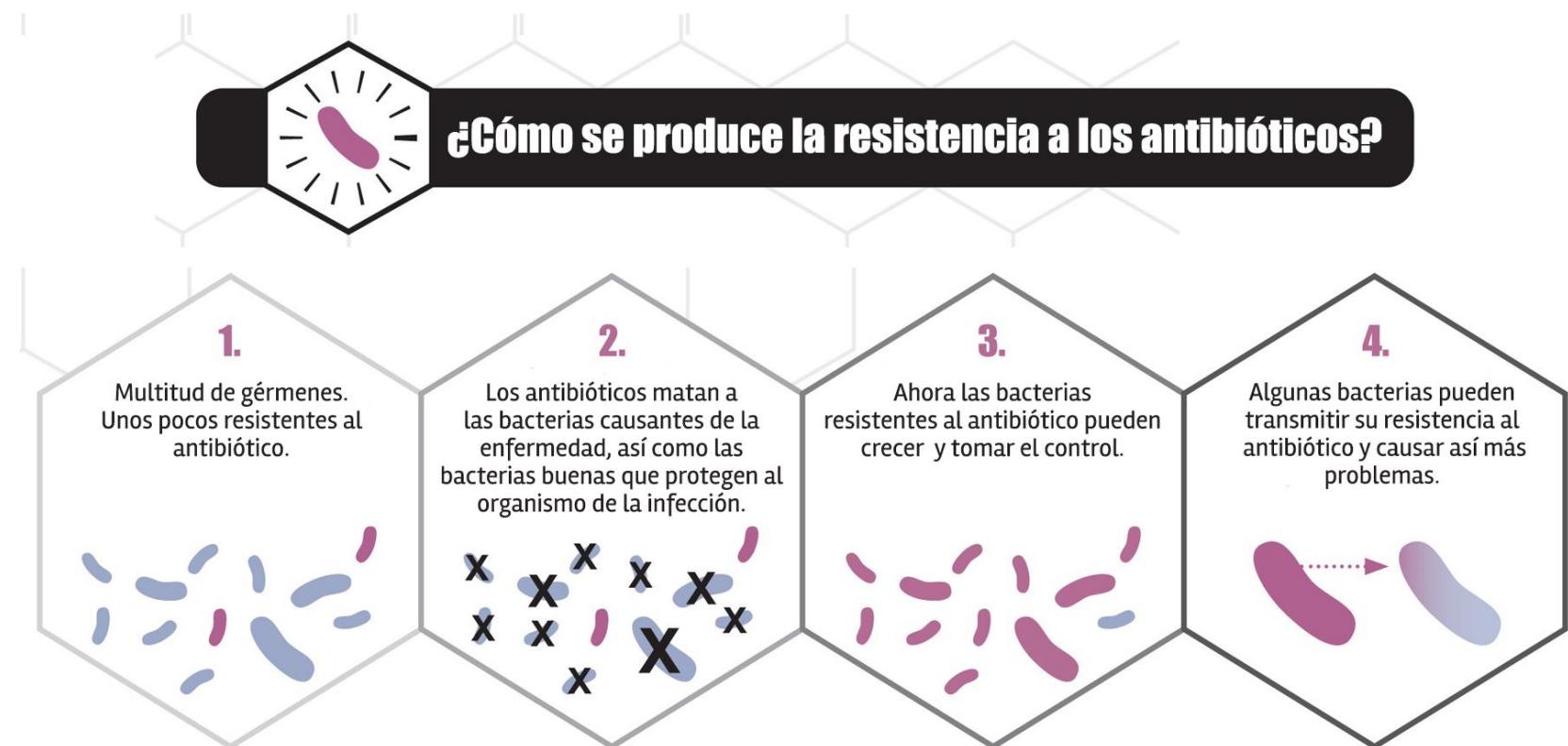


Residuos antimicrobianos en el agua: propuesta de vigilancia ambiental

Ricardo Salazar-González, Patricia García Cañete, Andrea Moreno Switt,
Cristian Paredes Kunst, Guillermo Donoso Harris, Wendy Calzadilla Aguiar

Resistencia a los Antimicrobianos RAM

Es la **resistencia de un microorganismo a un medicamento antimicrobiano** al que originalmente era vulnerable. Los organismos resistentes (bacterias, hongos, virus y algunos parásitos) pueden resistir ataques de medicamentos antimicrobianos tales como antibióticos, fungicidas, antivirales y antipalúdicos, de tal forma que los tratamientos convencionales se vuelven ineficaces y las infecciones persisten, lo que incrementa el riesgo de propagación.



Resistencia a los Antimicrobianos RAM

Es la **resistencia de un microorganismo a un medicamento antimicrobiano** al que originalmente era vulnerable. Los organismos resistentes (bacterias, hongos, virus y algunos parásitos) pueden resistir ataques de medicamentos antimicrobianos tales como antibióticos, fungicidas, antivirales y antipalúdicos, de tal forma que los tratamientos convencionales se vuelven ineficaces y las infecciones persisten, lo que incrementa el riesgo de propagación.



Causas que provocan RAM

Resistencia a los Antimicrobianos RAM

Es la **resistencia de un microorganismo a un medicamento antimicrobiano** al que originalmente era vulnerable. Los organismos resistentes (bacterias, hongos, virus y algunos parásitos) pueden resistir ataques de medicamentos antimicrobianos tales como antibióticos, fungicidas, antivirales y antipalúdicos, de tal forma que los tratamientos convencionales se vuelven ineficaces y las infecciones persisten, lo que incrementa el riesgo de propagación.

Cómo se disemina la resistencia a antibióticos



Los animales toman antibióticos y desarrollan bacterias superresistentes



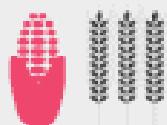
Las personas toman antibióticos y desarrollan bacterias superresistentes



Las bacterias resistentes pueden permanecer en la carne de los animales si no se cocina bien y así, pasar a los humanos



Si vas al hospital porque necesitas cuidados médicos, estas bacterias pueden diseminarse a otros pacientes.



Los fertilizantes o el agua de riego que contenga materia fecal animal puede tener bacterias superresistentes



Los pacientes se van a su casa y diseminan las bacterias.

Resistencia a los Antimicrobianos RAM

Es la **resistencia de un microorganismo a un medicamento antimicrobiano** al que originalmente era vulnerable. Los organismos resistentes (bacterias, hongos, virus y algunos parásitos) pueden resistir ataques de medicamentos antimicrobianos tales como antibióticos, fungicidas, antivirales y antipalúdicos, de tal forma que los tratamientos convencionales se vuelven ineficaces y las infecciones persisten, lo que incrementa el riesgo de propagación.



Resistencia a los Antimicrobianos RAM

Es la **resistencia de un microorganismo a un medicamento antimicrobiano** al que originalmente era vulnerable. Los organismos resistentes (bacterias, hongos, virus y algunos parásitos) pueden resistir ataques de medicamentos antimicrobianos tales como antibióticos, fungicidas, antivirales y antipalúdicos, de tal forma que los tratamientos convencionales se vuelven ineficaces y las infecciones persisten, lo que incrementa el riesgo de propagación.

Qué podemos hacer para evitarlo



Prevención de infecciones

- Inmunización
- Lavado de manos
- Adecuada preparación de alimentos
- Uso prudente de antibióticos



Vigilancia epidemiológica

- Recopilación de datos para el desarrollo de estrategias que prevengan infecciones y propagación.



Mejora en la prescripción

- El uso de antibióticos es innecesario en un 50% de los casos en humanos y en un mayor porcentaje en animales.

Chile y la RAM

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



Plan Nacional RAM Chile 2021–2025
Enfoque “Una Salud” – Intersectorial

Objetivos estratégicos:

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.

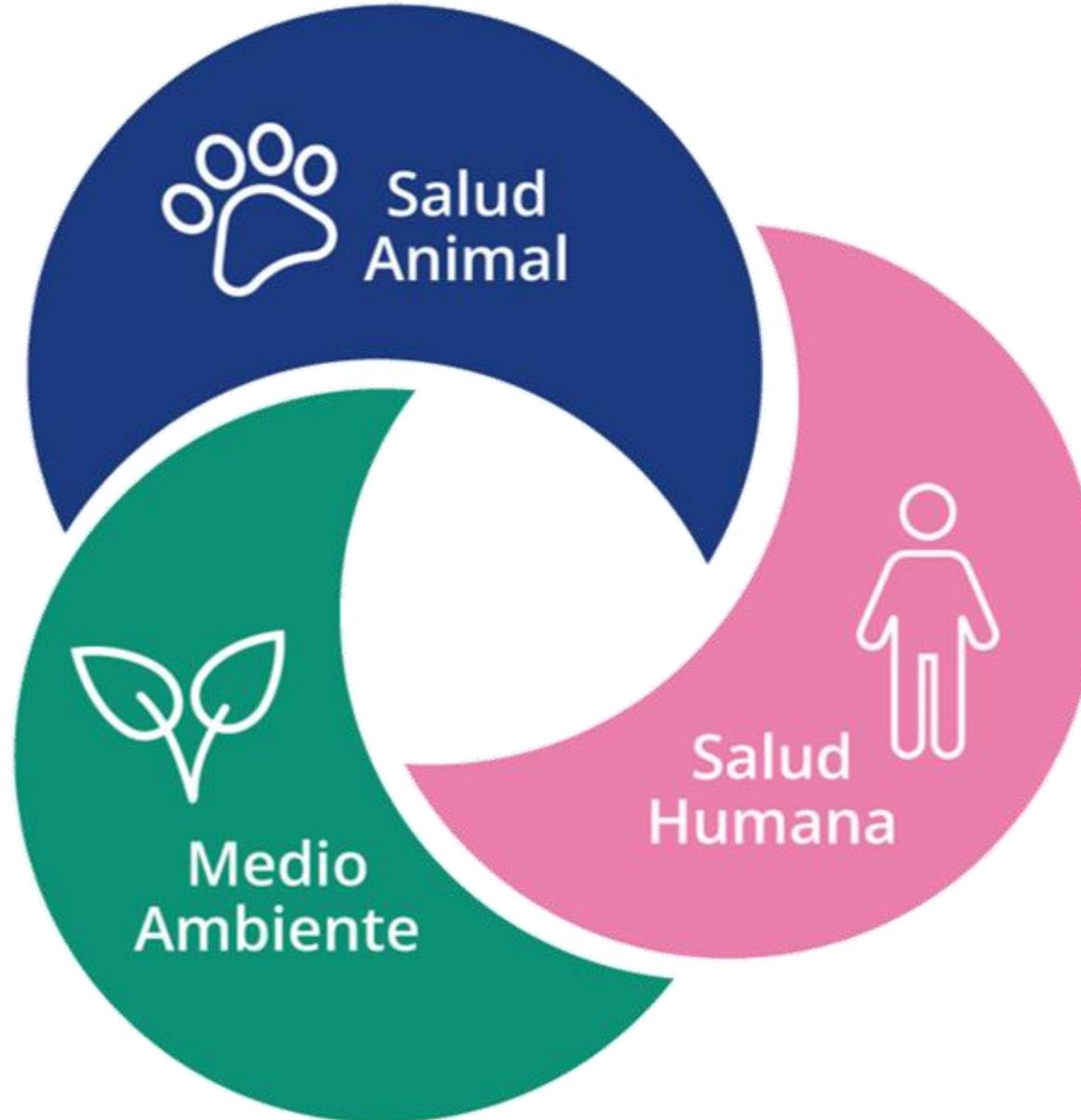
4. Regulación y monitoreo del uso

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.

Una Salud

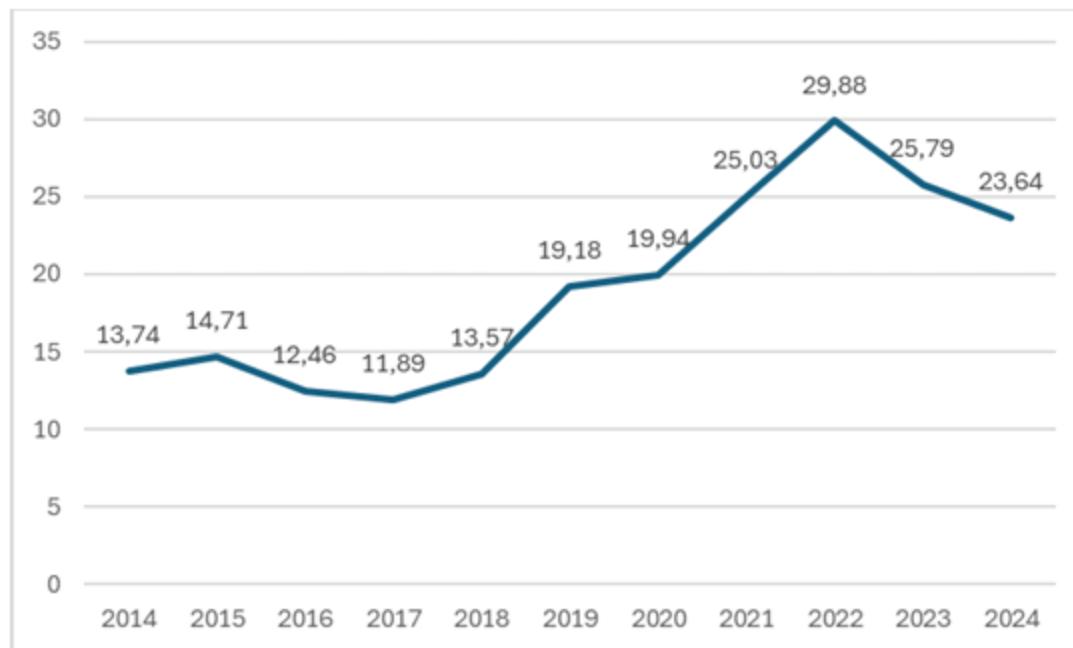


INFORME VIGILANCIA DE CONSUMO DE ANTIMICROBIANOS EN CHILE 2023 - 2024

PLAN NACIONAL CONTRA LA RESISTENCIA A LOS ANTIMICROBIANOS

Chile 2025

GRÁFICO 1. CONSUMO DE ANTIMICROBIANOS EN DDD POR 1000 HABITANTES-DÍA (DHD). CHILE 2014 A 2024.



Fuente: elaboración propia

TABLA 1. CONSUMO EN ANTIMICROBIANOS EN DHD SEGÚN GRUPO ATC. CHILE, 2022-2024

ATC	Principio activo	2022	2023	2024
J01A	Tetraciclinas	0,378	0,331	0,507
J01B	Anfénicoles	0	0	0
J01C	Antibacterianos betalactámicos, penicilinas	19,292	14,958	13,709
J01D	Otros antibacterianos betalactámicos	1,318	1,500	1,151
J01E	Sulfonamidas y trimetoprima	0,210	0,395	0,361
J01F	Macrólidos, lincosamidas y estreptograminas	4,978	5,065	5,063
J01G	Aminoglícidos antibacterianos	0,048	0,048	0,102
J01M	Quinolonas antibacterianas	1,560	1,726	1,762
J01X	Otros antibacterianos betalactámicos	2,101	1,765	0,991

Una de las principales limitaciones de este análisis es el **desconocimiento del consumo en hospitales no pertenecientes al sistema público**, ya que además de **impedir dar cuenta del total de consumo del país**, afecta el análisis del grupo reserva que es especialmente relevante para los equipos PROA de estos establecimientos.

Gráfico 1- ICA (%) y Cantidad (t) de antimicrobianos administrados desde el año 2014 al año 2024.



INFORME SOBRE USO DE ANTIMICROBIANOS Y ANTIPARASITARIOS EN LA SALMONICULTURA NACIONAL

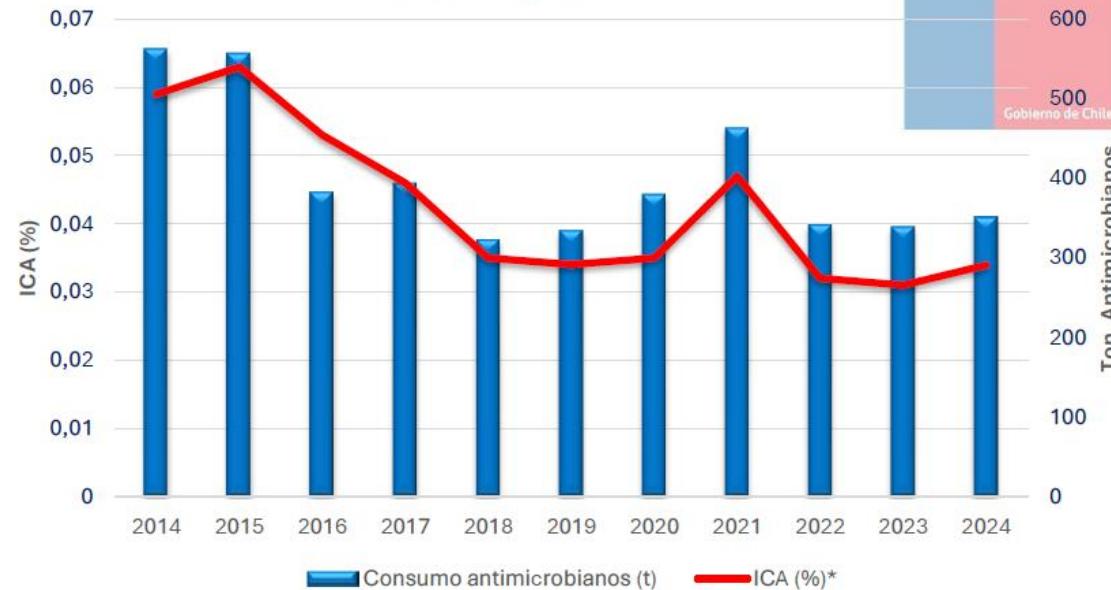
AÑO 2024

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura

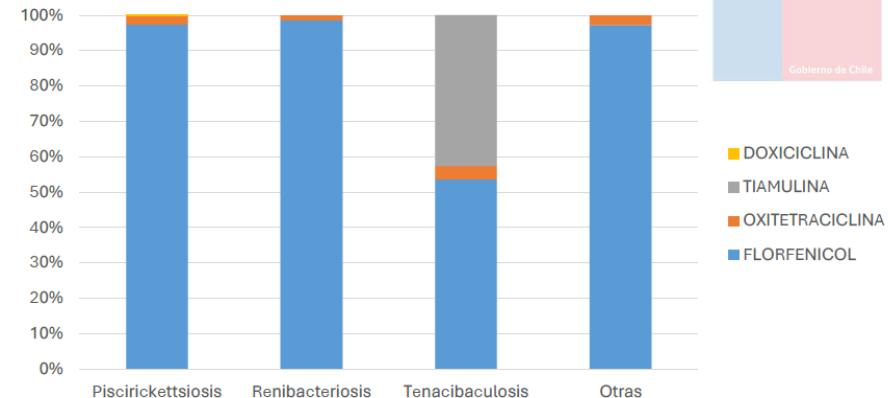
Subdirección de Acuicultura
Departamento de Salud Animal
Valparaíso, Abril 2024



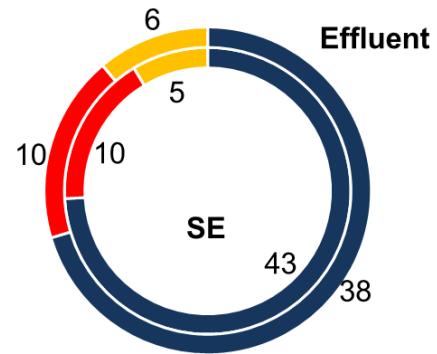
Índice (%) y cantidad (t) de antimicrobianos
2014 - 2024



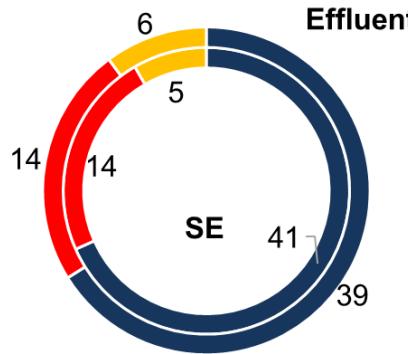
Distribución del uso de principio activo por enfermedad
Ciclos cerrados año 2024



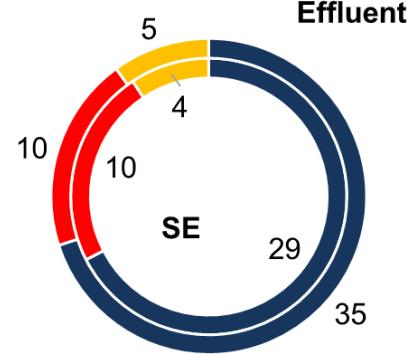
a)



b)

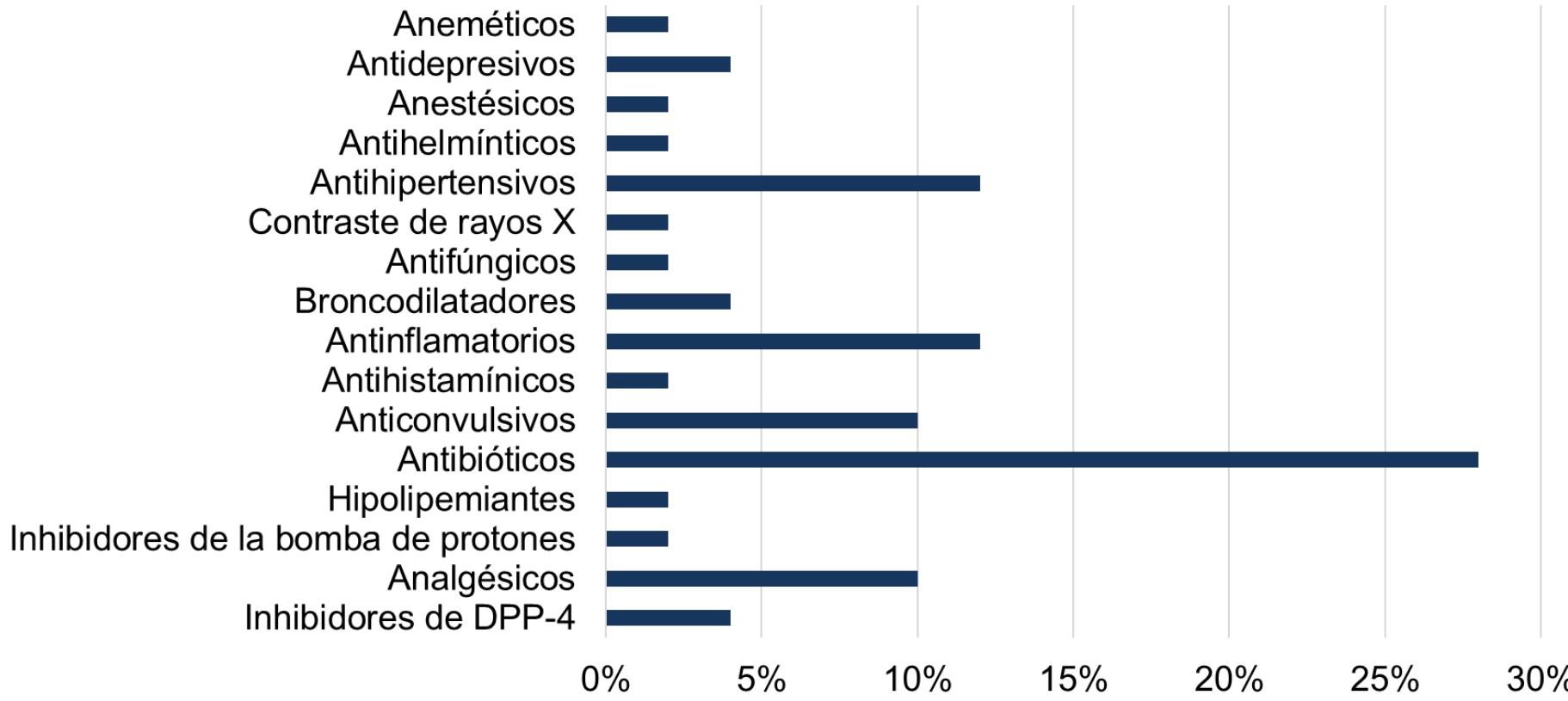


c)



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>



FODA

Resistencia a los Antimicrobianos (RAM) en el ámbito ambiental en Chile

Fortalezas (internas)

- ✓ Existencia de un **Plan Nacional contra la RAM 2021–2025** con enfoque *One Health*.
- ✓ Gobernanza interministerial consolidada (MINSAL, SAG, MMA, MinCiencia, MINEDUC, Economía).
- ✓ Avances en vigilancia clínica y veterinaria (PROA, prescripción electrónica, control de antimicrobianos críticos).
- ✓ Experiencias previas en monitoreo ambiental piloto (ej. río Biobío, Red de Observación SMA).
- ✓ Alta cobertura de tratamiento de aguas servidas urbanas (97,5% alcantarillado; 100% con tratamiento).

Debilidades (internas)

- **Ausencia de normativa específica** para residuos antimicrobianos en agua (DS 90, DS 609 no los incluyen).
- Monitoreo ambiental **fragmentario y esporádico**, sin integración nacional.
- Información dispersa entre ministerios y centros de investigación, sin sistema unificado.
- Escasa capacidad instalada en PTAR para remover antibióticos y genes de resistencia.
- Débil fiscalización de **venta informal de medicamentos** y de su disposición final.

FODA

Resistencia a los Antimicrobianos (RAM) en el ámbito ambiental en Chile

Oportunidades (externas)

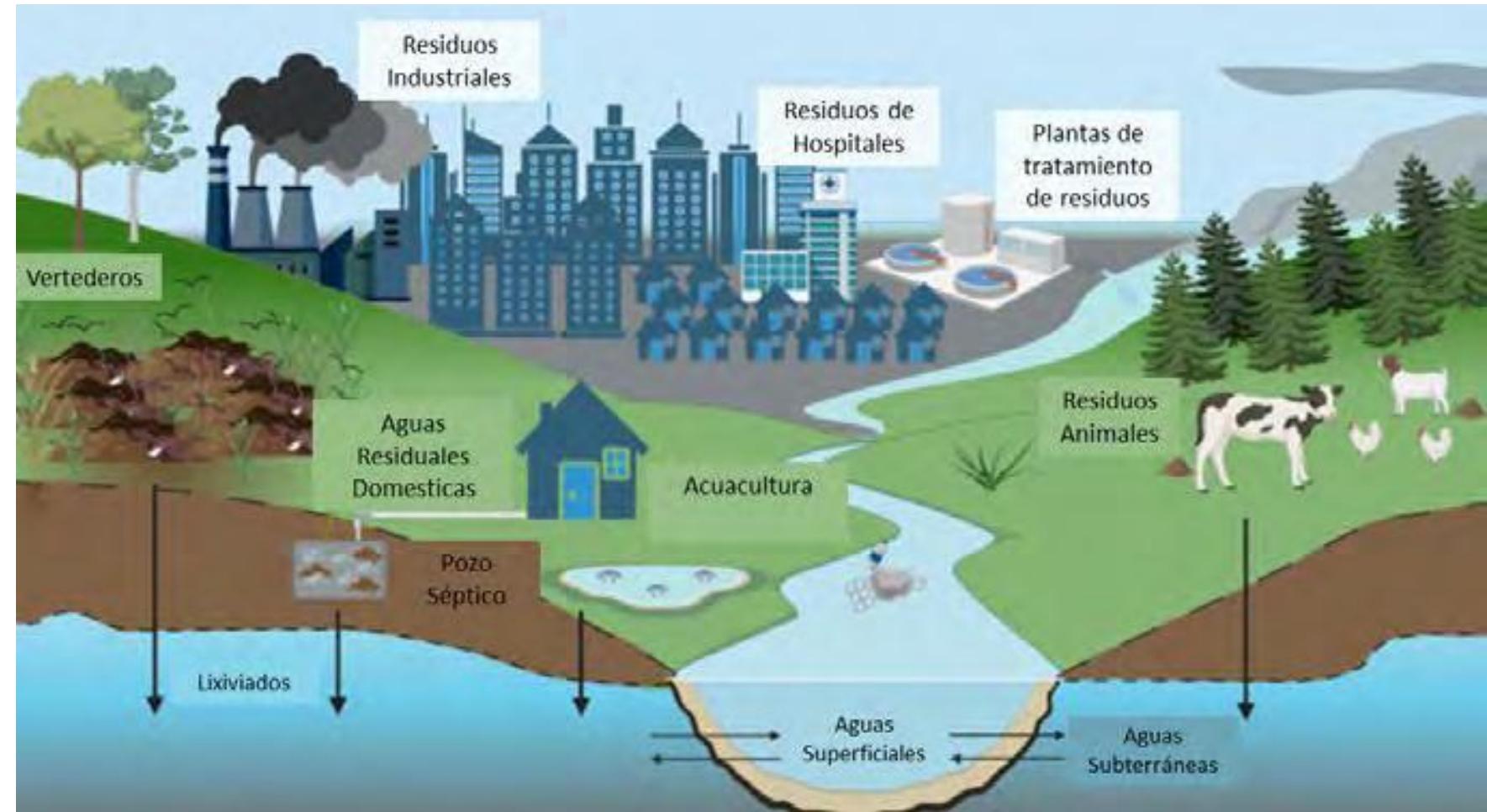
- ✓ Experiencias internacionales consolidadas (GLASS/OMS, NARMS/EE.UU., EARS-Net/UE).
- ✓ **Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA)** ofrecen un marco adaptable para incluir antimicrobianos.
- ✓ Interés ciudadano y académico expresado en procesos de consulta pública (ej. actualización DS 90).
- ✓ Potencial financiamiento y cooperación internacional (OPS, FAO, Unión Europea, OCDE).
- ✓ Desarrollo del **Sistema Nacional Unificado de Información Hídrica** (MinCiencia).
- ✓ Avance hacia políticas preventivas: dispensación ajustada, recolección segura de medicamentos, reducción en la fuente.

Amenazas (externas)

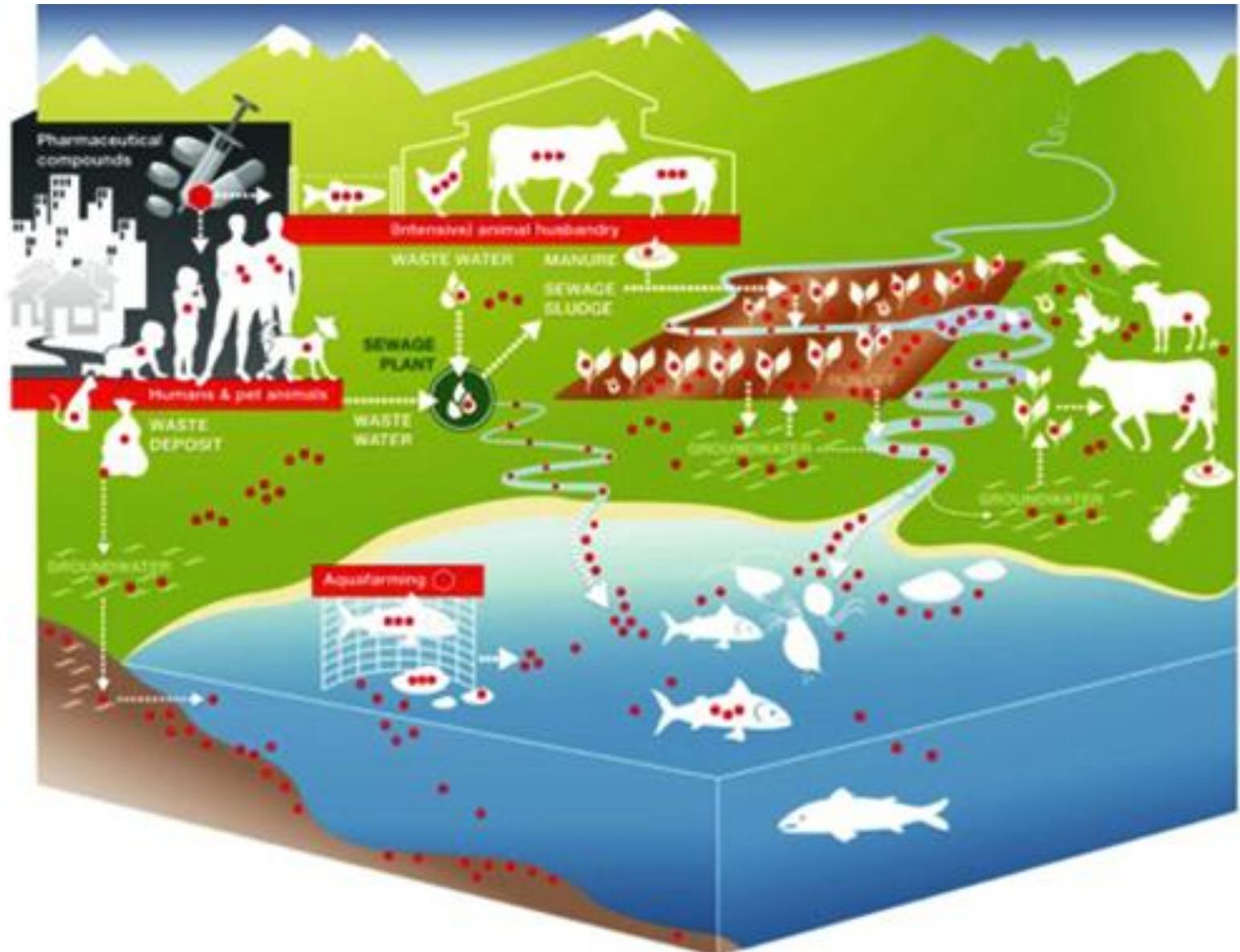
- Riesgo sanitario creciente por circulación ambiental de bacterias resistentes (ej. genes blaTEM, sul1, mcr-1 en aguas y alimentos).
- Presión de sectores productivos (salmonicultura, ganadería intensiva, agricultura) que generan **altas cargas de antimicrobianos**.
- **Costos económicos adicionales** para PTAR y empresas sanitarias ante nuevas exigencias normativas.
- Posible **resistencia social y política** a medidas que impliquen mayores tarifas o restricciones.
- Vulnerabilidad de ecosistemas críticos (Mapocho, Maipo, Llanquihue, fiordos de Los Lagos y Aysén) con impacto en salud pública, turismo y exportaciones.



Ecosistemas acuáticos como reservorios de residuos antimicrobianos



Red Europea de Vigilancia de la Resistencia a los Antimicrobianos



Seguimiento de antibióticos y genes de resistencia en aguas residuales





SINM-RAM

Sistema Nacional de
Monitoreo de Residuos
de Antimicrobianos

SINM-RAM propone el diseño de un sistema nacional de vigilancia ambiental para Chile, orientado a caracterizar la presencia, persistencia y concentración de antimicrobianos y genes de resistencia en cuerpos de agua. Este esfuerzo busca establecer una línea base científica y geográficamente representativa, que sirva como punto de partida para implementar un sistema permanente de vigilancia en el país.



Objetivos del proyecto

Objetivo General:

Diseñar e implementar un sistema integrado de monitoreo y vigilancia ambiental de antimicrobianos en Chile que permita orientar decisiones regulatorias, la fiscalización y las políticas públicas efectivas para proteger la salud y el medio ambiente.

Objetivos Específicos

1. Evaluar la presencia, la concentración y el impacto ecotoxicológico de los residuos antimicrobianos en ecosistemas acuáticos.
2. Diseñar un programa nacional de monitoreo ambiental de antimicrobianos y de genes de resistencia.
3. Desarrollar un sistema nacional de vigilancia ambiental de antimicrobianos que integre el monitoreo, la gestión de datos y la interoperabilidad con plataformas sanitarias y productivas existentes.
4. Fomentar la concientización y la educación pública sobre el uso responsable de los antimicrobianos.
 - a. Elaborar y difundir guías de buenas prácticas para hospitales, laboratorios, producción animal y agricultura, promoviendo el uso racional de antimicrobianos y fortaleciendo su fiscalización.
 - b. Impulsar campañas de recolección segura de medicamentos caducados y desarrollar estrategias educativas sobre la RAM ambiental, con el fin de reducir la disposición informal y aumentar la conciencia sobre los riesgos de la RAM ambiental.

Objetivo Específico

1. Evaluar la presencia, concentración e impacto ecotoxicológico de residuos antimicrobianos en ecosistemas acuáticos.

2. Diseñar un programa nacional de monitoreo ambiental de antimicrobianos y genes de resistencia.

3. Desarrollar un sistema nacional de vigilancia ambiental de antimicrobianos que integre el monitoreo, la gestión de datos y la interoperabilidad con plataformas sanitarias y productivas existentes.

4. Fomentar la concientización y educación pública en el uso responsable de antimicrobianos.

Acciones Concretas

- Generar línea base científica y geográfica.
- Identificar *hotspots* (hospitales, salmonicultura, agricultura).
- Diseñar planes piloto de remediación en cuencas críticas.
- Crear Lista de Observación (LO) prioritaria.
- Integrar datos humanos, animales y ambientales.
- Desarrollar indicadores de riesgo ambiental.
- Establecer un observatorio nacional de RAM ambiental.
- Establecer límites máximos permisibles en aguas.
- Incluir antibióticos y genes en normas ambientales y DS 90.- Incorporar antimicrobianos en Ley REP.
- Definir estándares de tratamiento en PTAR.
- Promover tecnologías avanzadas (ozono, AOPs, UV).
- Elaborar guías de buenas prácticas sectoriales.
- Incentivar uso racional de antimicrobianos en agricultura y veterinaria.
- Campañas de recolección segura de medicamentos caducados.
- Estrategias educativas en escuelas y universidades.

Instituciones Responsables / Aliados

MMA, MINSAL (ISP), Universidades, Centros de investigación, Municipios.

MINSAL, SAG, MMA, MinCiencia, Universidades, ACHIPIA.

MMA, MINSAL, Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), PTAR, Ministerio de Agricultura, Empresas sanitarias, SISS.

MINSAL, MINEDUC, SAG, Municipios, ONG ambientales, Sociedad civil.





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



SINM-RAM

Sistema Nacional de
Monitoreo de Residuos
de Antimicrobianos

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**.

Aspecto	Plan Nacional RAM 2021–2025	Propuesta SINM-RAM
Enfoque One Health	Reconoce que el ambiente es parte del enfoque junto a salud humana y animal.	Integra plenamente el ambiente en la vigilancia, conectando datos ambientales con salud humana y animal.
Vigilancia ambiental	Señala que no existe monitoreo sistemático de antimicrobianos ni genes de resistencia en aguas y suelos.	Diseña un Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental con campañas periódicas en PTAR, ríos, lagos y zonas costeras.
PTAR y aguas residuales	Identifica las PTAR como fuentes críticas de dispersión de antimicrobianos y bacterias resistentes.	Propone monitoreo de afluentes y efluentes hospitalarios y urbanos , y pilotos tecnológicos para mejorar tratamientos (ozono, AOPs, SPEF).
Investigación aplicada	Llama a impulsar estudios sobre persistencia y diseminación ambiental, pero sin instrumentos específicos.	Establece una Lista de Observación (LO) y protocolos analíticos (LC-MS/MS, qPCR) para priorizar compuestos y riesgos ambientales.
Normativa y regulación	Reconoce que el DS 90 y DS 609 no incluyen antimicrobianos y que no hay límites regulatorios específicos.	Propone la incorporación gradual en NSCA y revisión de normas de emisión (DS 90), además de planes de gestión de riesgo en el SEIA.
Capacidades técnicas	Identifica déficit de capacidad analítica y coordinación intersectorial .	Fortalece capacidades técnicas en laboratorios, crea un observatorio nacional y mesas técnicas intersectoriales para gobernanza.
Financiamiento	No plantea mecanismos específicos para el componente ambiental.	Sugiere un esquema de financiamiento mixto (público, cooperación internacional, REP farmacéutica).

“El SINM-RAM solo puede construirse de manera colectiva. Invitamos a los actores aquí presentes a aportar su experiencia y visión para enriquecer esta propuesta y avanzar juntos hacia un sistema nacional de vigilancia ambiental robusto y sostenible.”



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Centro de Políticas Públicas UC

Edificio Patio Alameda UC

Avda. Libertador Bernardo O'Higgins 440, piso 12.
Santiago, Chile
Teléfono (56) 22354 5658



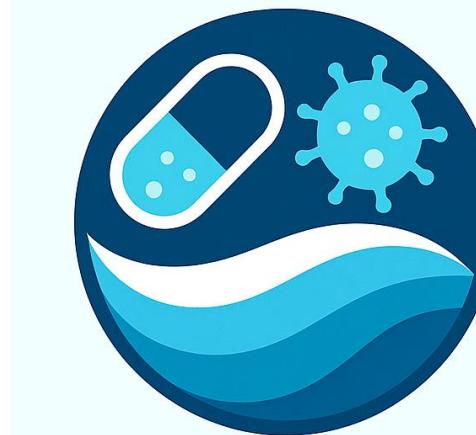
@centrodepoliticaspublicasuc



@cppublicasuc



Centro de Políticas Públicas UC



SINM-RAM
Sistema Nacional de
Monitoreo de Residuos
de Antimicrobianos