

ATAS DO VI CONGRESSO INTERNACIONAL

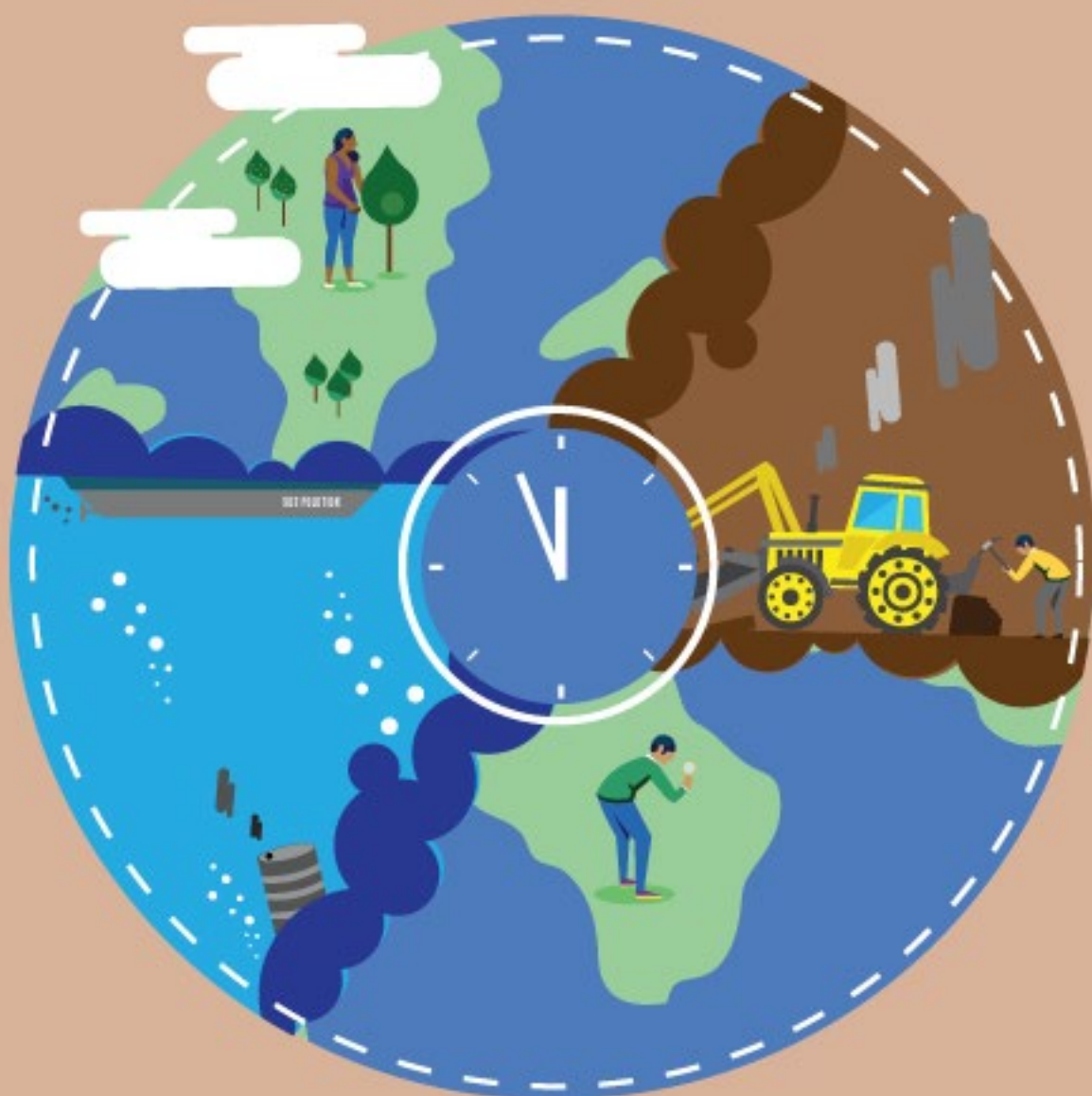
EDUCAÇÃO, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

13 A 16 NOVEMBRO 2024

ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS SOCIAIS

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA

LEIRIA — PORTUGAL



TÍTULO

Atas do
VI Congresso Internacional
Educação, Ambiente e Desenvolvimento
2024

COORDENAÇÃO

MÁRIO OLIVEIRA
CARLA GOMES
NUNO CARVALHO

COMISSÃO CIENTÍFICA

Alessandra Fernandes Bizerra | Ana Águas | Araceli Serantes | Ana Paula Prado | Conceição Colaço | Conceição Martins | Dione Kitzmann | Edgar J. González-Gaudio | Edgar Lameiras | Fernando Magalhães | Fernando Cruz | Filipe Duarte Santos | Filomena Cardoso Martins | Francisco Teixeira | Germán Vargas | Gerson Buczenko | Helena Freitas | Joaquim Ramos Pinto | José Gomes Ferreira | José Manuel Palma | Juarês Aumond | Judite Vieira | Lucie Sauvé | Luísa Schmidt | Marcos Sorrentino | Maria Arlete Rosa | Maria Eduarda Fernandes | Maria José Rodrigues | Marília Torales Campos | Mário Freitas | Mário Oliveira | Maurício Balensiefer | Mauro Guimarães | Miguel Ángel Arias Ortega | Nuno Carvalho | Ofelia Agoglia | Pablo Meira | Paulo Mafra | Regina Souza | Rogério Roque Amaro | Paulo Ernesto Diaz Rocha | Pedro Morouço | Sofia Bregano | Vilmar Alves Pereira | Viriato Soromenho-Marques

COMISSÃO ORGANIZADORA

Carla Gomes
Conceição Colaço
Edgar Lameiras
Jorge Figueiredo
Júlia Rigueira
Mário Oliveira
Manuela Carvalho
Nuno Carvalho
Raquel Delgado
Sérgio Duarte

INSTITUIÇÕES ORGANIZADORAS

OIKOS – Associação de Defesa do Ambiente e do Património da Região de Leiria
IPLeiria - Escola Superior de Educação e Ciências Sociais do Politécnico de Leiria

APOIO

Câmara Municipal de Leiria;
Comunidade Intermunicipal da Região de Leiria

MECENATO AMBIENTAL

SECIL
Águas do Centro Litoral
Fundação Caixa Agrícola de Leiria
Valorlis, S.A.

PARCEIROS INSTITUCIONAIS

Agência Portuguesa do Ambiente
Direção-Geral de Ciência e Inovação
Rede de Cooperação e Aprendizagem do Centro de Competências Entre Mar e Serra
LEIEA - Laboratório de Estudos e Intervenção em Educação Ambiental
Associação Portuguesa de Educação Ambiental – ASPEA
Centro de Educação Ambiental e Preservação do Património - UFPR
SOBRADE – Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas
CICS.NOVA – Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais FCSH-UNL
CI&DEI – Centro de Estudos em Educação e Inovação
Healthy Campus – Politécnico de Leiria

EDIÇÃO

OIKOS - Associação de Defesa do Ambiente e do Património da Região de Leiria

PAGINAÇÃO

João Pinheiro

ISBN

978-989-53966-3-4

Edição Eletrónica

OIKOS - Associação de Defesa do Ambiente e do Património da Região de Leiria © 2024

O conteúdo e opção de escrita dos textos publicados são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores, não refletindo necessariamente a posição oficial da Oikos – Associação de Defesa do Ambiente e do Património da Região de Leiria relativamente aos temas tratados.

ATAS DO VI CONGRESSO INTERNACIONAL

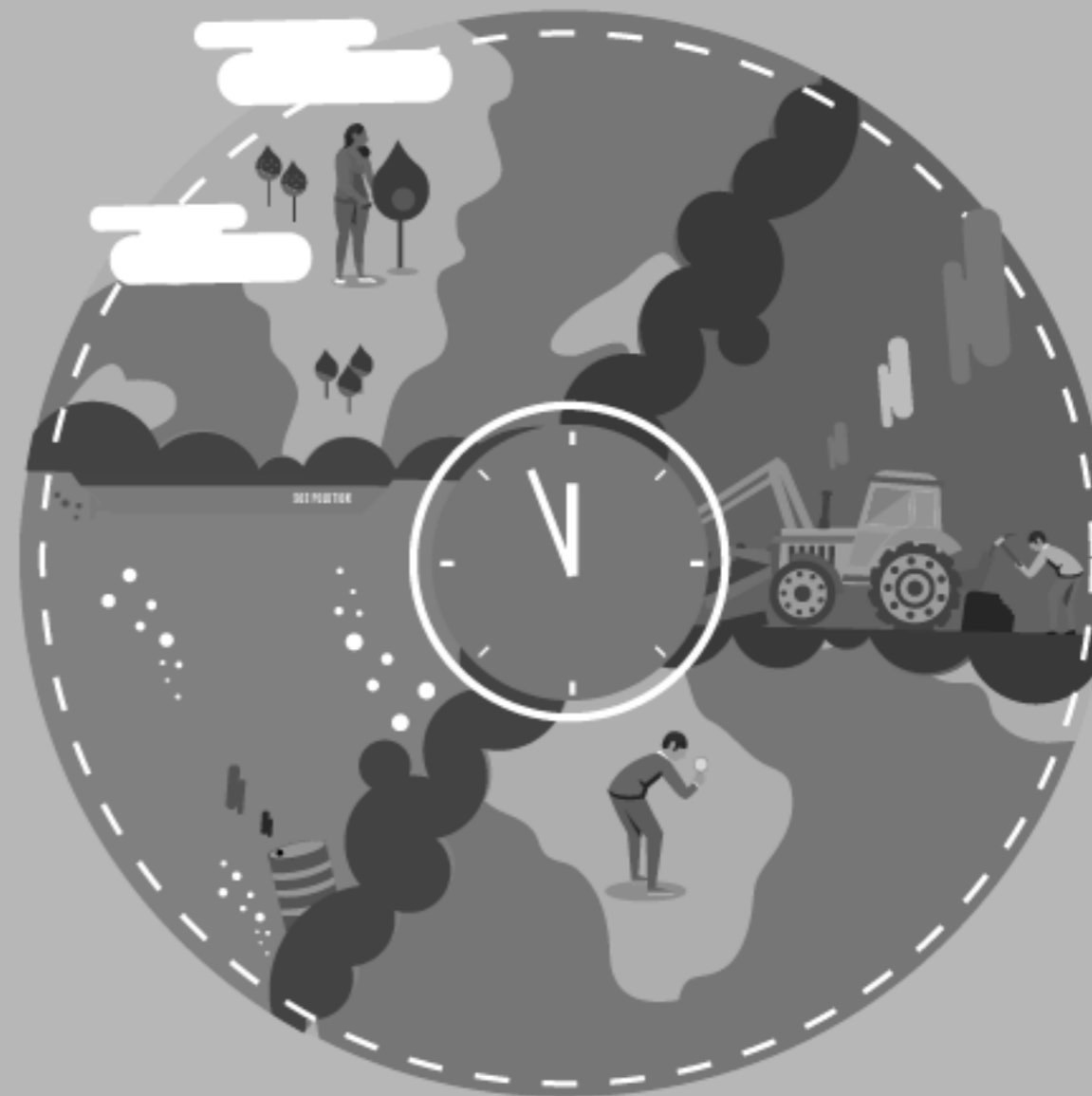
EDUCAÇÃO, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

13 A 16 NOVEMBRO 2024

ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS SOCIAIS

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA

LEIRIA — PORTUGAL



Índice

Prefácio | **pag. 7**

DESENVOLVIMENTO E SUSTENTABILIDADE pag. 9

Plano Diretor Municipal de Campina Grande - PB à luz dos ODS | **pag. 10**
Panorama dos lixões e presença de catadores de materiais recicláveis nos municípios do Alto Oeste do Rio Grande do Norte, Brasil | **pag. 22**
Reflexiones teóricas desde los estudios sociales de la ciencia y tecnología y la biomímesis para el diseño de políticas públicas | **pag. 34**
A produção do algodão agroecológico e orgânico como estratégia de desenvolvimento da mesorregião do Agreste, Paraíba, Brasil. | **pag. 44**
Metodologias participativas na gestão das Matas do Litoral – o uso do Mapeamento Cognitivo de Lógica Difusa | **pag. 52**
Desenvolvimento comunitário e práticas artísticas: o teatro enquanto estratégia para a promoção da cidadania ativa | **pag. 64**
Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nas Mãos das Crianças: Um Estudo sobre a Perceção no 1.º Ciclo do Ensino Básico | **pag. 72**
Desenvolvimento e Sustentabilidade: contributos de um projeto local | **pag. 82**
Património(s), Identidade(s) e Desenvolvimento Local Sustentável – Desafios face à globalização Hegemónica | **pag. 89**
Empreendedorismo Social por Mulheres em Angola, Cabo Verde e Moçambique: Análise de necessidades formativas no âmbito do Projeto IMPAR | **pag. 97**
Visibilidade da mulher na agricultura familiar no Brejo paraibano, Brasil. Primeiros apontamentos | **pag. 109**
Projeto Ambiente+: Inovar, capacitar e conectar comunidades para agir pelo planeta | **pag. 117**
Sustentabilidade e Futuro: O Papel dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na Visão dos Estudantes do Ensino Superior | **pag. 125**
Eficiência do tratamento terciário na ETAR de Olhalvas através de uma tecnologia de filtração | **pag. 135**
Abordagens Sustentáveis para a Localização de RVM: Um Caso de Estudo na região de Leiria | **pag. 149**

EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E ADAPTAÇÃO pag. 161

Plano Diretor municipal e os novos contextos trazidos pela mudança climática | **pag. 162**
O tecno-otimismo na transição energética através da crónica duma polémica científica | **pag. 171**

RECURSOS HÍDRICOS E LITORAL pag. 181
--

Avaliação Crítica de Mapas Ambientais de Poluição da Água em Marinas | **pag. 182**
Estudo Comparativo de Índices de Avaliação da Seca em Aquíferos Costeiros | **pag. 192**
Evolução da costa arenosa Portuguesa entre 2010 e 2023: Atividade Pedagógica | **pag. 198**

ECOSSISTEMAS TERRESTRES E AQUÁTICOS pag. 205
--

Fármacos en el agua: sensibilización para la mitigación de sus impactos en los ecosistemas y en la sociedad | **pag. 206**
Projeto Bio Ilhas: Conectando Ciência e Educação para sensibilizar para a importância da conservação dos rios | **pag. 216**
Parque Natural da Mata de Monte Real: Conhecer, Fruir e Gerir de Forma Sustentável | **pag. 224**

EDUCAÇÃO AMBIENTAL pag. 235

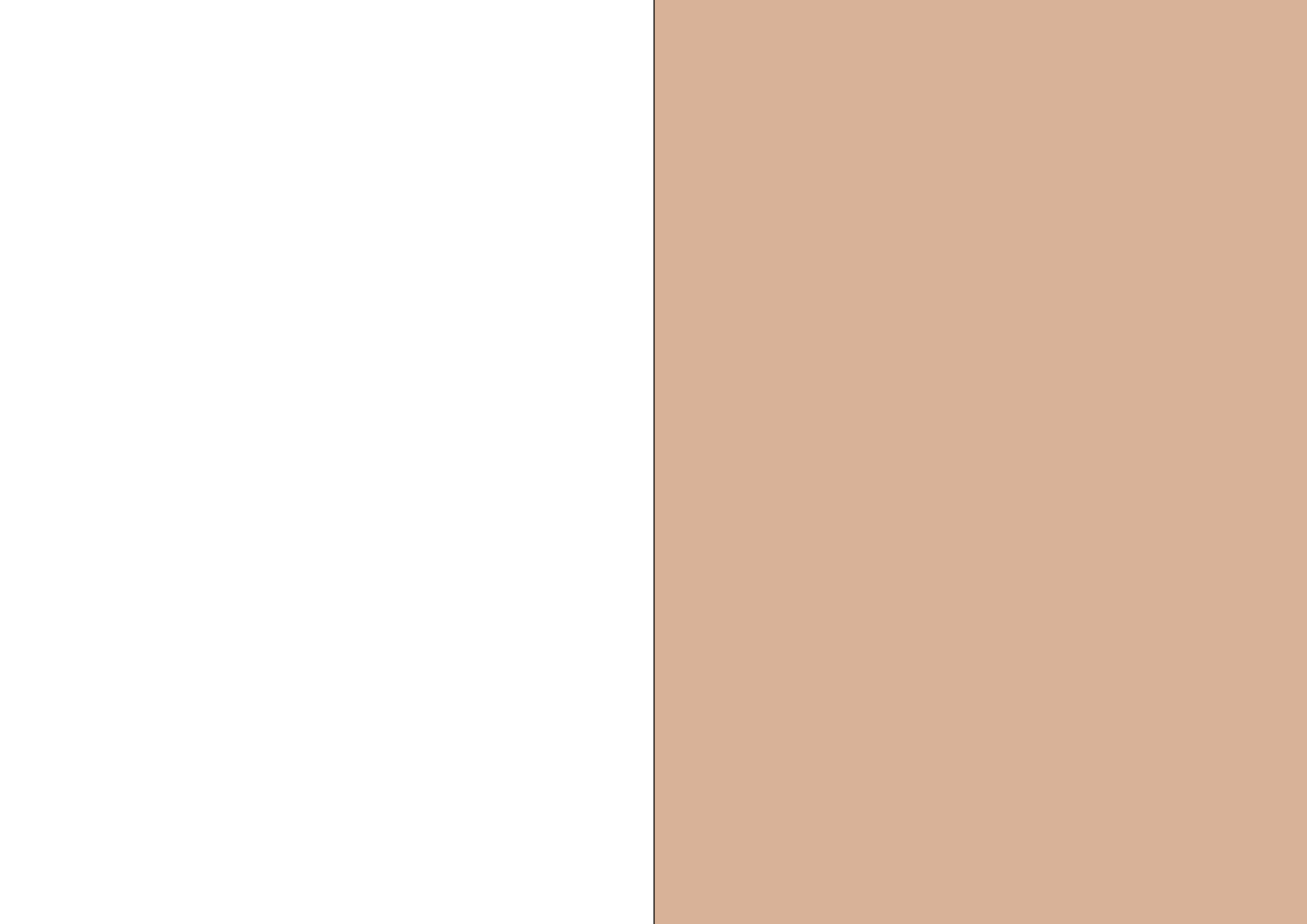
Projetos de Educação Ambiental – Eco-escolas no Ensino Superior | **pag. 236**
A avaliação docente do programa BioEscola Projeto de Educação Ambiental de longo termo do Município de Lousada | **pag. 244**
La importancia del trabajo colectivo y voluntario en la educación ambiental, para la conservación de áreas naturales protegidas | **pag. 256**
Desafios socioambientais para a reintrodução do papagaio-chauá no estado de Alagoas, Brasil | **pag. 263**
Plataforma de Educação para o Fogo: melhorar a comunicação de risco com tecnologias interativas multimédia | **pag. 272**
Projeto “Bacia Hidrográfica do Lis – Agir para conhecer, proteger e valorizar”: uma proposta de educação ambiental na região de Leiria | **pag. 284**
Biodiversidade, um projeto no 1. º Ciclo - Ideias e perspetivas dos alunos da EB1 de Travasso, Pombal, Portugal | **pag. 289**
Para Lá das Dunas | **pag. 304**
EduFire Toolkit: A preparar professores e alunos para as condições de um planeta em transformação | **pag. 311**
O papel da educação ambiental para a promoção da sustentabilidade na alimentação – O Projeto 360.come | **pag. 318**
Alfabetización climática en la formación de profesionales de la educación | **pag. 329**
(Re) Dinamizar a consciência ambiental através da comunicação na sala de aula de TESOL | **pag. 335**
Investigando dissertações e teses brasileiras sobre educação ambiental e interdisciplinaridade | **pag. 343**
Atividades de modelação computacional interativa aplicadas ao ensino da climatologia | **pag. 353**
Ambientalismo, colonialismo e educação decolonial: um diálogo necessário entre Cunhambebe, Marielle Franco e Chico Mendes | **pag. 361**
Análisis de la currícula universitaria en contexto de crisis socio-ambiental| **pag. 369**
Educação Decolonial na Formação de Licenciados em Educação Física: A Experiência da ACCS em Comunidades de Terreiro | **pag. 377**
O Projeto Rios como ferramenta de cidadania ativa de conservação dos ecossistemas ribeirinhos - desafios e perspetivas | **pag. 382**
Monitorização e Conservação das Borboletas no âmbito do projeto de Ciência Cidadã: Be Butterfly Friendly – Plantar Borboletas | **pag. 388**
Cidadania & Governança: Como a ASPEA dá voz aos cidadãos nas questões ambientais | **pag. 399**
Los planes de estudio en la formación inicial de docentes en educación ambiental | **pag. 407**
Projeto Monitorando os Rios pela Ed. Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira | **pag. 415**
Criando pontes entre a Natureza e as Tecnologias Móveis nas saídas de campo – Trajetórias e Desafios | **pag. 428**
Projeto SmartBirds - IA e o conhecimento da Bio-diversidade das Aves. | **pag. 437**
Mini Biólogos e a Ciência Cidadã Mini | **pag. 443**
Green Walks - Explorando a natureza através da formação de professores e técnicos de Ambiente. | **pag. 448**

PATRIMÓNIO(S) E IDENTIDADE(S) pag. 457
--

Políticas públicas, meio ambiente e demografia: mapeamento das comunidades quilombolas do alto oeste do rio grande do norte, brasil | **pag. 458**
Patrimônio e ambiente na práxis de profissionais de museus de ciências da América Latina e Caribe | **pag. 472**
A Fortaleza de Peniche: de prisão a museu | **pag. 480**

POSTERES pag. 491

O ambiente em Clínica Veterinária de Animais de Companhia | **pag. 492**
Tratamento de águas residuais suínícolas através da produção hidropónica de plantas | **pag. 493**
Waterschool: (re)criar um território-escola | **pag. 494**
O Estado da Arte da Pesquisa em Ed Ambiental em Espaços Não Formais no Brasil. | **pag. 495**
Conceções de alunos do 1.º Ciclo do Ensino Básico sobre os danos e a proteção dos ecossistemas | **pag. 496**
Entre escolas e comunidades Between schools and communities | **pag. 497**
Políticas Públicas de Educação Ambiental, Conhecimentos Tradicionais e Parques Estaduais: caminhos para ações transformadoras | **pag. 498**
Racismo e Justiça Ambiental: Elementos para a construção de uma educação antirracista a partir da plataforma EArte | **pag. 499**
Mudanças Climáticas Globais e Educação em Ciências: produções no ENPEC (1997 – 2023) | **pag. 500**
Microorganismos amigáveis: Soluções microbianas para combater o aquecimento global | **pag. 501**
Soluções Baseadas na Natureza: adaptação das cidades às Alterações Climáticas | **pag. 502**
Educação ambiental nas Escolas Municipais de Uberaba: Percepções, práticas e Impacto do Projeto “Agentes do Meio Ambiente”. | **pag. 503**



Prefácio

O presente livro de atas pretende, através do conjunto de textos e pósteres que o compõem, testemunhar a diversidade de temáticas abordadas e a relevância dos trabalhos apresentados no VI Congresso Internacional Educação, Ambiente e Desenvolvimento, realizado em Leiria, Portugal, entre 13 e 16 de novembro de 2024.

Neste evento, um vasto conjunto de especialistas e participantes provenientes de 9 países e 3 continentes, possibilitaram um amplo e profícuo debate e reflexão em torno dos eixos temáticos propostos, a saber, “Educação Ambiental”, “Desenvolvimento e Sustentabilidade”, “Emergência Climática e Adaptação”, “Ecossistemas Terrestres e Aquáticos”, Recursos Hídricos e Litoral” e “Património(s) e Identidade(s)”. Os trabalhos levados a cabo ao longo dos 4 dias de congresso integraram conferências plenárias, sessões temáticas paralelas, subordinadas aos eixos temáticos anteriormente referidos, apresentação de pósteres, realização de saídas de campo e de atividades de campo desenvolvidas no âmbito do voluntariado jovem.

Este livro de atas encontra-se organizado por secções subordinadas aos eixos temáticos anteriormente referidos, nas quais constam os trabalhos completos propostos pelos respetivos autores. A secção final dedicada à totalidade dos pósteres apresentados no evento.

Neste momento de particular satisfação pela edição deste livro de atas não podemos deixar de apresentar um reconhecido agradecimento às autoras e autores dos trabalhos desenvolvidos e pósteres que o integram. Naturalmente, o nosso reconhecimento estende-se aos demais autores e participantes no evento, bem como aos membros da Comissão Científica e instituições que, com o seu inestimável apoio e envolvimento, permitiram a realização deste VI Congresso Internacional Educação, Ambiente e Desenvolvimento.

Naturalmente, contamos com a vossa participação na sétima edição, a realizar em 2026.

A Comissão Organizadora.

V CIEAD
2024

Desenvolvi- mento e sus- tentabilidade

Fármacos en el agua: sensibilización para la mitigación de sus impactos en los ecosistemas y en la sociedad

Pharmaceuticals in water: raising awareness to mitigate their impacts on ecosystems and society

Alena Voznakova;

React! Departamento de Química, Facultad de Ciencias & CICA, Universidade da Coruña, E-15071 A Coruña, España

alena.voznakova@udc.es

Moisés Canle López;

React! Departamento de Química, Facultad de Ciencias & CICA, Universidade da Coruña, E-15071 A Coruña, España

moises.canle@udc.es

Ana Maria Antão-Geraldes;

CIMO, LA SusTEC, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal.

geraldes@ipb.pt

RESUMO

La creciente presencia de residuos farmacéuticos en los ecosistemas acuáticos ha emergido como un problema ambiental significativo y poco visibilizado. Fármacos de uso común, como antibióticos, analgésicos y betabloqueantes son introducidos en el medio ambiente a través de aguas residuales, desechos industriales y prácticas inadecuadas de eliminación de medicamentos, persistiendo en masas de agua superficiales y subterráneas. Los sistemas de tratamiento de aguas convencionales no están diseñados para eliminar completamente estos compuestos, lo que provoca una acumulación gradual con efectos adversos tanto en la biodiversidad y los ecosistemas asociados. Este artículo aborda los efectos de los fármacos en organismos acuáticos, tales como la toxicidad combinada y el potencial desarrollo de resistencias antimicrobianas. Además, se explora el impacto a largo plazo en los ecosistemas, y los riesgos asociados para la salud humana. Finalmente, se subraya el rol fundamental de la educación ambiental en la creación de conciencia pública sobre los impactos de los residuos farmacéuticos y la importancia de promover cambios en los comportamientos sociales.

Palavras-chave: *ecosistemas acuáticos, contaminación por fármacos, sensibilización ambiental.*

ABSTRACT

The increasing presence of pharmaceutical residues in aquatic ecosystems has emerged as a significant environmental problem that is not sufficiently understood. Commonly used medicaments, such as antibiotics, analgesics and beta-blockers, enter the environment through wastewater, industrial wastes and inadequate drug disposal practices, thus becoming persistent in surface and groundwater bodies. Conventional water treatment systems are not designed to completely remove these compounds, resulting in a gradual accumulation with adverse effects on both biodiversity and associated ecosystems. This article discusses the effects of pharmaceuticals on aquatic organisms, such as combined toxicity and the development of antimicrobial resistance. In addition, the long-term impact on ecosystems and the associated risks to human health are explored. Finally, the

fundamental role of environmental education in building public awareness of the impacts of pharmaceutical residues and the importance of promoting changes in social behaviors is highlighted.

Keywords: *aquatic ecosystems, pharmaceutical contamination, environmental awareness.*

Introducción

El agua es utilizada para diversos fines domésticos, industriales y agrícolas, lo que a lo largo de las últimas décadas resultó en la liberación de numerosos compuestos y contaminantes no deseados a las aguas residuales (Walakira, 2011). En particular, las prácticas agrícolas contribuyen significativamente a esta problemática, ya que procesos como la lixiviación y la erosión de la capa superior del suelo pueden transportar diferentes contaminantes hacia las masas de agua. Por otro lado, los vertidos industriales y la eliminación de materia orgánica no degradable también han intensificado la contaminación de las aguas superficiales (Ibrahim et al., 2021). Estas actividades no solo deterioran el ciclo del agua, sino que generan preocupaciones globales por sus efectos a largo plazo en los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y la salud humana. Entre los contaminantes emergentes que afectan al medio acuático, los residuos de productos farmacéuticos han adquirido un protagonismo creciente. Estos compuestos, utilizados en terapias humanas y veterinarias, así como en productos de cuidado personal, llegan a los ecosistemas acuáticos a través de las aguas residuales urbanas, lixiviados de vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales, muchas veces sin ser completamente eliminados. En las últimas décadas, se ha documentado la presencia de residuos farmacéuticos en masas de agua de todo tipo por todo el planeta (Yunlong et al., 2014). Aunque su detección es cada vez más frecuente, hay mucho desconocimiento sobre su destino final y sus efectos en el medio ambiente (Agerstrand et al, 2015). La presencia de estos compuestos en el agua y los suelos puede tener graves consecuencias ecotoxicológicas. Ingredientes activos como los antibióticos no solo alteran las comunidades microbianas, sino que también fomentan la proliferación de microorganismos resistentes a los antibióticos (Sorensen et al., 2015). Esto representa un peligro significativo tanto para los ecosistemas como para la salud pública. Asimismo, la acumulación de residuos farmacéuticos en los recursos hídricos afecta directamente la calidad del agua utilizada para consumo humano y riego agrícola, comprometiendo la seguridad alimentaria (Sesethu et al., 2020) y la futura disponibilidad de un recurso esencial.

Contaminación por fármacos y su origen en el ambiente

Nuestra sociedad, tecnológicamente desarrollada, ha logrado diseñar y producir una amplia gama de compuestos químicos, entre los cuales se incluyen más de 300 000 sustancias que están reguladas y que se emplean en la industria, el hogar y la agricultura. Entre estos, destacan alrededor de 2.000 productos farmacéuticos cuya producción anual supera los cientos de miles de toneladas. Estos medicamentos abarcan tanto fármacos recetados como terapéuticos de venta libre y de uso veterinario (Weber et al., 2014). La presencia de compuestos farmacéuticamente activos en los ecosistemas acuáticos ha sido reconocida desde mediados del siglo XX. No obstante, en años recientes, el avance de las tecnologías analíticas y los estudios detallados sobre sus impactos ecológicos han situado este tema en el centro de atención como una preocupación emergente. Aunque los productos farmacéuticos están diseñados para mejorar la salud humana y animal, incluso aquellos con claros beneficios pueden generar efectos perjudiciales cuando se encuentran en concentraciones traza y tras exposiciones prolongadas. Esto se debe a su pseudopersistencia (persistencia originada no por la escasa reactividad de una sustancia, sino por la aportación continuada de la sustancia al medio) y actividad biológica, que pueden afectar tanto a la salud humana como a la vida acuática y otros ecosistemas (Majumder et al., 2019; Richardson & Ternes, 2014; Desbiolles et al., 2018). Este fenómeno está directamente relacionado con el aumento exponencial de la producción y el consumo de medicamentos en las últimas décadas. Por ejemplo, el volumen de ingresos de la industria farmacéutica a nivel mundial ha crecido de 498 miles de millones de USD en 2003 a 1.607 miles de millones de USD en 2023, lo que significa que la venta de fármacos se ha incrementado 3,2 veces en los últimos veinte años (Figura 1). Este aumento refleja no solo el avance de la industria, sino también el desafío que representa para la gestión de residuos farmacéuticos en el medio ambiente.

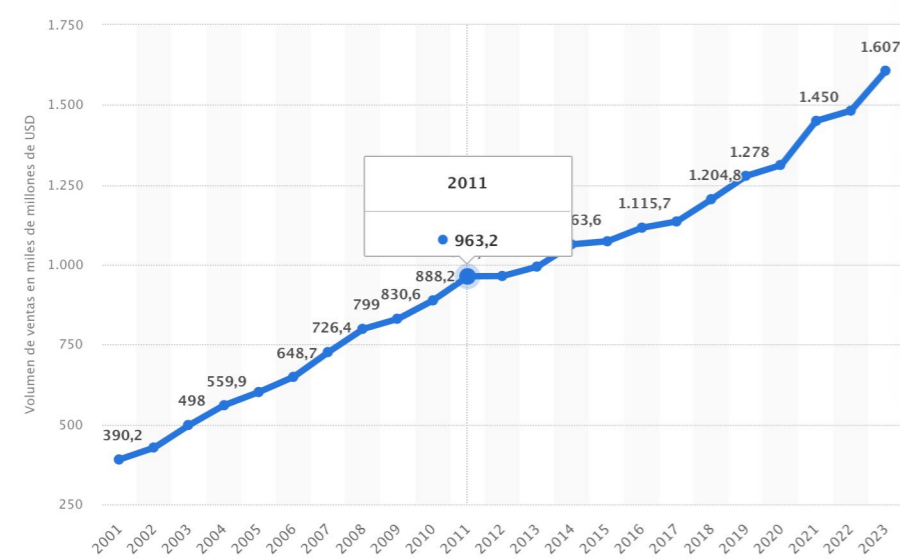


Figura 1: Evolución anual del volumen de ingresos de la industria farmacéutica a nivel mundial (Fuente: Statista, 2024).

En general, los fármacos no se metabolizan por completo en el cuerpo humano y se vierten de manera continua a la red de alcantarillado a través de la orina y los excrementos, por lo tanto, la principal vía de llegada de estos productos y sus metabolitos al medio ambiente es la descarga de las aguas residuales provenientes de las estaciones depuradoras de aguas residuales, donde los productos químicos llegan del sistema de alcantarillado y que no suelen estar diseñadas para la eliminación de estos compuestos (Barceló & Petrovic, 2007). El grado de eliminación de diferentes productos farmacéuticos en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) varía en función del tipo de productos farmacéuticos que entran en el sistema de alcantarillado, sus propiedades fisicoquímicas y la eficiencia de eliminación de la tecnología de las EDAR. Existen grandes diferencias en las eficiencias de eliminación de productos farmacéuticos en EDAR entre países, e incluso entre EDAR de un mismo país (Tran et al., 2018). Hasta ahora no se ha encontrado ninguna técnica que por sí sola elimine todos los contaminantes relevantes de las aguas residuales (Aldana et al., 2024). Las tasas de eliminación de productos farmacéuticos tras el tratamiento de aguas residuales oscilan entre el 0% (medios de contraste) y el 97% (psicoestimulantes). La tasa de eliminación de antibióticos es de aproximadamente el 50%. Los analgésicos, antiinflamatorios y betabloqueantes son algunos de los más resistentes al tratamiento (tasa de eliminación del 30-40%) (Qiu et al., 2023).

Otras de las fuentes de origen de los fármacos en agua es la eliminación incorrecta de los productos no utilizados por el sistema de alcantarillado y la utilización de fármacos de uso veterinario en el sector agrícola y ganadero, como, por ejemplo, el tratamiento inapropiado de ganado con antibióticos, y, en consecuencia, la transmisión de estos fármacos a sus excrementos, que posteriormente se utilizan como estiércol afectando también a campos de cultivo. En la Figura 2 se presentan las principales rutas por las que llegan los fármacos a las masas de agua.

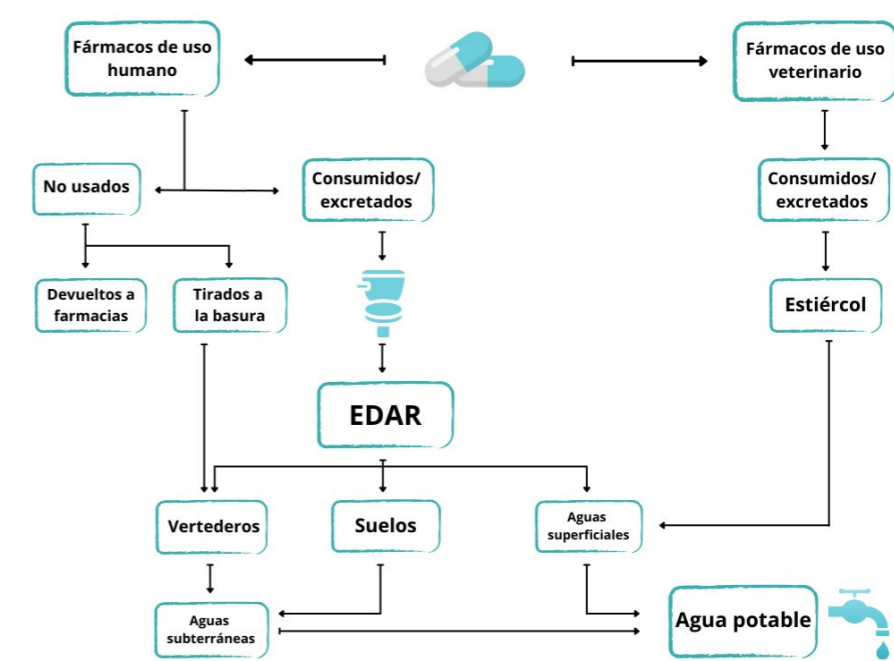


Figura 2: Rutas principales por las cuales llegan los fármacos al agua (elaboración propia).

Dependiendo de las propiedades físico-químicas de los diferentes fármacos, sus metabolitos, y las características de los suelos, estos compuestos pueden llegar a las aguas subterráneas y contaminar las fuentes de agua potable o bien pueden acumularse en el suelo y afectar al ecosistema y a los humanos a través de la cadena trófica.

Efectos en los ecosistemas acuáticos y la salud pública

La presencia de residuos farmacéuticos en los ecosistemas acuáticos genera un abanic. o de impactos negativos, que van desde efectos de toxicidad combinada y desarrollo de resistencias bacterianas hasta alteraciones crónicas en el equilibrio ecológico. Estos efectos no solo amenazan la biodiversidad, sino que también tienen implicaciones para la salud humana y la estabilidad de los ecosistemas. Los fármacos se consideran contaminantes pseudopersistentes y se han detectado cientos de productos farmacológicos en bajas concentraciones del orden, generalmente de ng/L a µg/L, en diferentes ambientes acuáticos por todo el mundo (Gogoi et al., 2018). En la Figura 3 se puede observar el número de fármacos detectados en agua en diferentes zonas del planeta.

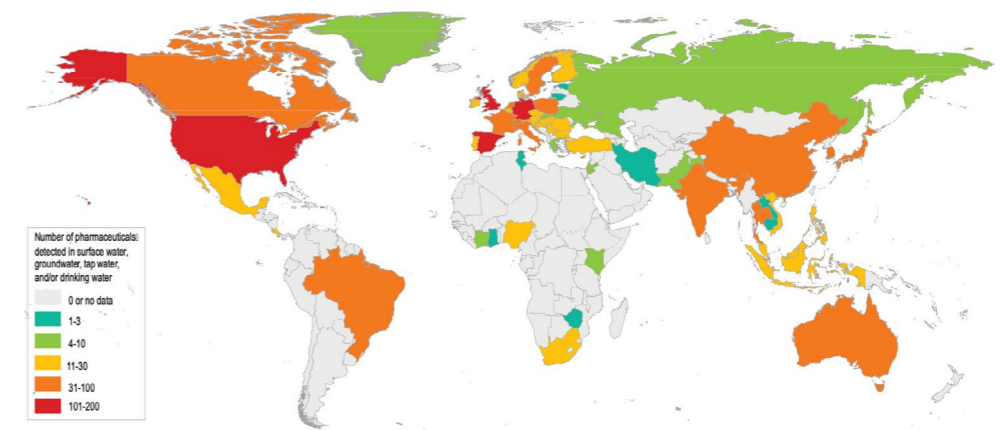


Figura 3: Número de fármacos detectados en el agua en diferentes zonas del mundo. (Fuente: Beek et al., 2016).

Toxicidad individual y combinada

Aunque las concentraciones de estas sustancias se encuentran en el ambiente muy por debajo de su dosis terapéutica diaria y sus concentraciones pueden considerarse muy bajas, los principios activos farmacéuticos están diseñados para interactuar con un sistema vivo (habitualmente a través del metabolismo) y producir una respuesta farmacológica. Suelen estar diseñados para atravesar fácilmente las membranas biológicas y pueden interactuar con moléculas diana en toda una serie de organismos. Cuando se exponen a organismos no diana en el medio ambiente, pueden producirse efectos nocivos involuntarios. Hay diversos estudios que vinculan la exposición a contaminantes farmacológicos con alteraciones en el comportamiento de los peces, como por ejemplo cambios en la alimentación, la reproducción, el cuidado parental, la evitación de depredadores, la agresividad, la reducción de la interacción social, la eficiencia en la búsqueda de alimento, la dispersión y la migración. Estos efectos pueden modificar las redes tróficas y las funciones del ecosistema (Brodin et al., 2014). Por ejemplo, Kellner et al. (2016) observaron que los peces *Gasterosteus aculeatus* expuestos a antidepresivo citalopram, mostraron mayor actividad, menor permanencia en el fondo y un comportamiento más audaz, menos sensibles al estrés, lo que los hizo más vulnerables a los depredadores. Por otro lado, es importante considerar que estos contaminantes no se encuentran de forma aislada en los cuerpos de agua. A menudo forman mezclas complejas con otros fármacos junto a pesticidas, metales pesados y otros contaminantes, cuyas interacciones no siempre han sido estudiadas por completo. En muchos casos, este fenómeno, conocido también como efecto sinérgico, puede derivar en consecuencias devastadoras para la fauna y flora acuática. Numerosos estudios sobre toxicidad combinada han mostrado que las mezclas de fármacos con otras sustancias en el agua pueden generar efectos tóxicos más pronunciados de lo que se esperaría si se analizaran individualmente. (De Castro-Català et al., 2017). Los resultados de Melvin et al. (2014) demostraron una mayor toxicidad - pérdida de respuesta táctil de renacuajos de rana rayada (*Leptodactylus gracilis*) expuestos a una mezcla de naproxeno, carbamazepina y sulfametoxazol, en comparación con las exposiciones a los compuestos individuales. En otro estudio, la mezcla de fluoxetina y ácido clofibríco indujo la muerte de más del 50% de la población de *Daphnia magna* tras una exposición de 6 días, aunque los componentes estaban presentes en concentraciones que no provocaron efectos significativos por separado (Flaherty & Dodson 2005). La exposición prolongada a estas combinaciones tóxicas puede reducir la diversidad de especies, ya que muchas no pueden adaptarse a los cambios en las condiciones del agua. Este deterioro en la biodiversidad afecta tanto a las especies directamente involucradas como a las que dependen de ellas, afectando a todo el ecosistema.

Resistencia antimicrobiana

Uno de los efectos más peligrosos de la presencia de antibióticos en los ecosistemas acuáticos es el desarrollo de microorganismos resistentes a los antibióticos. Dicha resistencia implica la capacidad de las bacterias de sobrevivir a las concentraciones terapéuticas de medicamentos diseñados para eliminarlas y ocurre cuando las bacterias presentes en el agua se exponen de manera constante a niveles bajos de antibióticos, lo que les permite desarrollar mecanismos de resistencia. Este fenómeno puede clasificarse como resistencia intrínseca, una propiedad natural inherente a ciertas especies bacterianas, o adquirida, resultado de cambios genéticos impulsados por la presión de selección antimicrobiana. A nivel genético, las bacterias intercambian información mediante procesos como la conjugación, donde el material genético se transfiere entre bacterias a través del contacto físico; la transformación, que implica la incorporación de ADN libre presente en el medio, liberado por bacterias lisadas; y la transducción, en la que un bacteriófago actúa como vector para transferir ADN entre bacterias (Figura 4).

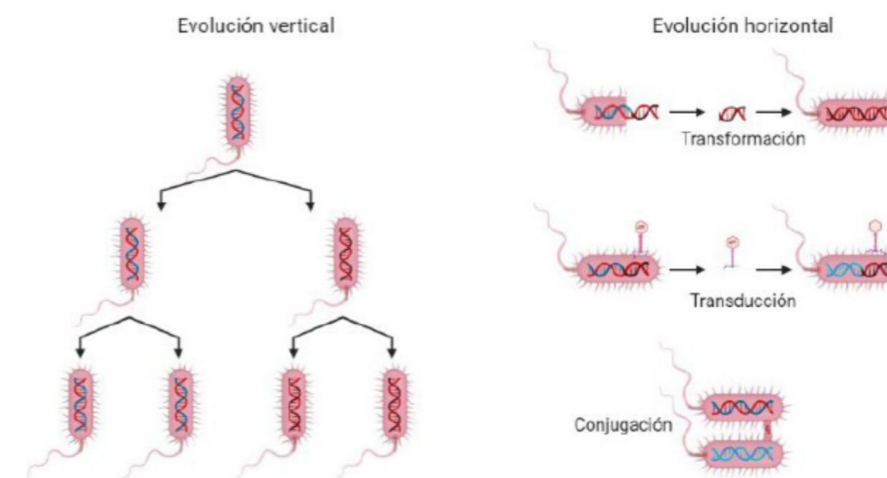


Figura 4: Proceso de intercambio de información genética entre bacterias. (Fuente: Camacho Silvas, 2023).

Con el tiempo, las bacterias resistentes se multiplican, y estos genes de resistencia pueden transferirse a otras especies bacterianas. Las llamadas superbacterias resistentes a los antibióticos representan una amenaza global y han generado una enorme preocupación. Las aguas contaminadas con estos patógenos pueden entrar en contacto con humanos y animales, ya sea a través del agua potable o de alimentos contaminados. Esto reduce la eficacia de los antibióticos en tratamientos médicos, lo que puede generar infecciones que no se pueden tratar con los fármacos disponibles actualmente. Varios estudios han demostrado la presencia de bacterias resistentes en ecosistemas acuáticos, especialmente cerca de plantas de tratamiento de aguas residuales y áreas agrícolas donde se usan antibióticos en grandes cantidades (Nnadozie & Odume, 2019). La resistencia bacteriana es uno de los mayores desafíos de la salud pública mundial, con graves proyecciones para el futuro. Actualmente, cada cuatro horas los laboratorios detectan un germen resistente y diariamente fallecen 2.000 personas por esta causa. Si no se toman medidas, se estima que en 2050 las muertes por resistencia bacteriana podrían superar a los fallecimientos por cáncer, alcanzando hasta 10 millones de muertes anuales. Este panorama resalta la urgente necesidad de estrategias para revertir esta tendencia (Fasugba et al., 2019).

Bioacumulación y biomagnificación

Muchos de los residuos pueden permanecer en el ambiente durante largos periodos y pueden tener efectos acumulativos y crónicos sobre la flora y fauna acuática. Algunos fármacos, como los antiinflamatorios o los betabloqueantes, tienen la capacidad de bioacumularse en los organismos acuáticos. Es decir, se concentran en los tejidos de los organismos a medida que se alimentan de plantas o animales que también han estado expuestos a estos contaminantes. A medida que subimos en la cadena trófica, las concentraciones de estos contaminantes aumentan, afectando gravemente a especies depredadoras, como aves o grandes peces, y alterando el equilibrio ecológico de los ecosistemas. Lagesson et al. (2016) investigaron la bioacumulación de cinco fármacos en una red trófica acuática compuesta por peces y cuatro invertebrados. Los resultados mostraron una bioacumulación específica según la especie y sustancia. Difenhidramina, oxazepam e hidroxizina se detectaron en todas las especies, mientras que diclofenaco y trimetoprim no se acumularon. Se evidenció biodisponibilidad prolongada, sugiriendo posibles impactos posteriores en la red trófica.

¿Y a nivel socioeconómico?

Además de los impactos ecológicos y sanitarios, la contaminación por residuos farmacéuticos trae consigo consecuencias socioeconómicas. En primer lugar, la implementación de tecnologías avanzadas en las plantas de tratamiento de aguas, necesarias para eliminar estos compuestos de manera eficaz, representa un desafío financiero significativo. Estas tecnologías, como el tratamiento por ozono, filtración con membranas o proceso de adsorción avanzada, requieren inversiones iniciales elevadas, además de costes operativos bastante altos. Esta situación puede repercutir

directamente en los consumidores, con un posible aumento en las tarifas del agua, lo que impactaría de manera desproporcionada a las comunidades más vulnerables. Por otro lado, el efecto de los residuos farmacéuticos en la resistencia antimicrobiana agrava las demandas sobre los sistemas de salud. El desarrollo de microorganismos resistentes a los antibióticos dificulta el tratamiento de infecciones comunes y aumenta la necesidad de medicamentos más sofisticados y costosos. Este fenómeno incrementa la duración de las hospitalizaciones, eleva los índices de mortalidad, y genera una presión adicional sobre los recursos sanitarios, desde camas hospitalarias hasta personal médico. A nivel macroeconómico, los gobiernos enfrentan un impacto considerable. Los costes asociados al tratamiento de enfermedades relacionadas con la resistencia a los antibióticos, así como las inversiones necesarias para garantizar la calidad del agua, representan un desafío presupuestario que en el futuro podría desplazar recursos de otras áreas prioritarias, ya que la resistencia a los antibióticos según un estudio reciente en el Reino Unido costará a la economía mundial un estimado de 93 billones de euros anualmente (Abushaheen et al., 2020).

Marco legislativo y gestión del problema

En la actualidad, existen algunos reglamentos que identifican ciertas sustancias que pueden ser peligrosas y, por lo tanto, deben ser monitorizadas para proporcionar medidas correctivas en el caso de que sea necesario. Desde el año 2000 en la Unión europea se han publicado algunas directrices como las Directivas 2000/60/CE (también llamada Directiva Marco de Agua) y 2008/105/CE, con el fin de establecer un marco legislativo para la acción comunitaria en el campo de la política de aguas. En año 2013 se aprobó la Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo, del consejo de 12 de agosto de 2013 por la que se modifican las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE en cuanto, a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y tiene en cuenta sustancias prioritarias que van emergiendo, sin embargo, entre estas sustancias no figuran los fármacos. No obstante, esta directiva refleja la necesidad de desarrollar un mecanismo para el seguimiento de la concentración de residuos farmacéuticos en el medio acuático. Por otro lado, en referencia a la Directiva Marco de Agua se ha creado la Lista de Vigilancia de la UE (Watch List), que identifica sustancias prioritarias (Gomez et al., 2022) que requieren un monitoreo específico, entre ellas varios fármacos como el diclofenaco, la amoxicilina o la ciprofloxacina. Además, las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) subrayan la importancia de evaluar los riesgos ambientales durante el desarrollo de nuevos fármacos, promoviendo estrategias para reducir su impacto ambiental. Sin embargo, aunque esta lista representa un avance significativo, aún son necesarios mayores esfuerzos para ampliar la identificación de fármacos prioritarios y establecer límites más claros para su presencia en el agua. Por otro lado, la gestión de esta problemática ha evolucionado de manera lenta. Aunque se han desarrollado iniciativas como las campañas de recogida de medicamentos caducados en farmacias y se están desarrollando tecnologías avanzadas para su eliminación en plantas de tratamiento de aguas residuales (fotocatálisis, oxidación avanzada, biorreactores de membrana), estos esfuerzos siguen siendo insuficientes. La eliminación de fármacos en estas instalaciones es parcial, lo que permite que algunos de estos compuestos lleguen a los ríos, embalses e incluso fuentes de agua potable. Los principales desafíos a los que nos enfrentamos incluyen la falta de normativas específicas para fármacos en agua, el coste elevado de las tecnologías avanzadas de tratamiento y la necesidad de integrar soluciones innovadoras en los sistemas actuales.

Sensibilización pública

Uno de los pilares fundamentales para abordar el problema de los residuos farmacéuticos en los ecosistemas acuáticos es concienciar a la población sobre su impacto. Muchas personas no son conscientes de que las prácticas cotidianas, como tirar medicamentos a la basura o al desagüe, contribuyen significativamente a la contaminación del agua, y muchos desconocen que los sistemas de tratamiento convencionales no pueden eliminar por completo estos compuestos. Las prácticas inadecuadas de eliminación, como tirar por el inodoro o el lavabo los medicamentos no deseados o caducados y echarlos a la basura, son habituales y contribuyen de manera significativa a la presencia de productos farmacéuticos en las aguas residuales. Según Watkins et al. (2022) el 55 % de los encuestados indicó que eliminaba medicamentos líquidos vertiéndolos en el sistema de

agua, mientras que un 24 % lo hacía a través de sistemas que terminaban en vertederos. Solo el 17 % devolvía estos medicamentos líquidos a una farmacia. En el caso de los medicamentos sólidos, el 51 % eran desechados en sistemas con destino a vertederos, el 19 % en el sistema de agua y el 24 % se devolvía a farmacias. Por otro lado, los ungüentos mostraron diferencias significativas: apenas el 1 % se desechaba en el sistema de agua, un 80 % en vertederos, y un 13 % se retornaba a una farmacia. Además del desecho inadecuado, la automedicación es otro hábito extendido que agrava el problema. Esta práctica contribuye tanto al uso excesivo de medicamentos como al aumento de residuos, amplificando los riesgos ambientales y de salud. Para tratar de manera efectiva la contaminación farmacéutica en los ecosistemas acuáticos, es importante visibilizar el problema mediante campañas de educación ambiental. Estas deberían centrarse en explicar cómo el uso y la disposición incorrecta de productos farmacéuticos contribuyen al deterioro de los ecosistemas acuáticos. Es esencial que las campañas de concienciación conecten claramente los riesgos que estos contaminantes suponen tanto para la salud humana como para animal, mostrando la interrelación entre el vertido de medicamentos y la alteración de los cuerpos de agua. La educación temprana en escuelas es un medio potente para generar conciencia desde una edad temprana. Incluir en los programas escolares temas relacionados con la contaminación farmacéutica fomenta una comprensión más profunda de la problemática. Actividades como talleres interactivos, juegos educativos y charlas en las aulas pueden ser herramientas eficaces para sensibilizar a los niños, quienes a menudo llevan los aprendizajes a sus hogares y comunidades. Además, la comunicación a través de medios de difusión masiva puede ayudar a llegar a un público más amplio, lo que incrementa el impacto de los mensajes.

Además, organizar jornadas de sensibilización y participación ciudadana, como limpiezas de ríos o campañas de recolección de medicamentos, en colaboración con farmacias y autoridades locales, fortalece el sentido de responsabilidad colectiva. La implementación de estas propuestas, tanto a nivel local como global, es esencial para mitigar el impacto de los residuos farmacéuticos en los ecosistemas acuáticos y promover un cambio hacia un manejo más sostenible de estos contaminantes.

Retos para el futuro

El problema de los residuos farmacéuticos en los ecosistemas acuáticos es un desafío ambiental complejo y multidimensional que requiere un enfoque integral. Para enfrentarlo de manera efectiva, es necesario combinar esfuerzos a distintos niveles: científico, político, social y educativo. Cada uno de estos niveles desempeña un papel complementario y crítico en la búsqueda de soluciones sostenibles. En el ámbito científico, es crucial profundizar en la comprensión de los efectos a largo plazo que los residuos farmacéuticos tienen en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana. Esto implica invertir en estudios que exploren tanto la toxicidad combinada de los compuestos como la biodegradabilidad de los nuevos fármacos. Además, investigar los mecanismos que favorecen el desarrollo de resistencias antimicrobianas será esencial para abordar uno de los problemas de salud pública más urgentes. Por otro lado, avanzar en tecnologías de tratamiento de aguas más eficientes permitirá incrementar significativamente la capacidad de los sistemas actuales para eliminar estos contaminantes. Sin embargo, el conocimiento científico debe ir acompañado de un marco regulatorio sólido y global. A nivel nacional e internacional, es fundamental implementar normativas más estrictas que regulen la disposición y el tratamiento de residuos farmacéuticos tanto en el ámbito industrial como doméstico. Dado que los cuerpos de agua no respetan fronteras, la cooperación internacional será clave para diseñar soluciones coordinadas y efectivas que aborden este problema desde una perspectiva global. Por último, ninguna medida será completamente efectiva sin el compromiso y la participación de la sociedad. Es imprescindible fomentar una mayor conciencia pública sobre el uso racional de medicamentos, los riesgos de la automedicación y las prácticas adecuadas para desechar los fármacos no utilizados o caducados. Promover cambios de hábitos en los consumidores puede marcar una diferencia significativa en la reducción de la entrada de estos compuestos en los ecosistemas acuáticos.

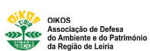
Agradecimentos

M.C. y A.V. han desarrollado este trabajo en el marco del Proyecto PID2021-127898OB-I00 (WAntRed), financiado por MICU/AEI/10.13039/501100011033 y “ERDF: A way of making Europe”. También agradecemos el soporte financiero de la “Xunta de Galicia” (España) a través el fondo GRC/ED431C 2023/33). AMAG agradece a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) el apoyo financiero a través de fondos nacionales FCT/MCTES (PIDDAC) al CIMO (UIDB/00690/2020 e UIDP/00690/2020), SusTEC A/P/0007/2020).

Referencias bibliográficas

- Abushaheen, M. A., Muzaheed, Fatani, A. J., Alosaimi, M., Mansy, W., George, M., Acharya, S., Rathod, S., Divakar, D. D., Jhugroo, C., Vellappally, S., Khan, A. A., Shaik, J., Jhugroo, P. (2020). Antimicrobial resistance, mechanisms and its clinical significance. *Disease-a-month: DM*, 66(6), 100971.
- Agerstrand, M., Berg, C., Björleinius, B., Breitholz, M., Brunström, B., Fick, J., Gunnarsson, L., Larsson, D., Sumpter, J., Tysklind, M., Ruden, C. (2015). Improving environmental risk assessment of human pharmaceuticals *Environ. Sci. Technol.*, 49(9), 5336-45.
- Aldana, J. C., Agudelo, C., Álvarez, P. M., & Acero, J. L. (2024). Removal of Micropollutants in Water Reclamation by Membrane Filtration: Impact of Pretreatments and Adsorption. *Membranes*, 14(7), 146.
- Barceló, D., Petrovic, M. (2007). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387(4), 1141–1142.
- Beek, T., Weber, F. A., Bergmann, A., Hickmann, S., Ebert, I., Hein, A., Küster, A. (2016). Pharmaceuticals in the environment-global occurrences and perspectives. *Environmental toxicology and chemistry*, 35(4), 823–835.
- Brodin, T., Piovano, S., Fick, J., Klaminder, J., Heynen, M., Jonsson, M. (2014). Ecological effects of pharmaceuticals in aquatic systems--impacts through behavioural alterations. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 369(1656), 20130580.
- Camacho Silvas L. A. (2023). Resistencia bacteriana, una crisis actual. *Revista española de salud pública*, 97, e202302013.
- De Castro-Català, N., Muñoz, I., Riera, J. L., Ford, A. T. (2017). Evidence of low dose effects of the antidepressant fluoxetine and the fungicide prochloraz on the behavior of the keystone freshwater invertebrate *Gammarus pulex*. *Environmental Pollution* (1987), 231(Pt 1), 406–414.
- Desbiolles, F., Malleret, L., Tiliacos, C., Wong-Wah-Chung, P., Laffont-Schwob, I. (2018). Occurrence and ecotoxicological assessment of pharmaceuticals: Is there a risk for the Mediterranean aquatic environment? *The Science of the total environment*, 639, 1334–1348.
- Fasugba, O., Das, A., Mnatzaganian, G., Mitchell, B. G., Collignon, P., Gardner, A. (2019). Incidence of single-drug resistant, multidrug-resistant and extensively drug-resistant *Escherichia coli* urinary tract infections: An Australian laboratory-based retrospective study. *Journal of Global Antimicrobial Resistance.*, 16, 254–259.
- Flaherty, C. M., Dodson, S. I. (2005). Effects of pharmaceuticals on *Daphnia* survival, growth, and reproduction. *Chemosphere*, 61(2), 200–207.
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V. K., Tushara Chaminda, G. G., An, A. K., Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 169–180.
- Gomez Cortes, L., Marinov, D., Sanseverino, I., Navarro Cuenca, A., Niegowska Conforti, M., Porcel Rodriguez, E., Stefanelli, F. and Lettieri, T. (2022). Selection of substances for the 4th Watch List under the Water Framework Directive, EUR 31148 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ibrahim, A., Ibrahim, M., Yusuf, A. (2021). Implications of industrial effluent on surface water and ground water *World J. Adv. Res. Rev.*, 09(03), 330–336.
- Kellner, M., Porseryd, T., Hallgren, S., Porsch-Hällström, I., Hansen, S. H., Olsén, K. H. (2016). Waterborne citalopram has anxiolytic effects and increases locomotor activity in the three-spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Aquatic Toxicology*, 173, 19–28.
- Lagesson, A., Fahlman, J., Brodin, T., Fick, J., Jonsson, M., Byström, P., Klaminder, J. (2016). Bioaccumulation of five pharmaceuticals at multiple trophic levels in an aquatic food web - Insights from a field experiment. *The Science of the Total Environment*, 568, 208–215.
- Majumder, A., Gupta, B., Gupta, A. K. (2019). Pharmaceutically active compounds in aqueous environment: A status, toxicity and insights of remediation. *Environmental research*, 176, 108542.
- Melvin, S. D., Cameron, M. C., Lanctôt, C. M. (2014). Individual and mixture toxicity of pharmaceuticals naproxen, carbamazepine, and sulfamethoxazole to Australian striped marsh frog tadpoles (*Limnodonastes peronii*). *Journal of toxicology and environmental health. Part A*, 77(6), 337–345.
- Nnadozie, C. F., Odume, O. N. (2019). Freshwater environments as reservoirs of antibiotic resistant bacteria and their role in the dissemination of antibiotic resistance genes. *Environmental Pollution* (1987), 254(Pt B), 113067.
- Qiu, J., Lü, F., Zhang, H., & He, P.-J. (2023). Emerging Contaminants: Are They a Big Concern for Leachate Co-treatment in Municipal Wastewater Treatment Plants? *ACS ES&T Water*, 3(1), 3–5.
- Richardson, S. D., Ternes, T. A. (2014). Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Anal. Chem.* 86, 2813–2848.
- Sesethu, V., Sandile, M., Nosiphiwe, P. (2020). Detection of Pharmaceutical Residues in Surface Waters of the Eastern Cape Province. *Int J Environ Res Public Health*, 17(11), 4067.
- Sorensen, J. P. R., Lapworth, D. J., Nkhuwa, D. C. W., Stuart, M. E., Goody, D. C., Bell, R. A., Chirwa, M., Kabika, J., Liemisa, M., Chibesa, M., & Pedley, S. (2015). Emerging contaminants in urban groundwater sources in Africa. *Water Research (Oxford)*, 72, 51–63.
- Statista. (2024, noviembre 29). Evolución anual del volumen de ingresos de la industria farmacéutica a nivel mundial de 2001 a 2023. <https://es.statista.com/estadisticas/635153/ingresos-mundiales-del-sector-farmacaceutico>.
- Tran, N. H., Reinhard, M., Gin, K. Y. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water research*, 133, 182–207.
- Walakira, P. (2011). Impact of Industrial Effluents On Water Quality of Receiving Streams in Nakawa-Ntinda, Uganda, MSc. Dissertation, Makerere University, 1-68.
- Watkins, S., Barnett, J., Standage, M., Kasprzyk-Hordern, B., & Barden, R. (2022). Household disposal of pharmaceuticals: attitudes and risk perception in a UK sample. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(6), 2455–2469.
- Weber, F. et al. (2014), Pharmaceuticals in the environment - The global perspective: Occurrence, effects, and potential cooperative action under SAICM, German Federal Environmental Agency.
- Yunlong, L., Wenshan, G., Huu, H. N., Long, D. N., Faisal, I. H., Jian, Z., Shuang, L., Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *The Science of the Total Environment*, 473–74, 619–641.

ORGANIZAÇÃO



ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS SOCIAIS

APOIOS



Câmara Municipal de Leiria
www.cm-leiria.pt



CIMRL
Comunidade Intermunicipal da Região de Leiria

MECENATO AMBIENTAL



FUNDAÇÃO
CASA AGUIAR DE LEIRIA



PARCEIROS INSTITUCIONAIS

