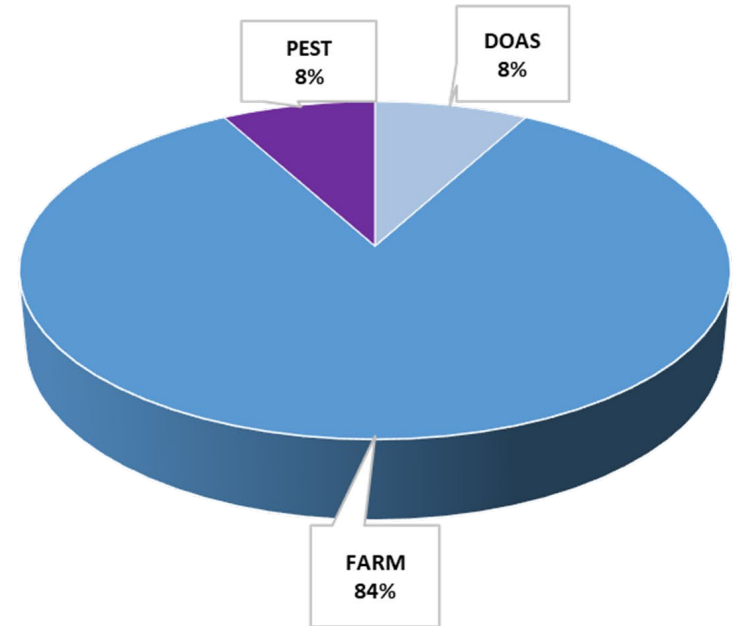
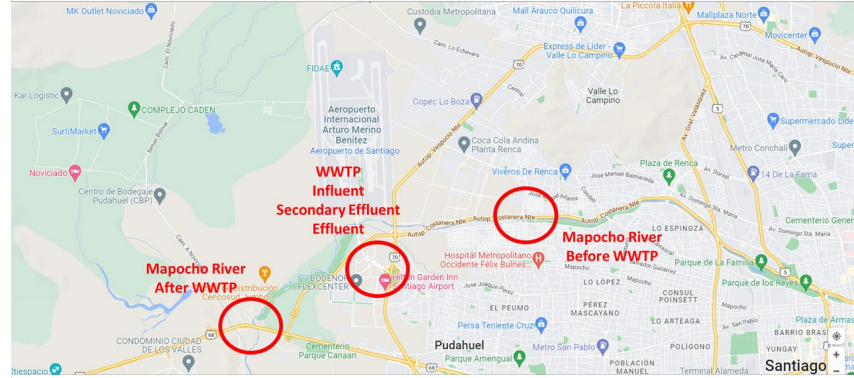
0,000001 o 0,00000000001 gramos en 1 Litro



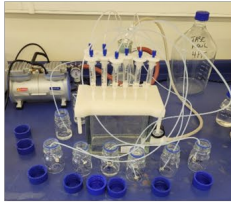


- 73 organic microcontaminants were identified or tentatively identified.
- *Escherichia coli*, *Enterobacteriaceae*, and total coliforms were detected.
- The river samples and the effluent samples treated by the WWTP comply with the water quality standards established by Chilean legislation for freshwater bodies.

Assessment of Contaminants of Emerging Concern and antibiotic resistance genes in the Mapocho River (Chile): A Comprehensive Study on Water Quality and Municipal Wastewater Impact. José Herrera-Muñoz, María Ibáñez, Wendy Cazadilla, Alejandro Cabrera-Reina, Verónica García, Ricardo Salazar-González, Félix Hernández, Marina Campos-Mañas, Sara Miralles-Cuevas. Science of the Total Environment. Volume 954, 1 December 2024, 176198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176198>



1.- Solid-phase extraction



2.- Drying with MeOH:H<sub>2</sub>O



3.- Reconstitution

4.- Identification and Quantification by



UHPLC-HRMS  
Target screening  
Suspect screening

UHPLC-QqQ MS:  
Pharmaceuticals  
Pesticides  
Drugs of abuse

Determination of CECs

Estudio realizado en 258 afluentes en todo el planeta:

# El Mapocho está entre los ríos más contaminados por restos de productos farmacéuticos

Pese a contar con sistemas de depuración, estos no eliminan este tipo de compuestos que, en más de un cuarto de los torrentes analizados, están en altas concentraciones que pueden dañar el ambiente y contribuir a la resistencia microbiana.

C. GONZÁLEZ

Un torrente microscópico de restos de analgésicos, antibióticos, antidepresivos, antihistamínicos y betabloqueadores son algunos de los fármacos que circulan por las aguas del río Mapocho. Así como por las del Danubio en Eu-



Los investigadores tomaron muestras del agua del río Mapocho en doce puntos diferentes, desde Farellones, hasta la desembocadura en el Malpo.

Miguelete (21 ng/l), en Montevideo, y el Matanza-Riachuelo (17 ng/l), en Buenos Aires, que están entre los 15 ríos más contaminados, pero con un mayor caudal.

Según el estudio, las mayores concentraciones se observaron en ríos del sur de Asia—el Ravi, en Pakistán, está en el primer lugar, con 71 ng/l—, de Sudamérica y del África subsahariana, sobre todo en países pobres, con una deficiente depuración de las aguas residuales o con fábricas de medicamentos.

No obstante, una cantidad importante proviene de los humanos. "Al consumir un medicamento, una parte del principio activo se metaboliza y el resto se elimina a través de la orina o las heces", explica Galbán. Esto implica un serio problema, ya que hay un abuso y mal uso de medi-

**PRODUCTOS QUÍMICOS DE PROTECCIÓN SOLAR Y LA VIDA MARINA**  
Cómo los productos químicos de protección solar entran en nuestro medio ambiente

Es posible que el protector solar que aplique no permanezca en su piel.

Cuando nadamos o nos duchamos, el protector solar puede lavarse y entrar en nuestras vías fluviales.

**Cómo los químicos de protección solar pueden afectar la vida marina:**

- Químicos en algunos protectores solares que pueden dañar la vida marina: 4-Metilbenzofenone, Octocrylene, Benzophenone-3, Octylsalicylate, Zinc oxide, Diethylhexyl Synterizone.
- Algas verdes: pueden afectar el crecimiento y la fotosíntesis.
- Coral: Se acumula en los tejidos. Puede inducir la decoloración, dañar el ADN, deformar a los jóvenes e incluso matar.
- Mejillones: Puede inducir defectos en los jóvenes.
- Erizos de mar: pueden dañar los sistemas inmunitario y reproductivo y deformar a las crías.
- Peces: Puede disminuir la fertilidad y la reproducción, y causar características femeninas en los peces machos.
- Delfines: pueden acumularse en los tejidos y transferirse a las crías.

## nature medicine

Explore content | About the journal | Publish with us

nature > nature medicine > brief communications > article

Brief Communication | Open access | Published: 03 February 2025

### Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains

Alexander J. Nihart, Marcus A. Garcia, Eliane El Hayek, Rui Liu, Marian Olewine, Josiah D. Kingston, Eliseo F. Castillo, Rama R. Gullapalli, Tamara Howard, Barry Bleske, Justin Scott, Jorge Gonzalez-Estrella, Jessica M. Gross, Michael Spilde, Natalie L. Adolph, Daniel F. Gallego, Heather S. Jarrell, Gabrielle Dvorscak, Maria E. Zuluaga-Ruiz, Andrew B. West & Matthew J. Campen

Nature Medicine 31, 1114–1119 (2025) | Cite this article

405k Accesses | 5482 Altmetric | Metrics



## VANGUARDIA MX

PREMIUM MÉXICO MUNDO COAHUILA SALTILLO OPINIÓN ECONOMÍA SHOW DEPORTES FILC 2025 VIDA

### Fentanilo presente en los delfines del Golfo de México

INTERNACIONAL / 11 diciembre 2024



El estudio fue publicado en la revista científica iScience y en éste se analizaron 89 muestras de grasa corporal de delfines del golfo de México. FOTO: ESPECIAL

#### LO MÁS VISTO DE LA SECCIÓN

EL DÍA

Por primera vez un artículo científico describe la presencia en Chile de los fármacos del fentanilo. "Este fármaco, utilizado para tratar el dolor, también está en el agua de mar", dice el estudio. Los investigadores analizaron 89 muestras de grasa corporal de delfines del Golfo de México. El estudio fue publicado en la revista científica iScience y en éste se analizaron 89 muestras de grasa corporal de delfines del golfo de México. FOTO: ESPECIAL

#### Resultados de la investigación fueron publicados en la revista "Biological Research"

### Detectan tres bacterias resistentes a antibióticos en Concepción



El estudio muestra el uso de la investigación genética para rastrear las bacterias. Los investigadores analizaron 89 muestras de grasa corporal de delfines del Golfo de México. El estudio fue publicado en la revista científica iScience y en éste se analizaron 89 muestras de grasa corporal de delfines del golfo de México. FOTO: ESPECIAL

REPORTAJES

**Playas bajo amenaza de contaminación: más de 30 balnearios están ubicados en zonas donde se descargan aguas servidas**

El día: 7 de septiembre de 2023. | Las Últimas Noticias

**Alerta en Brasil: 13 tiburones dieron positivo de cocaína por primera vez en la historia**

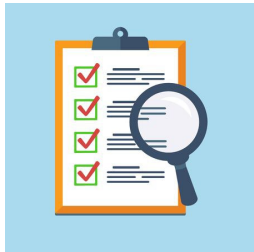
meganoticias.cl

Estudios globales dan cuenta del avance del fenómeno en múltiples países

## Resistencia a los antibióticos: ¿La próxima pandemia que acecha a la humanidad?

VIDA • CIENCIA • TECNOLOGÍA | @VCF, @Mencorla A9

# Medidas Complementarias ↓ Micro Contaminantes



➤ **Controlar la fuente**

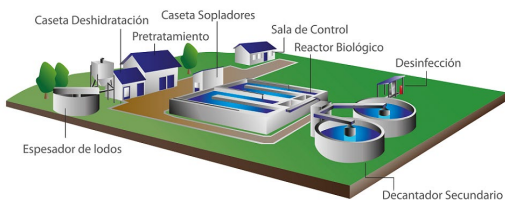


➤ **Restringir Compuestos**



➤ **Informar**

➤ **Mejorar el tratamiento de aguas residuales**



# La regulación actual no fue diseñada para este tipo de contaminantes.

## Problemas estructurales:

- Normativa basada en contaminantes clásicos
- Falta de estándares
- Falta de monitoreo
- Incertidumbre científica



NORMA DE EMISIÓN D.S. MINSEGPRES N°90/00

Temario

- Sistema ambiental en Chile
- Norma de Emisión D.S. MINSEGPRES N°90
- Competencias de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.



Normas Calidad > En elaboración

Normas Calidad | Normas Emisión | Planes

Tema ambiental	Tipo	Estado	Región	
[Todos]	[Todos]	En elaboración	[Todas]	Buscar

Nombre	Fecha Inicio del proceso	Estado Actual del Proceso	Gestiones Pendientes
Revisión Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Serrano			
Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas y sedimento marino de la Bahía de Mejillones			
Norma Secundaria de Calidad del Aire para SO2	4-dic-2025	Elaboración Proyecto Definitivo	
Norma Primaria de calidad ambiental para suelos de Chile			
Norma Primaria de Calidad del Aire para SO2	13-nov-2025	Elaboración Proyecto Definitivo	
Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas de la Cuenca del Lago Lanalhue, región del Biobío			
Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas y sedimentos del Golfo de Arauco			
Norma Secundaria de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable (MPS) en la cuenca del río Huasco	4-dic-2025	Elaboración Proyecto Definitivo	
Norma Primaria de Calidad del Aire para Plomo	4-sep-2025	Tramitación Final	Toma de razón por Contraloría General de la República - Publicación en Diario Oficial
Norma Primaria de Calidad del Aire para Ozono (O3)	12-nov-2025	Elaboración Proyecto Definitivo	
Revisión Norma de Calidad Primaria de MP2.5, D.S. N°12 de 2011	21-dic-2025	Tramitación Final	Ministerio Salud, presidencia y Contraloría General de la República
Norma Primaria de Calidad del Aire para Monóxido de Carbono (CO)	13-nov-2025	Elaboración Proyecto Definitivo	
Revisión Normas de calidad primaria para la protección de las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo ( D.S. N°143/2008 MINSEGPRES)			
Revisión Normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarias aptas para actividades de recreación con contacto directo ( D.S. N°144/2008 MINSEGPRES)			
Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Rahue	9-oct-2025	Elaboración de Anteproyecto	

**DECRETO 46** | ESTABLECE NORMA DE EMISION DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS SUBTERRANEAS

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA

**PROYECTO**  
*Monitoreo de Residuos de Antimicrobianos en  
Ecosistemas Acuáticos: Propuesta de Políticas Públicas  
en Vigilancia Ambiental*



**Ricardo Salazar González**  
Coordinador



**Patricia García Cañete**  
Co-investigadora



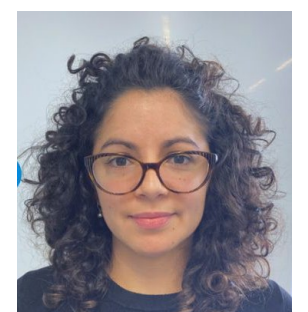
**Andrea Moreno Switt**  
Co-investigadora



**Cristian Paredes Kunst**  
Co-investigador



**Guillermo Donoso Harris**  
Co-investigador



**Wendy Calzadilla Aguiar**  
Co-investigadora

# CAUSES OF ANTIBIOTIC RESISTANCE



Antibiotic resistance happens when bacteria change and become resistant to the antibiotics used to treat the infections they cause.



Over-prescribing of antibiotics



Patients not finishing their treatment



Over-use of antibiotics in livestock and fish farming



Poor infection control in hospitals and clinics



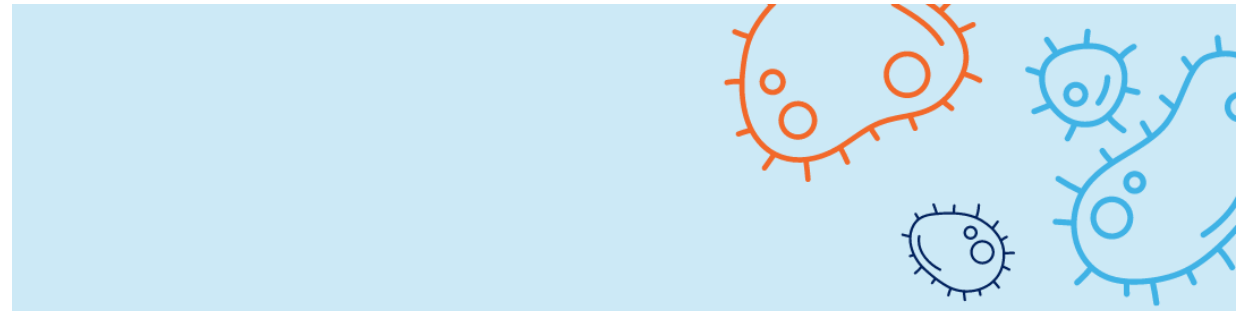
Lack of hygiene and poor sanitation



Lack of new antibiotics being developed

[www.who.int/drugresistance](http://www.who.int/drugresistance)

[#AntibioticResistance](https://twitter.com/AntibioticResistance)



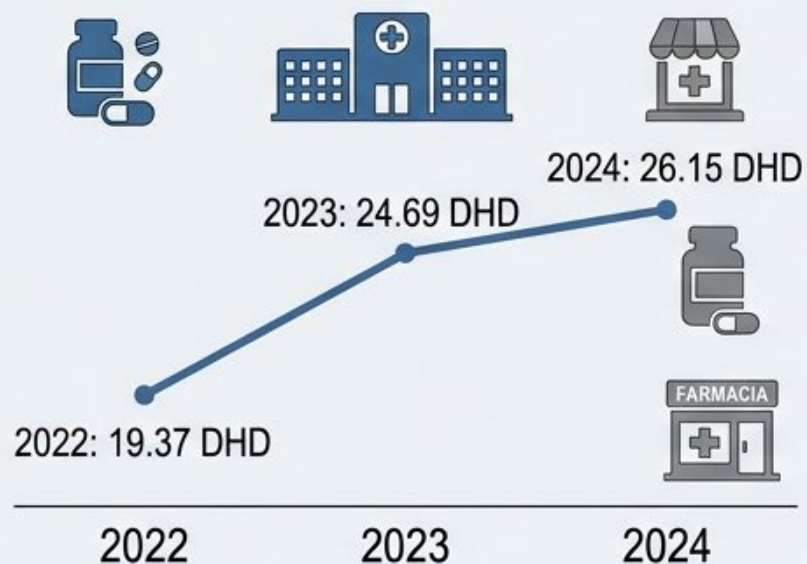
Between 2020 - 2030, an estimated

# 5.2 million deaths

will be caused by **drug-resistant bacterial infections** in the Western Pacific.

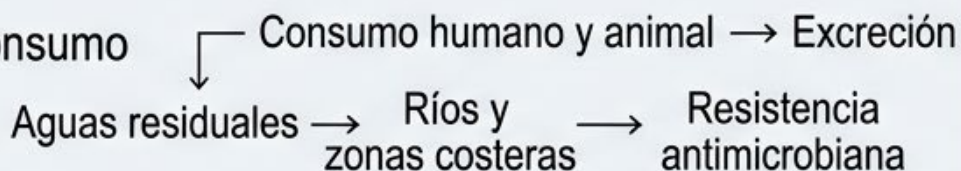


## Aumento del consumo de antimicrobianos en Chile



**+35% aumento** en el consumo  
(2022–2024)

Ministerio de Salud, Plan Nacional RAM, 2025



## Grupos más utilizados

-  Penicilinas  
(mayor consumo)
-  Macrólidos  
(aumento importante)
-  Quinolonas  
(alto impacto ambiental)

## Situación actual en Chile

- ✓ Monitoreo de consumo
- ✓ Plan Nacional RAM
- ✓ Programas PROA



- ✗ Sin monitoreo ambiental
- ✗ Sin información en ríos
- ✗ Sin información en aguas residuales
- ✗ Sin información en zonas costeras



Mayor consumo → Mayor presión ambiental → Necesidad de monitoreo ambiental  
Hacia un Sistema Nacional de Vigilancia Ambiental de Residuos Antimicrobianos

PLAN NACIONAL  
CONTRA LA RESISTENCIA  
A LOS ANTIMICROBIANOS  
CHILE 2021–2025

JUNTOS  
UNASALUD



Participan:

- Ministerio de Salud
- Ministerio de Economía a través del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura
- Ministerio de Agricultura
- Ministerios de Educación
- Ministerio de Medio Ambiente
- Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e Innovación



# Plan Nacional RAM Chile 2021–2025

## Enfoque “Una Salud” – Intersectorial

### Objetivos estratégicos/Logros:

#### 1. Concientización y formación

1. Educación comunitaria y en escuelas.
2. Capacitación de prescriptores y profesionales de salud.



#### 2. Vigilancia de la RAM

1. Sistema integrado en salud humana, animal, vegetal **y ambiente**.
2. Fortalecimiento de laboratorios y monitoreo de agentes críticos.



#### 3. Prevención y control de infecciones

1. IAAS y brotes comunitarios.
2. Producción animal, mascotas y sanidad vegetal.
3. Gestión adecuada de residuos con antimicrobianos.



#### 4. Regulación y monitoreo del uso

1. Uso prudente en humanos, animales y agricultura.
2. Programas PROA en hospitales y PROA-Salmón.
3. Fiscalización y reportes de consumo.



#### 5. Información e investigación

1. Acceso público a datos y reportes.
2. Fomento de investigación en RAM y patógenos ambientales.
3. Colaboración ciencia–Estado–sector productivo.

# INFORME SOBRE USO DE ANTIMICROBIANOS EN LA SALMONICULTURA NACIONAL

AÑO 2025

Gráfico 12 - Evolución del Índice de Consumo de Antimicrobianos a ciclo cerrado por región, años 2022-2025.

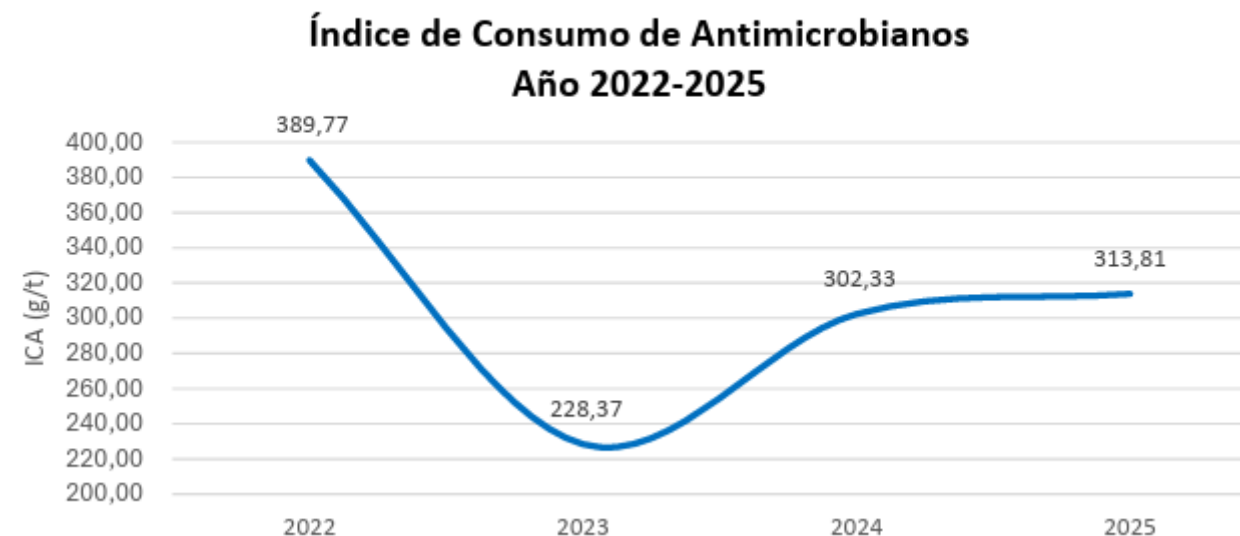


Tabla 8 - Índice de Consumo de Antimicrobianos PROA-Salmón por especie, ciclos cerrados año 2025.

Especie	N° de ciclos	Cantidad Antimicrobianos (kg)	Biomasa Muerta (t)	Biomasa Cosechada (t)	ICA (g/t)
Salmón del Atlántico	25	3.103,14	2.882,40	135.622,89	22,40
Salmón coho	43	520	3.673,69	126.792,75	3,99
Totales	68	3.623,14	6.556,08	262.415,64	13,47

## Uso de antimicrobianos en Chile (sources)



**442.236 kg** de antimicrobianos comercializados (2023)



**281.673 kg** anfenicoles (principalmente acuicultura)



**43.093 kg** penicilinas (principalmente ganadería)

SAG, 2023

## Infraestructura sanitaria en Chile (opportunity)



**98%** cobertura alcantarillado urbano



**100%** aguas servidas urbanas tratadas

Oportunidad para monitoreo de contaminantes emergentes

SISS, 2025

## Evidencia en ecosistemas acuáticos



**Río Mapocho**  
antibióticos detectados (sulfametoxazol, ciprofloxacino)



**Agricultura centro-sur**  
bacterias resistentes en riego y cultivos



**Lago Llanquihue**  
genes de resistencia detectados



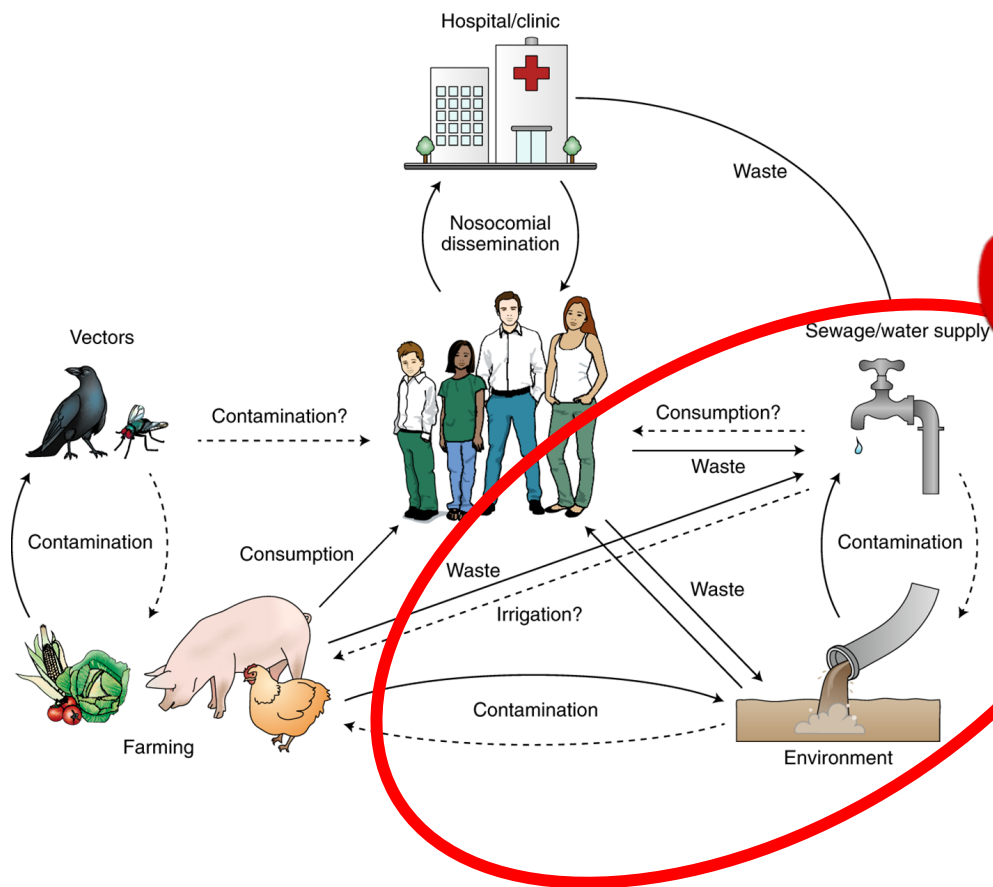
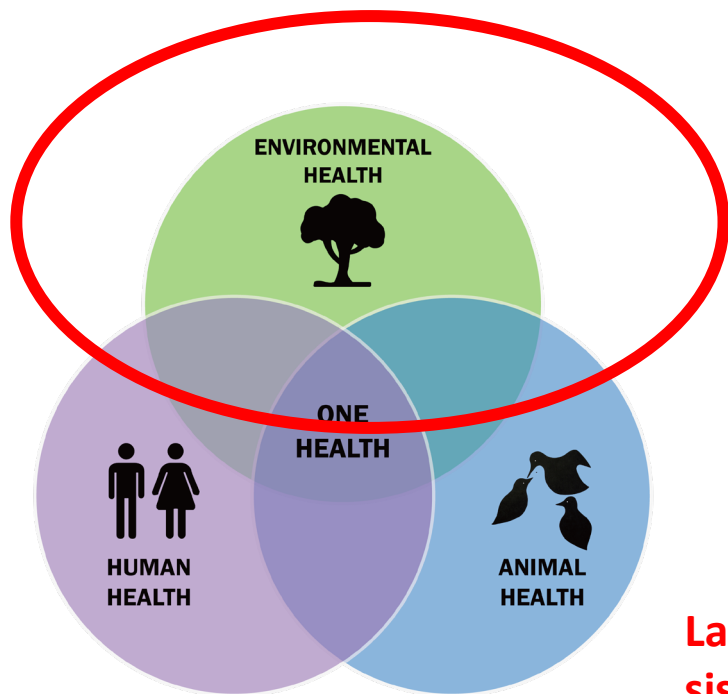
**Fiordos salmonicultura**  
florfenicol y oxitetraciclina



# Residuos de antimicrobianos y bacterias resistentes ya están presentes en ecosistemas acuáticos de Chile

Sin sistema nacional de monitoreo ambiental

## Vigilancia en la prescripción y el uso de los antimicrobianos en la industria de animales de producción terrestre y acuáticos, además de animales de compañía.



**Brecha ambiental**

La dimensión ambiental de la resistencia antimicrobiana permanece sin vigilancia sistemática, a pesar de existir evidencia científica de residuos de antibióticos y genes de resistencia en ríos, lagos, aguas residuales y ecosistemas costeros del país.



## **PROYECTO**

***Residuos de antimicrobianos en ecosistemas acuáticos: propuesta de políticas públicas en vigilancia ambiental***

### **Objetivo General:**

Impulsar un sistema integrado de monitoreo y vigilancia ambiental de antimicrobianos en Chile, que permita informar decisiones regulatorias, orientar la fiscalización y promover políticas públicas efectivas para proteger la salud y el ambiente.



## Metodología y Estrategia para avanzar en una Política Pública

El proyecto se desarrollará en tres etapas complementarias, orientadas a generar evidencia científica, fortalecer la gobernanza intersectorial y traducir los hallazgos en acciones regulatorias y de gestión ambiental.





## 1. Levantamiento de información y análisis de datos

- **Propósito:** Construir la primera línea base nacional sobre la presencia de antimicrobianos y genes de resistencia en aguas residuales y ecosistemas acuáticos.
- **Acciones principales:**
  - Muestreo en **plantas de tratamiento de aguas residuales** y ríos/mar, considerando tanto afluentes como efluentes.
  - Identificación de **compuestos prioritarios** y estimación de niveles de exposición ambiental.
  - Elaboración de una **Lista de Observación (LO)** de antimicrobianos relevantes para el contexto chileno, tomando como referencia experiencias internacionales (EPA, Unión Europea, OMS).
- **Contribución a política pública:** La información permitirá **definir zonas críticas de riesgo**, orientar la **fiscalización sectorial** y fundamentar la inclusión de parámetros ambientales en normas nacionales (DS 90, normas de calidad ambiental).



## 2. Monitoreo continuo y generación de evidencia territorial

- **Propósito:** Validar en terreno la aplicabilidad de la Lista de Observación y establecer un protocolo replicable de monitoreo ambiental a nivel nacional.
- **Acciones principales:**
  - Implementación de un **plan piloto de monitoreo estacional** en cuencas con distinta presión antropogénica (urbana, agrícola, acuícola, natural).
  - Desarrollo de una **base de datos georreferenciada** con resultados de antimicrobianos y parámetros asociados.
  - Estimación del **riesgo ecológico y sanitario**, mediante indicadores simplificados para uso regulatorio.
- **Contribución a política pública:** Esta etapa permitirá diseñar un **sistema de vigilancia ambiental permanente**, con datos abiertos que puedan integrarse a la vigilancia clínica (ISP, MINSAL) y veterinaria (SAG), avanzando hacia una estrategia integrada *One Health*.



## Recomendaciones técnicas y concientización nacional

- **Propósito:** Traducir la evidencia en **acciones regulatorias, normativas y de gobernanza intersectorial.**
- **Acciones principales:**
  - Elaboración de un **informe técnico de recomendaciones**, con propuestas de límites máximos permisibles, estándares de tratamiento en PTAR y criterios de gestión de residuos antimicrobianos.
  - Generación de **lineamientos normativos y regulatorios** para su discusión en instancias ministeriales y legislativas.
  - Desarrollo de **estrategias de comunicación y educación pública**, dirigidas tanto a tomadores de decisión como a ciudadanía, incluyendo campañas de uso responsable y recolección segura de medicamentos.
  - Conformación de **mesas técnicas intersectoriales** (MINSAL, SAG, MMA, MinCiencia, MINEDUC) para validar propuestas y definir una hoja de ruta hacia la implementación de un programa nacional de vigilancia ambiental.
- **Contribución a política pública:** Esta etapa asegura que el conocimiento generado se transforme en **herramientas efectivas de regulación, prevención y gestión**, fortaleciendo la respuesta del Estado frente a la resistencia antimicrobiana desde la dimensión ambiental.

# Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental de Residuos de Antimicrobianos (SINMRAM)

## PILOTO Años 1-2

- LO de Antimicrobianos Prioritarios
- Red Piloto de Tres Cuencas
- Validación de Protocolos
- Manuales de Capacitación y Reportes

## EXPANSIÓN Años 3-5

- Otras Cuencas Priorizadas
- Evaluación Intermedia
- Pilotos Tecnológicos
- Revisión Anual de la LO

## CONSOLIDACIÓN Año 6

- Cobertura Nacional
- Línea base y ajustes normativos
- Financiación y Mejora continua
- Evaluaciones Externas

# Conclusiones y Proyección

## 1. La brecha crítica:

1. Chile carece de un sistema de monitoreo ambiental de antimicrobianos.
2. Esto limita anticipar riesgos y diseñar políticas efectivas.

## 2. La solución propuesta:

1. SINM-RAM es un sistema **preventivo, integrado y basado en evidencia**.
2. Horizonte de 6 años con implementación gradual y financiamiento mixto.

## 3. Resultados esperados:

1. Línea base nacional.
2. Lista de Observación de compuestos prioritarios.
3. Cooperación interinstitucional (*One Health*).
4. Incorporación en normativa ambiental (NSCA, DS 90).

## 4. Impacto estratégico:

1. **Más que vigilancia:** motor de cambio regulatorio, tecnológico y cultural.
2. Fortalece tratamiento de aguas residuales y uso responsable de antimicrobianos.
3. Promueve la correcta disposición de medicamentos.

## 5. Proyección:

1. Integra datos ambientales y sanitarios.
2. Protege salud pública, biodiversidad y calidad de aguas.
3. Contribuye a una **gestión ambiental sólida y sostenible**.



# SINM-RAM

Sistema Nacional de  
Monitoreo de Residuos  
de Antimicrobianos




# "Contaminantes emergentes y el desafío del monitoreo ambiental en Chile"

Ricardo Salazar-González



@HIDRORICARDO



 ricardo.salazar@uc.cl

 @hidroricardo

 Ricardo Salazar-González



**Centro UC**  
Derecho y Gestión  
de Aguas

*impulsando sinergias  
y soluciones*

*"El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza"*  
*Leonardo Da Vinci.*