

DISRUPTORES ENDOCRINOS Y SU IMPACTO EN ESPECIES ACUÁTICAS
ENDOCRINE DISRUPTORS AND THEIR IMPACT ON AQUATIC SPECIES

Autores: ¹Jorge Lenin León Arcos, ²Gonzalo de la Fuente de Val, ³Jennifer Paola Moyón Dávila y ⁴Edison Santiago León Trujillo.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2908-5074>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7540-6238>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9164-6696>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7546-4916>

¹E-mail de contacto: jl.leona@uea.edu.ec

²E-mail de contacto: gonzalo.delafuente@fondoverde.org

³E-mail de contacto: jennifermoyon05@gmail.com

⁴E-mail de contacto: es.leon@uta.edu.ec

Afiliación: ^{1*}Universidad Estatal Amazónica, (Ecuador). ^{2*}Fondo Verde, (Perú) ^{3*}Universidad de León, (España) ^{4*}Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador).

Artículo recibido: 1 de Enero del 2025

Artículo revisado: 3 de Enero del 2025

Artículo aprobado: 16 de Febrero del 2025

¹Ingeniero Ambiental graduado en la Universidad Estatal Amazónica, (Ecuador). Magíster en Gestión Ambiental graduado en la Universidad Particular Internacional SEK, (Ecuador). Magíster en Ingeniería Ambiental mención en Saneamiento Ambiental graduado en la Universidad Estatal Amazónica, (Ecuador). Estudiante de doctorado de la Universidad Centro Panamericano de Estudios, (México).

²Doctor en Ciencias Biológicas graduado de la Universidad Autónoma de Madrid, (España). Máster en Gestión Integrada graduado en la Universitat de les Illes Balears (España). Licenciado en Ciencias y Artes Ambientales graduado en la Universidad Central de Chile (Chile).

³Licenciada en Ciencias Biológicas y Ambientales graduada en la Universidad Central del Ecuador, (Ecuador). Mestrado em Ciências Biológicas (Biología Vegetal) graduada en la Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, (Brasil).

⁴Abogado de los Tribunales y Juzgados de la República, graduado en la Universidad Central del Ecuador, (Ecuador). Máster Universitario en Derecho Privado Patrimonial graduado en la Universidad de la Salamanca, (España).

Resumen

Los Disruptores Endocrinos (DE) son compuestos químicos que se encuentran presentes en la vida cotidiana dispuestos como productos de uso comercial; provocan alteraciones en los organismos a nivel individual y de comunidad. Se conoce muy poco de los problemas que genera los DE en los ecosistemas, por lo tanto, este trabajo se centra en documentar bibliográficamente los compuestos más utilizados, así como las alteraciones frecuentes en los organismos acuáticos. Además, el estudio está basado en dos dimensiones, descriptivo y exploratoria, la metodología desarrollada está enfocado en dos niveles generales: el primero orientándose en la sistematización documental de los temas fundamentales DEs y el segundo en la agrupación de los distintos productos que contienen los compuestos DEs existentes en el mercado. Las alteraciones más frecuentes en los organismos acuáticos provocados por la exposición a los DEs son de tipo genético-reproductivo, entre las que destacan: retrasos de reproducción, malformaciones genitales,

reducción de vida en embriones y de conteo de esperma. Los compuestos de uso comercial más estudiados pertenecen al grupo de los pesticidas, debido a su amplia variedad y propagación a nivel mundial originando múltiples problemáticas ambientales.

Palabras clave: Disruptores, Endócrinos, Organismo, Acuáticos.

Abstract

Endocrine Disruptors (DES) are elements that are present in everyday life arranged as products for commercial use, these compounds are capable of making alterations in organisms at the individual and community level. The human population knows very little about the health problems generated by DEs, for this reason the objective of this study is to contrast the most frequent alterations in aquatic organisms caused by exposure to DEs, in addition to identifying the compounds most used commercially. The study is based on two dimensions, descriptive and exploratory, the methodology developed is focused on two general levels: the first oriented in the documentary systematization of the

fundamental DEs issues and the second in the grouping of the different products that contain the DEs compounds existing in the market. The most frequent alterations in aquatic organisms caused by exposure to DEs are genetic-reproductive, among which are: reproduction delays, genital malformations, reduction in embryo life and sperm count. The most studied commercial compounds belong to the group of pesticides, due to their wide variety and spread worldwide causing multiple environmental problems.

Keywords: Disruptors, Endocrine, Organisms, Aquatic.

Sumário

Os desreguladores endócrinos (DE) são compostos químicos presentes no dia a dia e descartados como produtos de uso comercial; Causar alterações nos organismos a nível individual e comunitário. Muito pouco se sabe sobre os problemas que os DEs geram nos ecossistemas, por isso este trabalho tem como foco documentar bibliograficamente os compostos mais utilizados, bem como alterações frequentes nos organismos aquáticos. Para além de o estudo se basear em duas dimensões, descritiva e exploratória, a metodologia desenvolvida centra-se em dois níveis gerais: o primeiro centrou-se na sistematização documental dos temas centrais do ED e o segundo no agrupamento dos diferentes produtos que contêm os compostos no ED. As alterações mais frequentes nos organismos aquáticos causadas pela exposição aos DE são genético-reprodutivas, entre as quais estão: atrasos na reprodução, malformações genitais, redução na sobrevivência embrionária e na contagem de espermatozoides. Os compostos mais estudados em uso comercial pertencem ao grupo dos agrotóxicos, devido à sua grande variedade e difusão global, causando múltiplos problemas ambientais.

Palavras-chave: Disruptores, Endócrinos, Organismos, Aquáticos.

Introducción

Los disruptores endocrinos Son contaminantes cuya eliminación es continua, se encuentran en bajas concentraciones (ng/L, µg/L y mg/L) y tienen la capacidad de alterar el metabolismo de los seres vivos, pero actualmente no se encuentran regulados por normativas. Pese a sus bajas concentraciones, los CE pueden originar efectos adversos tales como estrés oxidativo y daños celulares en las proteínas, carbohidratos, ADN y lípidos (peroxidación lipídica) (Ansoar et al., 2015).

En la actualidad existen alrededor de 143,000 sustancias registradas en la Agencia Europea de Sustancias Químicas, de las cuales 85,000 se encuentran incluidas dentro de la Ley de Control de Sustancias Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América o EPA (United States Environmental Protection Agency) (Blanco, 2018).

Los disruptores endócrinos provocan efectos adversos en el sistema endócrino por su actividad androgénica o estrogénica incluso en bajas concentraciones (Gogoi et al., 2018). Son químicos o mezclas de compuestos que en el ambiente ejercen grandes efectos negativos en las poblaciones silvestres, a su vez ejercen de forma intrínseca en la salud humana, debido a su transferencia por cadena trófica (*World Health Organization*, 2002). A través de las interacciones existentes en zonas de productividad agrícola con requerimientos de plaguicidas, los DEs entran en contacto con organismos que interactúan con el medio (Silva y Pacheco, 2019). Los DEs no presentan efectos tóxicos directos, sin embargo, inducen pequeñas perturbaciones a nivel endócrino difíciles de detectar (Pellegrino, 2017), al igual que sus efectos adversos a nivel de organismos, poblaciones o subpoblaciones (Miranda, 2020), repercutiendo en problemas congénitos como hipospadias, entre otros (Germani et al., 2018).

Los DEs se encuentran presentes en una gran variedad de productos, tales como, químicos, hormonas naturales y sintéticas, componentes vegetales, pesticidas (son causantes de reacciones neurotóxicas y carcinógenas que están incluidos en el 60% de los herbicidas), componentes utilizados en la industria plástica y productos de consumo personal. Todos estos ampliamente dispersos en el ambiente, al ser transportados por medios físicos, o en el cuerpo humano (*World Health Organization*, 2002).

La Comisión Europea catalogó a 564 sustancias químicas como sospechosas de DEs, de las cuales 66 se encuentran incluidas en la lista de sustancias prioritarias evidentes de DEs y 52 se encuentran bajo revisión potencial (Blanco, 2018). Por lo que, han sido designadas por distintas agencias ambientales en todo el mundo como prioritarios para su investigación (Pellegrino, 2017).

En el ambiente los individuos que están expuestos a los DEs no pueden llegar a alcanzar la madurez sexual, por lo cual, pone en riesgo su población y el equilibrio ecosistémico. A su vez, los efectos pueden ser transferidos a las crías en periodos de gestación, morir de forma prematura o nacer con algún trastorno mutagénico. Como consecuencia a esta exposición pueden generarse procesos de biomagnificación transferidos dentro de las cadenas tróficas (Monsalve Buriticá, 2019). Según Foster y Agzarian (como se citó en Paredes y Oropesa, 2020) propusieron una clasificación de los DEs en función a los daños que produce en el sistema endócrino, divididos en tres clases; clase I, tóxicos endócrinos con existencia de evidencia científica que producen efectos adversos en los seres humanos (bifenilos policlorados). Clase II, aquellos tóxicos endócrinos con existencia de evidencia científica que producen efectos adversos en la fauna silvestre y peces, pero escasa o

inconsistente del daño que produce la exposición en humanos (perclorato). Clase III, tóxicos endócrinos con existencia de evidencia científica que producen efectos in vitro, pero carece de gran evidencia en animales (Paredes & Oropesa, 2020).

La creatividad humana ha ido desarrollándose a medida que la sociedad humana aspira a vivir de forma más confortable, esto da paso a que progresivamente se avance en nuevas tecnologías que hacen las cosas más fáciles; el surgimiento de la revolución industrial aceleró más el proceso de la formación de nuevos productos con el fin de satisfacer las demandas de grandes urbanizaciones en expansión. La obtención y uso de compuestos (muchos de ellos derivados del petróleo) como: plásticos, cosméticos, agroquímicos, energéticos y un sin fin de productos ahora son los más utilizados en la actualidad (López et al., 2018), sin embargo, recae en un aumento de la contaminación ambiental, asociado a múltiples impactos sobre los ecosistemas y poniendo en peligro la biodiversidad en su estado natural (Moreno et al., 2013).

Los disruptores endócrinos son compuestos químicos o mezclas compuestas pertenecientes a la gama de contaminantes emergentes (Gogoi et al., 2018; *World Health Organization*, 2002), capaces de ejercer grandes efectos adversos en la salud humana, fauna silvestre y ecosistemas, pese a sus bajas concentraciones (Silva y Pacheco, 2019; Paredes y Oropesa, 2020). El potencial ecotóxico de los EDC al ser liberado al ambiente por mecanismos naturales o antrópicos pueden originar perturbaciones a nivel endócrino, produciendo efectos adversos de tipo congénito en poblaciones (Miranda, 2020).

Los EDC de naturaleza persistente tienen la capacidad de bioacumularse dentro de la cadena

trófica, donde su transferencia suele presentarse de varias formas (*World Health Organization*, 2013). Estos contaminantes se desplazan por emisiones atmosféricas o por impulso de corrientes de agua, llegando a ecosistemas donde terminan siendo absorbidos por organismos vivos (Brito et al., 2020); en su mayoría son transmitidos por los vertidos que contienen productos: farmacéuticos, limpieza, higiene personal, plástico, cosméticos, entre otros, terminando en los desechos y excretas dentro del sistema de alcantarillado (Cuenca, 2019), o a su vez, dispuestos a rellenos sanitarios u vertederos abiertos, llegando a transferirse a ecosistemas cercanos por cuatro procesos: dispersión, advección, transporte de masa y reacciones de modificación (Pérez, 2018).

Las propagaciones de agroquímicos en formas directas o accidentales son trasladadas por mecanismo de lixiviación o escorrentía trascendiendo hacia otras fuentes hídricas (Climent, 2019). En el sector agropecuario se ha demostrado la utilización de algunos EDC en plaguicidas (Naranjo Márquez, 2017), además otros agroquímicos con elementos como el malatión, acefato, glifosato, metomil (Fernández, 2020). Las especies que se desarrollan cerca de plantaciones de cultivos están más expuestas a los EDC por lo que es necesario ciertas restricciones de compuestos que afectan a la salud de la fauna silvestre (Sánchez et al., 2012). La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (2019), actualizó la lista de plaguicidas prohibidos en el país, en el cual se destaca el DDT por alteraciones a la salud.

Por otro lado, están presentes en distintos productos, como plásticos fabricados a base de bisfenol-a, químico que actúa contra la biosíntesis de hormonas, procesos metabólicos o componentes que regulan el sistema interno

(Gordón, 2020). También, se pueden encontrar alquiflenoles en detergentes, Ftalatos en algunos cosméticos, en disolventes, o Bifenilos policlorados (BPCs) dentro de aparatos eléctricos (Hernández et al., 2016). Este último caracterizándose por ser persistente y bioacumulativo, infiriendo mayor daño a las especies que se encuentran en los niveles superiores de la cadena trófica (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2000; Arias et al., 2020).

La Constitución de República del Ecuador no permite la comercialización y uso de contaminantes persistentes altamente tóxicos y agroquímicos internacionalmente prohibidos (Constitución de República del Ecuador, 2008, art. 15). Por su parte la ley de recursos hídricos dicta, la Autoridad Ambiental coordinando con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, controlarán y prevendrán la acumulación de sustancias tóxicas en el suelo y el subsuelo, de los desechos y vertidos que contaminen los cuerpos de agua (Registro oficial 305, 2014, art. 79).

La importancia de esta investigación es señalar la amplia variedad de productos que contienen EDC en su composición, representando un latente peligro para los ecosistemas acuáticos, por su capacidad mutagénica (alteración genética y cromosoma), bioacumulativa (acumulación de compuestos en los organismos) y de biomagnificación (bioacumulación y transferencia a diferentes niveles tróficos) (Monsalve Buriticá, 2019). Un ejemplo es la feminización de peces causado por la presencia de fármacos (Puicano, 2020), además, existen casos de alteraciones a nivel celular y genético en invertebrados acuáticos transfiriéndose a los diferentes niveles tróficos (Aquilino, 2019). La presente investigación está enfocada a describir los efectos que las especies

acuáticas enfrentan tras la exposición a EDC utilizados de forma regular en la vida cotidiana.

Materiales y Métodos

La presente investigación está encaminada a la línea de gestión y conservación ambiental, basado en un enfoque cualitativo, de alcance descriptivo según lo propuesto por Hernández et al. (2017), comprendido dos fases: la primera, mediante una sistematización de artículos científicos en el campo de la ecotoxicológica con énfasis en las relaciones entre EDC y las afectaciones fisiológicas en las diferentes especies acuáticas y la segunda en una clasificación de productos con los elementos químicos que mayormente son utilizados en el mercado.

Se seleccionaron artículos científicos disponibles a partir del año 2000 por la escasa disponibilidad de información sobre la temática, se incluyeron estudios comparativos y metaanálisis en idioma inglés, español y portugués. La búsqueda de información fue verificada dos veces hasta obtener resultados

sólidos y posterior evaluados para aplicar los criterios de exclusión e inclusión en una matriz de Excel agrupados en cuatro categorías: alteraciones, tipos de EDC y especies.

Resultados y Discusión

De un total de 25 estudios las alteraciones se las clasificó en 5 categorías como se lo muestra en la Tabla 1, resaltando que las de tipo Genético-reproductivas son las que tienen una mayor incidencia en especies de vertebrados dónde se ha documentado la feminización de peces machos debido a la exposición a estrógenos sintéticos (etinilestradiol) presentes en efluentes urbanos, por otro lado, en invertebrados, como los moluscos marinos, compuestos como el tributilestaño (TBT) han causado masculinización de hembras, llevando a su esterilidad además; de modificar mecanismos epigenéticos como la metilación del ADN y las modificaciones en las histonas, alterando la expresión génica y provocando efectos negativos en el desarrollo y la fisiología de los organismos como de su descendientes (Godfray et al., 2019).

Tabla 1. Alteraciones por EDC

Morfológicas	Genético-reproductivas	Comportamiento	Metabólicas	Infeciosas
Hemorragias en aletas	Retraso en la reproducción	Hábitos alimenticios	Metabolismo de glucosa	Infecciones branquiales
Malformaciones	Sexos indeterminados	Desinterés sexual	Metabolismo de lípidos	Infecciones virulentas
Función branquial	Disfunción tiroidea	Feminización		
Acortamiento branquial	Deficiencia de calcio			
Lesiones en hígado	Osteoporosis			
Lesiones cerebrales	Adelgazamiento de cascaras de huevos			
	Malformaciones genitales			
	Reducción de esperma			
	Supervivencia embrionaria			

Fuente: Elaboración propia

Los EDC mencionados en los diferentes estudios se los clasificó en productos de uso comercial con su respectivo compuesto químico (Tabla 2) además, del uso con mayor incidencia (Figura 1). Medicamentos antimicrobianos como triclosán y triclocarbán, utilizados en productos de higiene personal, han mostrado

efectos de bioacumulación de bisfenoles y parabenos en especies marinas como mejillones y pepinos de mar, lo que indica su transferencia a la cadena trófica y su potencial de biomagnificación (García, 2021). Además, la presencia de bifenilos policlorados (PCB) en el agua fue uno de los primeros indicios del

impacto de los EDC en mamíferos acuáticos asociados a la desaparición de nutrias (*Lutra lutra*) en ríos del Reino Unido a mediados del siglo XX y delfines (*Delphinus delphis*) en el

Mediterráneo ya que debilitan su sistema inmunológico, haciendo más susceptibles a infecciones virales, como el brote de moquillo documentado en las décadas pasadas (Brito et al., 2020).

Tabla 2. Alteraciones por EDC

Uso comercial	Producto	Compuesto químico
Medicamentos	Esteroides y hormonas	17β-estradiol, Estriol, Dietilestilbestrol, Etopósidos, Vincristina, Cisplatino, Estrona
	Analgésicos y antiinflamatorios	Paracetamol, Benzodicepinas, Barbitúricos, Diclofenaco, Ibuprofeno, Aspirinas
	Antihelmínticos	Praziquantel, Albendazol
	Antibióticos	Bencilpenicilinas, Cefalosporinas, Glicopéptidos, Quinolonas, Macrólidos, Lincosamidas, Anfenicolas, Tetraciclinas, Sulfamidas, Penicilinas
Higiene personal	Parabenos	Metilos, Metilparabenos, Etilparabenos, Propilparabenos, Butilparabenos
	Filtros solares	Benzofenonas, Cinamatos, Bencilidenos
	Perfumes	Nitro policíclicos, Nitro macroclicos
	Almizcle sintético	Galaxadila
Aditivos	Benzotriazoles	Tributilo de Sgt, Benzotriazol, Tolitriazol
	Agentes quelantes	EDTA
Agroquímicos	Pesticidas	Clordano, DDT, Lindano, Atrazina
	Plaguicidas	Atacloro, Malation, Fenitrotion, Quinalfos, Vinclozolina, Dimetoato, Fenarimol, Carbofuran, Metamidofos, Mancozabet, Glifosato, Clorpirifos, Aldrin, Dieltrin dioxinas, Mirex, Toxafeno, Endulsofan, Metoxicloro
Polímeros plásticos	Alquilfenoles	Pvc
	Resinas y plásticos	Policarbonato, Bisfenol A, Bisfenol B, P-nonilfenol, Octilfenol, Butil bencil ftalato, Diamil ftalato, Ftalato
	Hidrocarburos	Naftalenos
Otros	Detergentes	Alquil-poliethoxilatos, Octilfenol, Triclosan, Nonilfenol
	Conservantes	Hidroxibenzoatos
	Agentes retardantes de llama	Hexabromociclododecano, Éteres difenílicos polibromados, Tetrabromobisfenol A
	Anticorrosivos	Benzotriazol, Tolitriazol
	Componentes electrónicos	Bifenilos policlorados, Ftalatos

Fuente: Elaboración propia

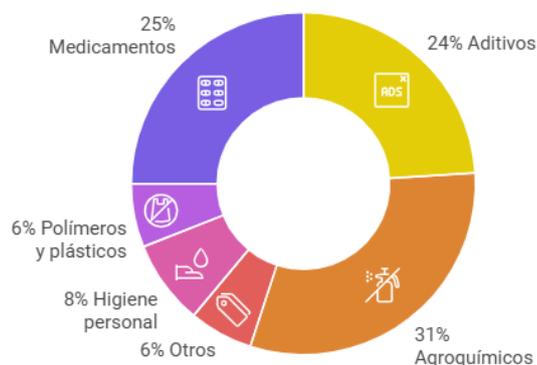


Figura 1: Incidencia de EDC por uso comercial

A continuación, se describen los artículos que cumplieron con los objetivos de elegibilidad,

mismos que se encuentran ordenados en escala cronológica de publicación; se resalta que es un tema en desarrollo con conocimiento de afecciones en el equilibrio hormonal, la reproducción, el desarrollo y el comportamiento en animales, pero la mayoría de estos compuestos aún no han sido completamente investigados en efectos que producen a especies específicas como lo mencionó Alminagorta en 2018. En peces que es el grupo con mayores estudios, se manifiestan en problemas reproductivos como feminización o masculinización, alteraciones en el comportamiento reproductivo, infertilidad y malformaciones en el desarrollo embrionario y

juvenil. Además, tienden a acumularse en los tejidos, provocando efectos tóxicos crónicos (Cuenca, 2019).

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2000), se reportan múltiples problemas de salud en humanos, incluyendo problemas dérmicos, gastrointestinales y depresión, así como cáncer y defectos de nacimiento en animales. Estas alteraciones son atribuibles a la exposición a bifenilos policlorados (PCBs), que provienen de refrigerantes y artículos electrónicos, afectando a especies como peces y mamíferos acuáticos (focas, ballenas, carpas).

Para Araújo y Costa (2011) se documenta la feminización en peces machos debido a la exposición a sustancias como alquifenoles, pesticidas, ftalatos y bisfenol A, junto con hormonas. Estos compuestos provienen de medicamentos y afectan específicamente a diferentes especies de peces.

Según Aranzazu et al. (2012) se observan alteraciones morfológicas en peces, específicamente niveles de esteroides en plasma y vitelogenina, asociadas a compuestos como bisfenol A, PCBs y DDT, así como a diversos pesticidas. Estos afectan la salud de los peces de forma significativa.

Mientras que, Dorival (2013) reporta hermafroditismo y cambios en la morfología sexual de peces, relacionados con la exposición a DDT, PCBs y bisfenol A, provenientes de pesticidas y componentes eléctricos. Esto sugiere un impacto negativo en la reproducción y salud de estas especies.

Además, en el estudio de Benítez (2013) se describe la transferencia de desórdenes fisiológicos de madre a hijo en peces, atribuidos a la exposición a DDT, DDE y PCBs, que

provienen de pesticidas. Esto indica potenciales efectos a largo plazo en la salud de las poblaciones de peces.

Dimastrogiovanni (2015) reporta el imposex en moluscos y feminización en peces machos, junto con problemas de maduración de gametos debido al tributilestaño y hormonas sintéticas. Estos efectos adversos afectan tanto a moluscos como a distintas especies de peces.

Según Planes & Fuchs (2015) se identifican efectos negativos en la tasa de reproducción de moluscos relacionados con el tributilestaño, indicando que los aditivos pueden tener efectos perjudiciales en la salud reproductiva de estos organismos. Salgueiro (2015) documenta problemas como disminución en la producción de espermatozoides y disfunciones tiroideas en peces debido a exposición a alquifenoles y pesticidas, así como a diversos polímeros y componentes electrónicos.

Cifuentes et al. (2016) observan problemas de reproducción y crecimiento en organismos acuáticos no identificados, relacionados con levonorgestrel (un anticonceptivo). Esto sugiere efectos significativos de los medicamentos en la vida acuática. Hernández et al. (2016) identifican cambios en la conducta reproductiva de insectos y problemas de maduración sexual en peces, vinculados a la exposición a una amplia gama de contaminantes como bifenilos y pesticidas.

Blanco (2018) reporta alteraciones en el comportamiento de peces y cambios en el metabolismo de lípidos en anfibios debido a sustancias como clordano y bisfenol A, afectando la salud de estas especies. Mientras que, Alminagorta (2018): identifica deficiencia de calcio en huesos de peces debido a la exposición a metales pesados en sedimentos

mineros, lo que puede influir en la salud general de las poblaciones estudiadas.

Aquilino (2019) reportan alteraciones genéticas y celulares en macroinvertebrados debido a la exposición a vinclozolina, un pesticida, sugiriendo efectos perjudiciales en la biodiversidad. Así mismo, Abellán (2019) observa problema de comunicación endocrina e infertilidad en organismos acuáticos no identificados, atribuidos a la exposición a bisfenol A y otros plaguicidas.

En el estudio de Monsalve (2019) se reportan afectaciones en la reproducción y viabilidad genética de mamíferos acuáticos debido a la exposición a organoclorados y otros contaminantes, indicando un impacto significativo en su salud. Yehia (2019) observa anomalías en el desarrollo embrionado en peces, así como problemas reproductivos en reptiles, atribuibles a una variedad de contaminantes, incluyendo metales pesados y pesticidas.

Silva y Pacheco (2019) documentan malformaciones congénitas, anomalías musculoesqueléticas y cáncer en humanos, así como defectos del tubo neural relacionados con la exposición a pesticidas como glifosato y diuron. Estos hallazgos resaltan los riesgos graves para la salud de mamíferos terrestres, incluyendo ratas y bovinos.

Cuenca (2019) identifica afecciones branquiales y reducción en la reproducción de peces, además de disfunciones cerebrales y toxicidad en macroinvertebrados. Los problemas se atribuyen a exposiciones a éteres de difenilo polibromados y diversos medicamentos, lo que sugiere que la contaminación química tiene efectos adversos en muchos niveles de la cadena alimentaria.

Pombo et al. (2020) reportan la afeminización de caimanes, infertilidad y malformaciones en reptiles, además de síntomas de vitelogenina en el hígado de los machos de peces, todas estas condiciones provocadas por la exposición a pesticidas organoclorados y metales pesados.

Brito et al. (2020) documentan la muerte prematura en nutrias, anomalías penianas y deformación de ovarios en caimanes, así como infecciones víricas en delfines, resultantes de la exposición a dioxinas, PCBs y diversos pesticidas. Esto pone de manifiesto el impacto negativo de la contaminación química en la salud de mamíferos acuáticos. Calín (2020) observa la presencia de alteraciones hereditarias en mamíferos acuáticos debido a la exposición a varios pesticidas y polímeros plásticos. Los efectos incluyen malatión y otros químicos que afectan negativamente su salud y bienestar.

Paredes y Oropesa (2020) reportan mutaciones inducidas por la exposición a esteroides, tanto naturales como sintéticos, así como a compuestos organoclorados y organofosforados, afectando a crustáceos, peces y macroinvertebrados. Esto resalta las implicancias preocupantes de la exposición a productos químicos que pueden tener efectos genéticos a largo plazo.

Mientras que, Miranda (2020) analiza alteraciones en la reproducción, incluyendo la reducción de esperma y problemas tiroideos en ranas, que resultan en feminización de embriones. El estudio sugiere que el bisfenol A y otros productos químicos, como triclosán, afectan tanto la reproducción como el desarrollo en anfibios, evidenciando un problema ambiental significativo.

Puicano (2020) identifica deficiencias reproductivas y aumento de intersexualidad en peces y macroinvertebrados, relacionadas con

el uso de hormonales y otros contaminantes. Estos cambios presentan serias implicaciones para la biodiversidad y la salud ambiental general.

García (2021) reporta altos niveles de toxicidad y muerte en crustáceos y macroinvertebrados,

atribuibles a bifenilos, parabenos y perfluorados. Estos contaminantes, comúnmente presentes en productos farmacéuticos y cosméticos, indican riesgos críticos para la vida acuática y la salud de los ecosistemas acuáticos.

Tabla 3. Alteraciones en especies

Especies	Metabólico	Genético - Reproductivas	Morfológicas	Muerte	Comportamiento
Anfibios	1				
Artrópodos		1	5		
Crustáceos		1			
Fitoplancton	1				
Invertebrados acuáticos	4	6		1	
Mamíferos acuáticos		1	1		1
Moluscos		2	1		
Organismos acuáticos no determinados	2	6			
Peces	6	14	3		2
Reptiles	1	4		1	
Total	15	35	10	2	3

Fuente: Elaboración propia

Hernández-Moreno et al. (2016), menciona una mayor alteración en la capacidad reproductiva en las mayorías de las especies que han sido expuestas a compuestos EDCeden presentarse en los medios acuáticos por introducción antropogénica, una gran parte de esto se debe a los vertidos de aguas residuales sobre los cuerpos hídricos, según Estrada et al. (2013) los DEs que provocan una mayor alteración en los diferentes organismos que se encuentran presentes en las aguas servidas son los compuestos estrogénicos como el estriol, el 17b-estradiol y el 17a-etinilestradiol (EE2). Estos compuestos son capaces de perturbar el sistema reproductivo, como en el caso 17a-etinilestradiol, según Mejía et al. (2021) el EE2 es uno de los compuestos DEs más frecuente en los ambientes acuáticos, con la capacidad de persistir en la materia orgánica, hacinarse en el sedimento y perdurar en la biota, donde se ha

demostrado sus concentraciones en diferentes partes del mundo.

Conclusiones

Los compuestos DEs de uso comercial más estudiados pertenecen al grupo de los pesticidas, debido a su amplia variedad y propagación a nivel mundial. Entre ellos se denotan diferentes compuestos que en la actualidad se prohíben su utilización en distintos países, sin embargo, muchos de estos compuestos se encuentran aún en el mercado y son usados sin restricción alguna, tal es el caso de países latinoamericanos.

Hoy en día se realizan estudios enfocados en los efectos adversos que producen los medicamentos que contienen DEs, donde en gran parte de estos contienen estrógenos, entre otros compuestos. La propagación de estos medicamentos suele transferirse a las fuentes hídricas, por su presencia en las aguas

residuales que no realizan su debido tratamiento, tal es el caso de Ecuador, denotando la falta de plantas de tratamiento de agua en diferentes partes del país.

Las alteraciones más frecuentes en los organismos acuáticos provocados por la exposición a los DEs son de tipo genético-reproductivo, entre las que destacan: retrasos de reproducción, malformaciones genitales, reducción de vida en embriones y de conteo de espermatozoides. Los DEs suelen acumularse por vía directa de los compuestos en toda la biota acuática o por transferencia en la cadena trófica exponiendo a los distintos organismos, esto demuestra la necesidad de realizar los tratamientos adecuados en disposición de aguas para separar los contaminantes emergentes antes de ser agregados a las fuentes hídricas. Cabe recalcar que los DEs afectan de forma integral a los organismos acuáticos y en muchos casos a sus descendencias, además de una disminución en la tasa de supervivencia de las crías de múltiples especies. Esto podría llegar a ser un impacto negativo muy significativo en la supervivencia de los organismos, siendo así que los DEs contribuirán a la rápida extinción algunas especies.

Referencias Bibliográficas

- Abellán Ortiz, C. (2019). *Acción regeneradora de las miofibrillas mediante la aplicación de monocitos medulares (CMN) en tejido muscular alterados por la acción del Bisfenol A*. (Tesis doctoral, Universidad De Córdoba). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10396/19178>
- Adriaens, P., Gruden, C. & McCormick, M. (2003). Biogeochemistry of Halogenated Hydrocarbons. *Treatise on Geochemistry*, 9(14), 1- 35. doi: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09162-3>
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario. (2019). *Plaguicidas prohibidos en el Ecuador*. Recuperado de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/Plaguicidas-prohibidos-en-Ecuador-1.pdf>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2000). *Bifenilos Policlorados*. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs17.pdf
- Alminagorta, E. (2018). *Evaluación de bioacumulación de metales pesados en el pez bagre (Rhamdia quelen) en el río Urubamba del centro poblado de Uritúyoc en el distrito de Marcas*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional de Huancavelica). Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2436>
- Ansoar, Y., Fontanetti, C., Christofolletti, C. & Díaz, S. (abril de 2015). Aplicaciones del Ensayo Cometa en Genética Ecotoxicológica. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 46(1), 51-62. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181238817005.pdf>
- Aquilino, M. (2019). *Evaluación de los efectos toxicogenómicos y genotóxicos de la Vinclozolina en invertebrados acuáticos*. (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia). Recuperado de <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:ED-Pg-Ciencias-Maquilino>
- Aranzazu, D., Rodríguez, B. & Duque Agudelo, B. (2012). Disrupción endocrina en peces. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 312–323.
- Arata de Bellabarba, G. (2011). Contaminantes orgánicos persistentes (cops): Qué son y cómo afectan el medio ambiente y la salud. *Revista Venezolana de Endocrinología y Metabolismo*, 9(2), 34-36.
- Argota, G., González, Y., Argota, H., Fimia, R. & Iannacone, J. (2012). Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. *Revista electrónica de Veterinaria*, 13(5), 1-12.
- Arias, M., Castro, L., Barreiro, J. & Cabana, P. (2020). Una revisión sobre los disruptores

- endocrinos y su posible impacto sobre la salud de los humanos. *Revista Española Endocrinología Pediátrica*, 11, 33-53. doi:10.3266/RevEspEndocrinolPediatr.pre2020.Nov.619
- Asamblea Nacional. (6 de agosto de 2014). Artículo 79 [Título III]. *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. [Registro Oficial 305].
- Benítez, J. (2013). *Comportamiento de contaminantes orgánicos en suelos agrícolas. Estudio de los procesos de compostaje y enmendado de suelos*. (Tesis doctoral, Universidad De Granada). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10481/31724>
- Blanco, M. (2018). *Nuevas aproximaciones toxicológicas para la detección de disruptores endócrinos y lipídicos en ecosistemas mediterráneos y sistemas celulares*. (Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/115996>
- Brito, J., Marie, J. & Ortiz, J. (2020). Los disruptores endócrinos: nuevas actualizaciones en la legislación europea. *Revista electrónica de Medio Ambiente de la UCM*, 21(1), 1-17. Recuperado de <https://www.ucm.es/iuca/volumen-21-numero-1-revista-elecde-medioambiente>
- Calín, M. (2020). *Remediation of endocrine disruptor in contaminated water through advanced oxidation processes*. (Tesis doctoral, Universidad Católica de Murcia). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10952/4890>
- Capó, M. (2007). *Principios de Ecotoxicología*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=86oL Ybnwn8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Carriquiriborde, P. (2021). *Principios de Ecotoxicología*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Cifuentes, A., Ávila, K. & Rodríguez, J. (2016). Remoción de sustancias disruptoras “levonorgestrel” en fuentes hídricas. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(1), 183-197. doi: <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v8i1.305>
- Climent, M. (2007). *Presencia de pesticidas en agua superficial y aire de la Cuenca del Río Cachapoal, Chile Central: evaluación del riesgo para la biota acuática y salud humana*. (Tesis doctoral, Universidad de Concepción). Recuperado de <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/1186>
- Constitución de la República del Ecuador [Const.]. (2008). Artículo 15 [Título II].
- Cuenca, M. (2019). *Contaminantes emergentes: Origen y destino*. (Tesis de maestría, Universidad de Alcalá). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10017/41744>
- De Araújo, J., Cardoso, C. & Costa, W. (2011). Desreguladores Endócrinos no Meio Ambiente e o Uso de Potenciais Bioindicadores. *Revista Eletrônica TECCEN*, 4(3), 33-48.
- Dimastrogiovanni, G. (2015). *Responses to environmental xenobiotics: from endocrine disruption to lipid homeostasis imbalance*. (Tesis doctoral, Universitat de Barcelona). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2445/68559>
- Dorival, N. (2013). *Estudio del comportamiento y eliminación de antibióticos y disruptores endocrinos químicos en un Biorreactor de membrana, Implicaciones ambientales*. (Tesis Doctoral, Universidad de Granada). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10481/24776>
- Elías, R., Méndez, N., Muniz, P., Cabanillas, R., Gutiérrez Rojas, C., Rozbaczylo, N., Díaz-Díaz, O. (2021). Los poliquetos como indicadores biológicos en Latinoamérica y el Caribe. *Marine and Fishery Sciences*, 34(1), 37-107. doi: <https://doi.org/10.47193/mafis.3412021010301>
- Esteves, J. (s.f.). *Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela peromyscus melanophrys que habita en zonas mineras*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos). Recuperado de

- <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/564>
- Estrada, E., Mijaylova Nacheva, P., Moeller Chávez, G., Mantilla Morales, G., Ramírez Salinas, N. & Sánchez Zarza, M. (2013). Presencia y tratamiento de compuestos disruptores endócrinos en aguas residuales de la Ciudad de México empleando un biorreactor con membranas sumergidas. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 14(2), 275-284.
- Fernández, C. (2020). *Alteraciones tiroideas en agricultores de la comunidad Chisilivi en Cotopaxi y su relación con el uso de plaguicidas como factor de riesgo*. (Trabajo de grado, Universidad Internacional del Ecuador). Recuperado de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4104>
- Godfray, H, Stephens, A, Jepson, P, Jobling, S., Johnson, A, Matthiessen, P., Sumpter, J, Tyler, C. y McLean, A (2019). Una reafirmación de la base de evidencia de las ciencias naturales sobre los efectos de los disruptores endócrinos en la vida silvestre. Oxford Martin School, Universidad de Oxford. Publicado en Proceedings of the Royal Society B, 286:20182416. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2416>
- García, M. (2021). *Bioindicadores marinos en el estudio medioambiental y transferencia a la cadena trófica de contaminantes químicos*. (Tesis doctoral, Universidad de Granada). Recuperado de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/69878>
- García, A. (2020). *Toxicovigilancia, Especies Centinela y Biomonitorización*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Germani, M., Fiuza, M., Sánchis, L., Hernández, L. & García, J. (2018). Disruptores endócrinos e hipospadias en Gran Canaria (2012-2015). *Revista Española de Salud Pública*, 92. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/ibc-177560>
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, K., Tushara, G., Kyoungjin An, & Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 169-180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
- Gordón, M. (2020). *Aplicación del principio de precaución en la salud pública caso regulación del bisfenol – a*. (Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/2953>
- Hernández, E., Duque, N. & Moreno, J. (2017). Big Data: an exploration of research, technologies and application cases. *Tecnológicas*, 20(39), 15-38. doi: <http://dx.doi.org/10.22430/22565337.685>
- Hernández, D., Míguez, M., Oropesa, A., Soler, F., van Wyk, J. & Pérez, M. (2016). Bifenilos policlorados y disrupción endocrina en la fauna salvaje. *Observatorio Medioambiental*, 19, 91-109. doi: <http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.54160>
- Kowalewski, M., Salzer, J., Deutsch, J., Raño, M., Kuhlenschmidt, M. & Gillespie, T. (2011). Black and gold howler monkeys (*Alouatta caraya*) as sentinels of ecosystem health: patterns of zoonotic protozoa infection relative to degree of human-primate contact. *American Journal of Primatology*, 73(1), 75-83. doi: <https://doi.org/10.1002/ajp.20803>
- López, M., Lovato, S. & Abad, G. (2018). El impacto de la cuarta revolución industrial en las relaciones sociales y productivas de la industria del plástico IMPLASTIC S. A. en Guayaquil-Ecuador: retos y perspectivas. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 153-160.
- Lozano, D. (2017). *Evaluación de la toxicidad de plaguicidas mediante biomarcadores moleculares y enzimáticos*. (Tesis doctoral, Universidad de Granada). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10481/48337>
- Manrique, J., Lannacone, J. & Alvaríño, L. (2018). Efecto tóxico del lufenurón sobre seis bioindicadores de calidad ambiental. *The Biologist*, 16(2), 281-297. doi: <https://doi.org/10.24039/rtb2018162249>
- Miranda, F. (2020). *Evaluación de la Toxicidad de Tres Disruptores Endócrinos a través de*

- Bioensayos con Lactuca sativa y Eisenia fetida en Suelos Tratados con Biosólidos.* (Tesis de maestría, Universidad de Chile). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176808>
- Molina, A. (2013). *Bioacumulación, biomagnificación y transferencias estacionales de mercurio en la trama trófica del sistema lagunar El Tóbari, Sonora.* (Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.). Recuperado de <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/1002>
- Monsalve, S. (2019). Metales pesados, plaguicidas y efectos de los disruptores endocrinos en la salud humana y animal. En Monsalve Buriticá, S., *Medicina de la conservación y enfermedades de la fauna silvestre* (pp. 73-82), Caldas: Corporación Universitaria Lasallista. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/338537/20793633>
- Naranjo, A. (2017). *La otra guerra. Situación de los plaguicidas en Ecuador.* Recuperado de http://www.swissaid.org.ec/sites/default/files/images/plaguicidas_web.pdf
- Paredes, A. & Oropesa, A. (2020). Compuestos disruptores endocrinos como inductores de procesos de estrés oxidativo en organismos acuáticos. Una revisión. *Revista de Toxicología*, 37, 70-79.
- Paredes, C. & Miglio, M. (2018). Evaluación del riesgo ecológico de la barita (BASO4) empleando pruebas ecotoxicológicas con doce organismos. *Ecología aplicada*, 17(1), 23-37. doi: <https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1170>
- Pellegrino, R. (2017). *Estrategias analíticas verdes aplicadas a la determinación de disruptores endócrinos en muestras complejas.* (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Rosario). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2133/13715>
- Peña, C., Carter, D. & Ayala, F. (2001). *Toxicología ambiental. Evaluación de riesgos y restauración ambiental.* Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/informacion2/toxamb.pdf>
- Pérez, R. (2018). *Análisis del comportamiento de pesticidas en el suelo y aguas subterráneas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.* (Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/115324>
- Pérez, M., Hermoso, M. & Soler, F. (2008). Los mamíferos salvajes como bioindicadores: nuevos avances en ecotoxicología. *Observatorio Medioambiental*, 11, 37-62.
- Planes, E. & Fuchs, J. (2015). Cuáles son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales. *Ciencia e investigación*, 65(2), 45-62.
- Pombo, M., Castro, L., Barreiro, J. & Cabanas, P. (2020). Una revisión sobre los disruptores endocrinos y su posible impacto sobre la salud de los humanos. *Rev Esp Endocrinol Pediatr*, 11(2), 33-53. doi: 10.3266/RevEspEndocrinolPediatr.pre2020. Nov.619
- Puicano, E. (2020). *Ecotoxicología en peces y macroinvertebrados de ecosistemas acuáticos epicontinentales: Revisión bibliográfica (compuestos farmacéuticos y fitosanitarios).* (Tesis de maestría, Universidad de Jaén). Recuperado de <https://hdl.handle.net/10953.1/13674>
- Roa, R., Delgado, J., Sandoval, M., Moyano, P. & Capó, M. (2015). Ecotoxicología del sistema edáfico: un primer paso en la medicina geológica. *Qualitas*, 9, 50-74.
- Romero, V., Raño, M., Natalini, B., Godoy, M. A., Quijano, R., Sánchez, M., Kowalewski, M. (2021). Centinelas: un proyecto de integración y acción ciudadana. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica - Claves para el Desarrollo*, 7, 31-41. doi: <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.704763>
- Salgueiro, N. (2015). *Estudio de disruptores endocrinos en el medio ambiente.* (Tesis doctoral, Universidade Da Coruña). Recuperado de

- <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/15615>
Sánchez, I. Camarero, P. & Mateo, R. (2012). Intoxicaciones intencionadas y accidentales de fauna silvestre y doméstica en España: diferencias entre Comunidades Autónomas. *Revista de Toxicología*, 29, 20-28.
- Silva, L. & Pacheco, A. (2019). Identificación de malformaciones congénitas asociadas a plaguicidas disruptores endocrinos en estados brasileños productores de granos. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 18(36), 1-26. doi: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps18-36.imcp>
- Viteri, I., Chalen, J. & Cevallos, Z. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio de las Ciencias*, 3(3), 628-646.
- World Health Organization. (2002). *International Programme on Chemical Safety Global Assessment of the State of the*

- Science of Endocrine Disruptors*. Recuperado de <https://www.who.int/ipcs/publications/en/ch2.pdf?ua=1>
- World Health Organization. (2013). *State of the science of endocrine disrupting chemicals - 2012*. Recuperado de <https://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- Yehia Anwar Ensalyed, H. (2019). Evaluación del efecto del disruptor endocrino (dioxina) sobre marcadores celulares y moleculares del sistema reproductor, inmune y nervioso. (Tesis doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104937>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Jorge Lenin León Arcos, Gonzalo de la Fuente de Val, Jennifer Paola Moyón Dávila, Edison Santiago León Trujillo.

