



O papel da ecotoxicologia na avaliação de risco de contaminantes de preocupação emergente em águas residuais urbanas

Juan Bellas

Instituto Español de Oceanografía



RISCO AMBIENTAL DE CONTAMINANTES DE PREOCUPAÇÃO EMERGENTE EM ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS:
FERRAMENTAS DE MONITORIZAÇÃO BIOLÓGICA, QUÍMICA E MÉTODOS AVANÇADOS DE TRATAMENTO E DE MODELAÇÃO

FCUP (PORTO)

04.07.25

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal



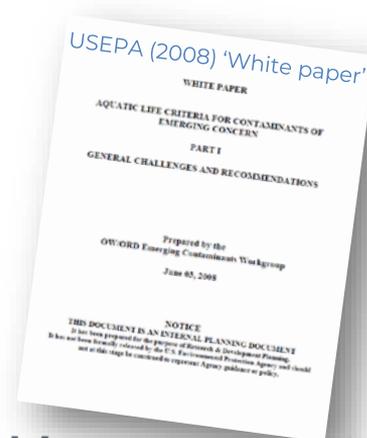


Contaminantes de interés emergente

- No están regulados.
- No necesariamente nuevos productos químicos: presencia e importancia → recientemente son objeto de evaluación.
- Reciente detección en el ambiente: mejoras detección analítica.
- Efectos nocivos a concentraciones ambientalmente relevantes.
- No se comprende del todo el riesgo: salud humana o ambiental.
- **Aguas residuales** urbanas:
 - Aumento en aguas residuales urbanas (fármacos, productos de cuidado personal, microplásticos, etc.).
 - Limitaciones de los sistemas de tratamiento convencionales.
 - ¿cómo puede la ecotoxicología contribuir a identificar y evaluar los riesgos asociados a estos contaminantes?

“sustancias cuya presencia en el medio ambiente y sus posibles efectos sobre la salud humana y la biodiversidad han comenzado a investigarse recientemente y podrían estar bajo escrutinio para una futura regulación”

Dulio et al. (2018) Environ. Sci. Eur. 30:5





Sistema de Priorización Integrada para CECs



Aplicado a estudios ecotoxicológicos y *monitoring* ambiental



Presencia ambiental		Frecuencia, concentración, persistencia			
Uso y consumo		Volumen uso, frecuencia uso			
Sustancia	Frecuencia	Toxicidad	Persistencia	R. Social	Total
Carbamazepina	5	3	4	4	16
Bicfenol A	4	5	4	5	18

- Baterías de **bioensayos multiespecie** (p. ej. microalgas, zooplancton, pez).
- Ensayos de **mezclas** y pruebas con **matrices reales**.
- Incorporar resultados a:
 - Estrategias de **control de vertidos**. (zonas urbanas)
 - Evaluación de **tecnologías de tratamiento**.
 - **Marcos regulatorios** nacionales o europeos.
- *Policy briefs* o informes técnicos.

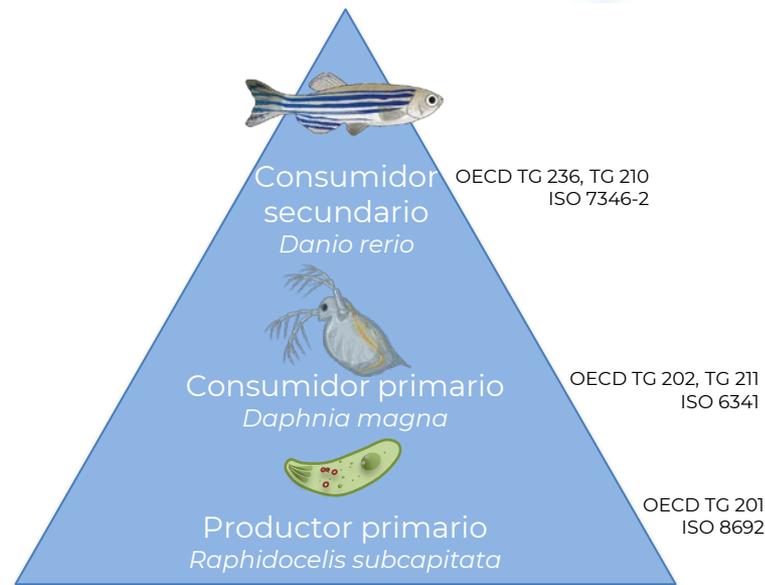


Enfoque clásico: Evaluación de riesgo ambiental



REACH (EU chemical safety regulation)

Registro de productos (pesticidas, fármacos, ...)

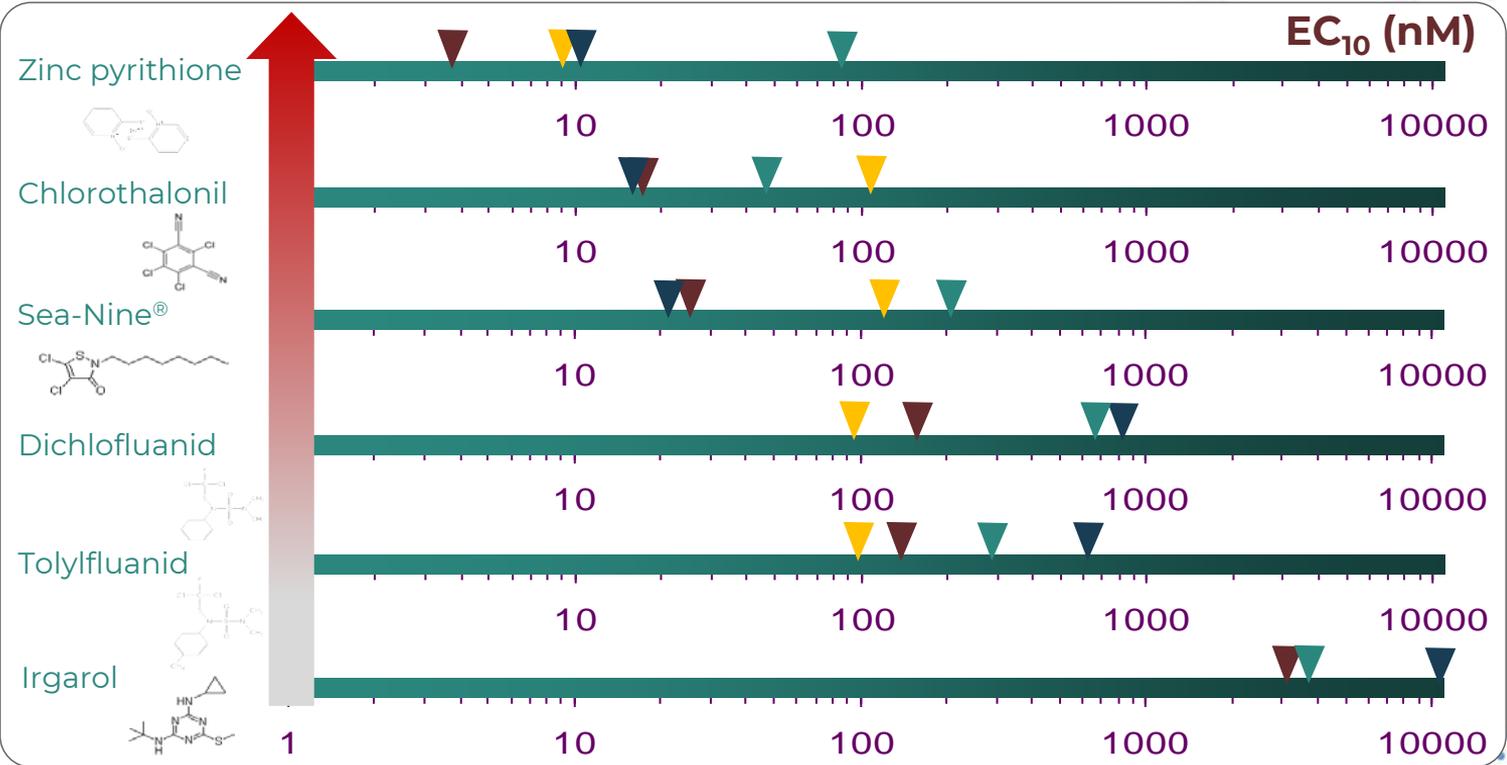
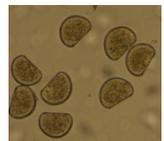




Evaluación de la toxicidad: Definición de efectos biológicos

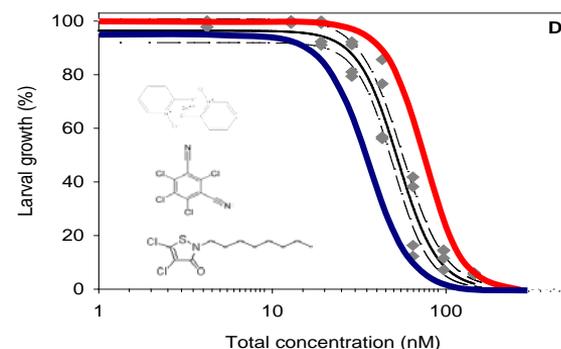
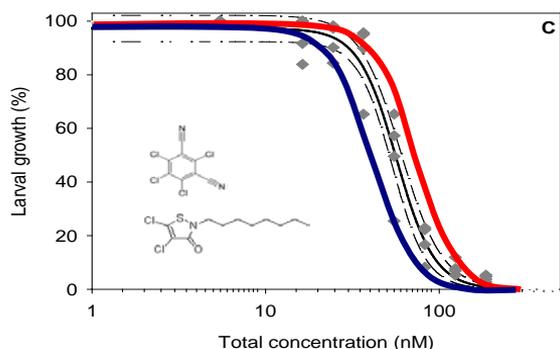
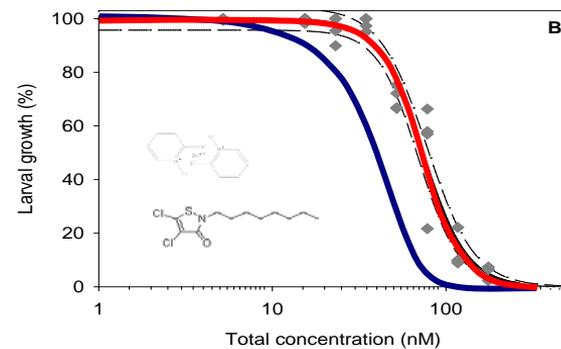
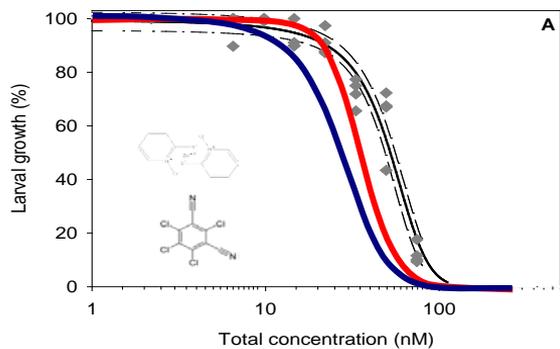
Bellas et al. (2005) Mar. Poll. Bull.
 Bellas (2005) Biofouling
 Bellas (2006) Sci. Tot. Environ.

- *Mytilus*
- *Paracentrotus*
- *Ciona* (embrión)
- *Ciona* (larva)





Evaluación de la toxicidad: Toxicidad de mezclas

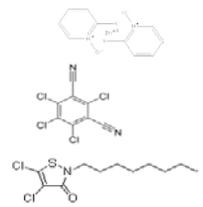


Bellas (2008) Aquat Toxicol

Zinc pyriethion

Chlorothalonil

Sea-Nine®



Concentración-adición (CA):

$$CE_{x\text{ mix}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{CE_{x_i}} \right)^{-1}$$

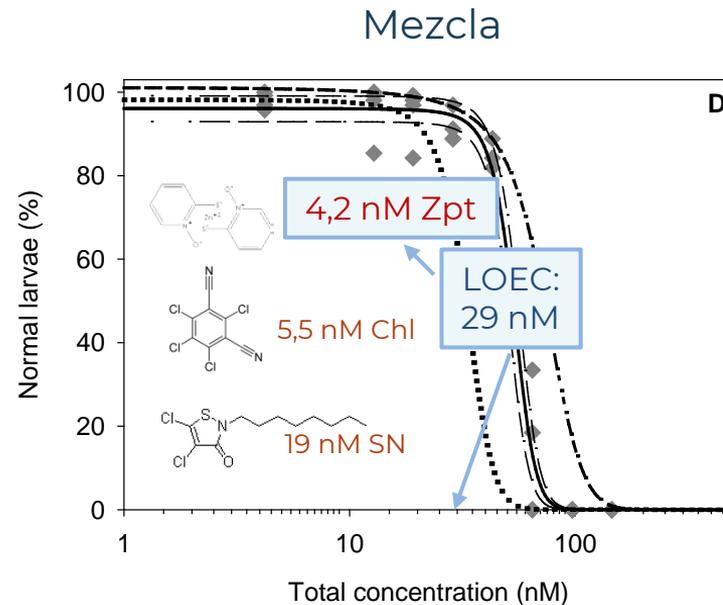
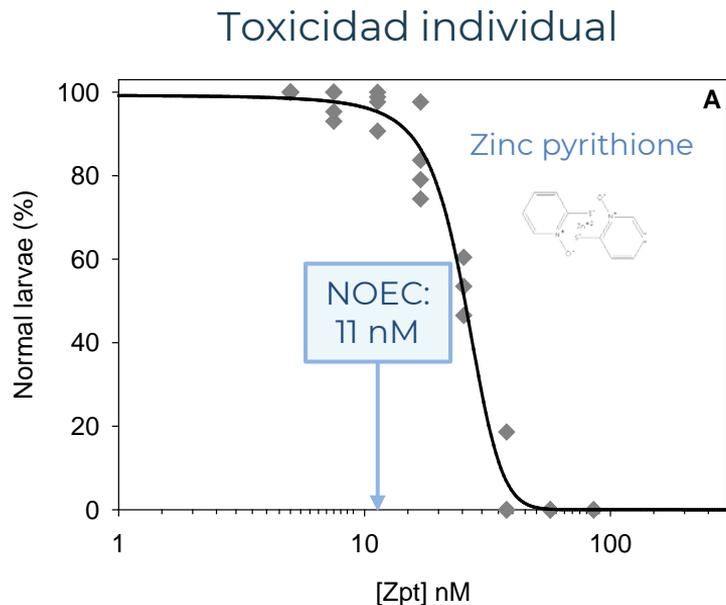
Acción-independiente (AI):

$$E(C_{mix}) = E(c_1 + \dots + c_n) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - E(c_i)]$$



Evaluación de la toxicidad: Toxicidad de mezclas

Bellas (2008) Aquat Toxicol



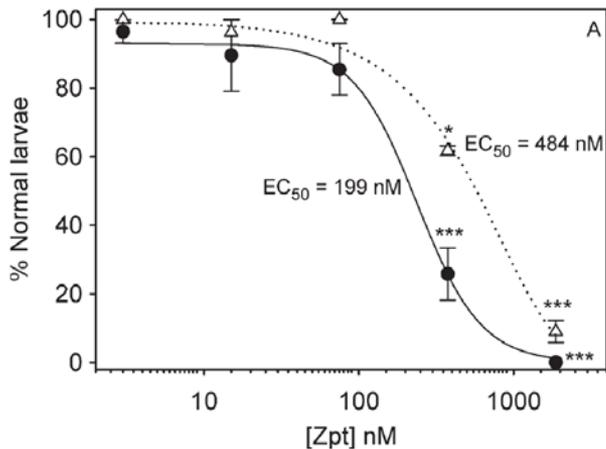


Evaluación de la toxicidad: Productos de degradación

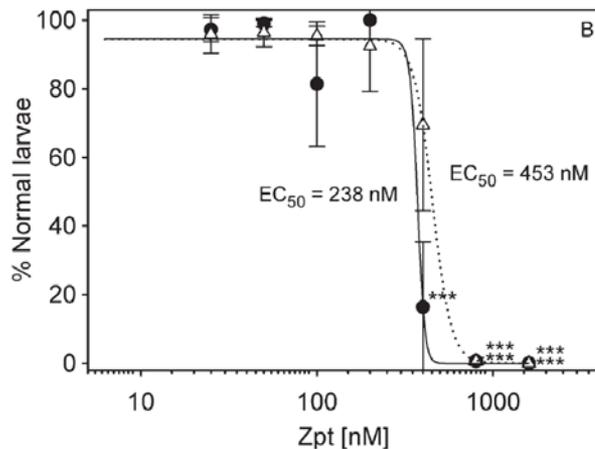


Bellas (2005) Biofouling

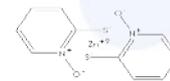
Luz solar directa – 4 horas



Luz UV laboratorio – 4 horas



Zinc pyriothione



Fotodegradación y biodegradación de Zpt en agua de mar:

vida media de 2 a 17 min cuando se expone a la luz solar directa.

Turley et al. (2000) Biofouling

Maraldo y Dahllöf (2004) Mar. Pollut. Bull.

Turley et al. (2005) Biofouling



Enfoque ecotoxicológico integrador

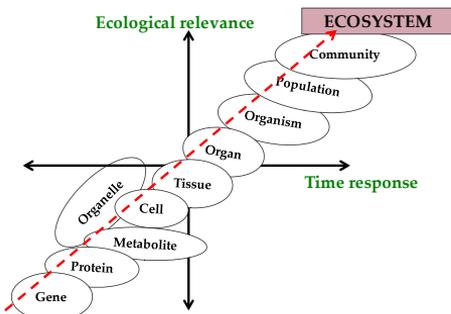
	Enfoque tradicional	Enfoque mecanístico (MoA / AOP)
Tipo de datos	Bioensayos estandarizados	Datos moleculares y celulares
Organismos usados	Algas, <i>Daphnia</i> , peces	Células, tejidos, modelos <i>in silico</i> , <i>in vivo</i>
Respuesta biológica	Efectos observables (apicales)	Causa y mecanismo subyacente
Aplicaciones	Regulación, clasificación	Predicción, desarrollo de alternativas
Desarrollo	Bien establecido	En crecimiento / innovador



Enfoque ecotoxicológico integrador: Respuestas biológicas

Proceso toxicológico/MoA: Nivel celular/molecular Nivel de individuo

Niveles de organización biológica



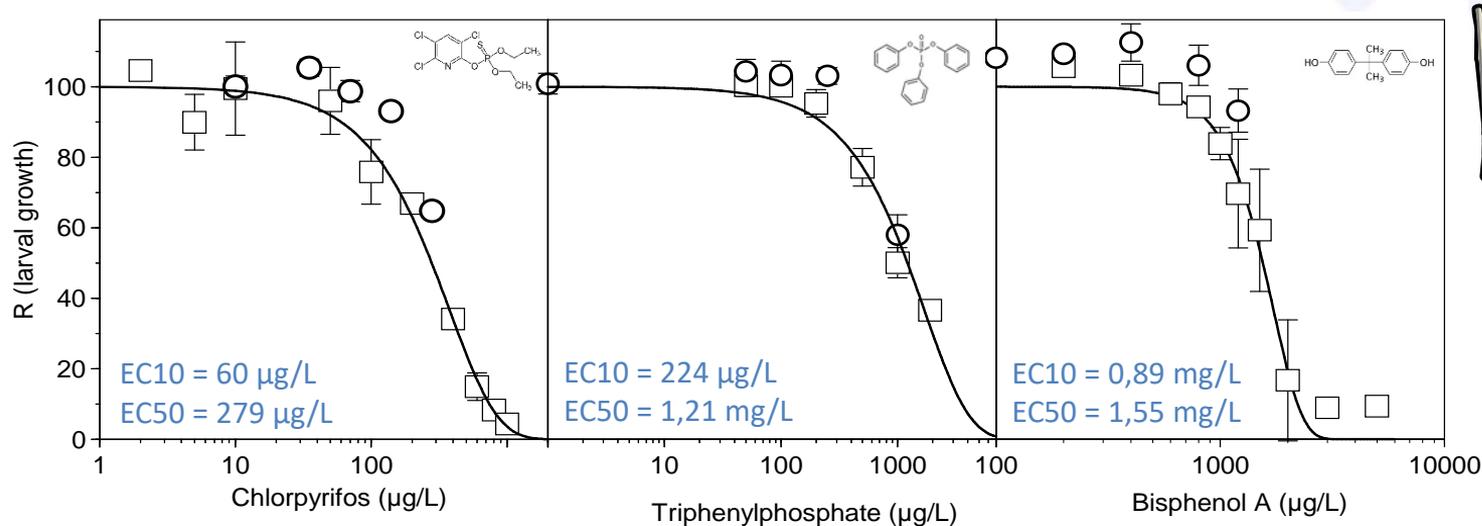
- **Estrés oxidativo:** peroxidación lip., enz. antiox.
- **Disrupción endocrina:** Vtg; intersex
- **Neurotoxicidad:** AChE,
- **Biotransformación:** EROD, GST
- **Carcinogénesis:** neoplasia hígado
- **Cardiotoxicidad:** troponina en sangre
- **Genotoxicidad:** MN, rotura/aductos ADN
- **Inmunotoxicidad:** citocinas, hemocitos-in vitro
- **Disrupción membrana:** LMS
- **Toxicidad metales:** metalotioninas, ALA-D
- **Tecnologías ómicas:**
 - Metabolómica
 - Proteómica
 - Genómica

- **Supervivencia**
- **Crecimiento/energética:** SFG
- **Comportamiento:** locomoción, alimentación, fuga
- **Reproducción:** fecundidad, fertilidad, maduración
- **Toxicidad del desarrollo:** Desarrollo embrionario, eclosión, reclutamiento



Enfoque ecotoxicológico integrador: Evaluación de la toxicidad

Bellas et al. (2022) Environ Sci Pollut Res

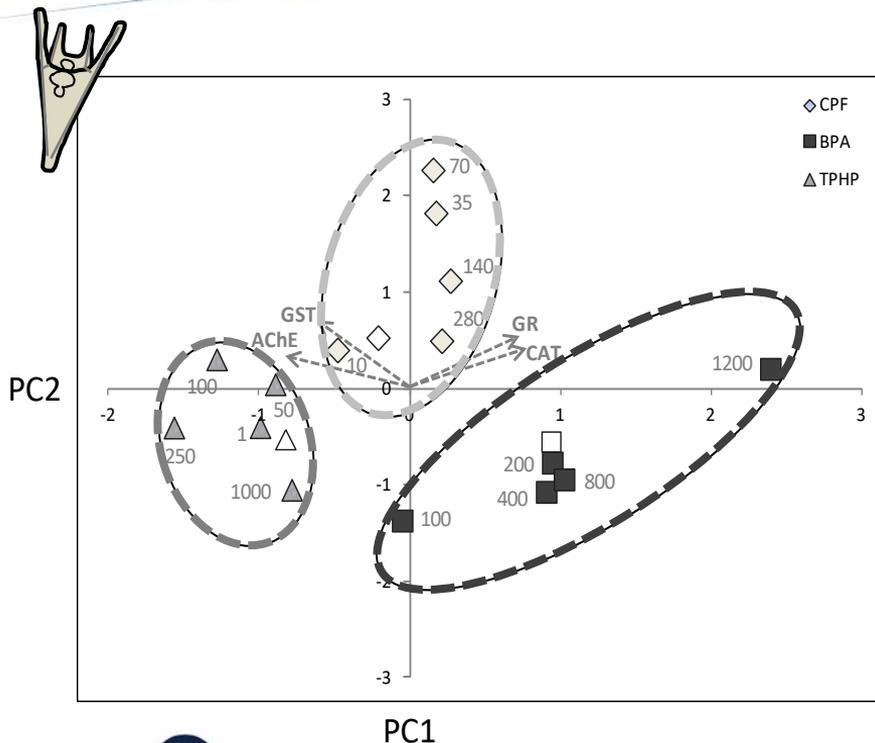


Toxicidad: CPF > TPHP > BPA



Enfoque ecotoxicológico integrador: Evaluación de la toxicidad

Bellas et al. (2022) Environ Sci Pollut Res



- **CPF:**
 - Parte + del PC2 (↑ PC2 con CPF hasta 70 µg/L, y ↓ a 140 y 280 µg/l).
 - Según variación GST y GR - papel **GST en el metabolismo** del CPF.
- **TPHP:**
 - Parte - de PC1 y PC2 (↑PC2 al ↑TPHP hasta 100 µg/L y ↓ a 250 y 1000 µg/L).
 - Vinculado a ↓ de GST.
- **BPA:**
 - Parte + del PC1 y - del PC2.
 - Vinculado a PC1 y PC2; se define por ↑ de GR y CAT y ↓ de AChE - **efecto neurotóxico** del BPA.

Papel de la ecotoxicología en la evaluación de riesgos de contaminantes emergentes en las aguas residuales urbanas



- Contribuir al cumplimiento y **fortalecimiento** de los objetivos de la nueva Directiva (UE) 2024/3019.
- Aportar **valor técnico y ambiental**:
 - Evaluación del **efecto combinado** de contaminantes:
 - Muchos CECs actúan a bajas concentraciones en **mezcla**.
 - **Efecto tóxico global** (adición, sinergia, antagonismo) del efluente tratado.
 - Verificación de la **eficacia del tratamiento cuaternario** (reducción -al menos- 80 % de microcontaminantes):
 - Verificar si el tratamiento realmente reduce la toxicidad → **productos degradación**.
 - Identificar **efectos tóxicos persistentes** tras el tratamiento.
 - Apoyo a la priorización de riesgos y **gestión adaptativa** (monitoring) **del riesgo**:
 - Detectar cambios temporales o estacionales en la toxicidad del efluente.
 - Priorizar contaminantes para análisis químicos posteriores.



JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORTS

EU Wide Monitoring Survey on Waste Water Treatment Plant Effluents

*“Las **pruebas de toxicidad** aguda y crónica [...] pueden proporcionar información rápida y valiosa sobre el potencial de toxicidad de las muestras de agua sin procesar e inferir posibles efectos sobre las especies endógenas del medio ambiente”.*

	Directiva (UE) 2024/3019
Detectar toxicidad global	Complemento análisis químicos exigidos
Verificar eficacia de tratamiento	Apoyan cumplimiento del objetivo del 80 % de reducción
Priorización de contaminantes	Útiles para diseño de estrategias de monitoreo
Evaluación ecológica real	Se alinea con el enfoque precautorio de la Directiva



Obrigado!

¡Gracias!

