



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“TÉCNICAS PARA LA REMOCIÓN DE MICROCONTAMINANTES DE AGUAS  
RESIDUALES FARMACÉUTICAS”

Trabajo de Investigación para optar el grado académico de:  
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Nestor Crisanto Rojas

Asesor:

Jesus Armando Velez Azañero

Lima – Perú

2020



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°020-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 15 de enero de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Técnicas para la remoción de microcontaminantes de aguas residuales farmacéuticas** presentado por:

- **Crisanto Rojas Nestor**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Técnicas para la remoción de microcontaminantes de aguas residuales farmacéuticas** con N° de registro de la carrera: **052-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Jesus Armando Velez Azañero** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

  
  
**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

## TÉCNICAS PARA LA REMOCIÓN DE MICROCONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES FARMACÉUTICAS

Nestor Crisanto-Rojas & Armando Velez-Azañero

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales

Ingeniería Ambiental. Panamericana Sur Km 19. Lima 42

*nes.crisanto@gmail.com*

### Resumen

Las aguas residuales a nivel mundial son alrededor de 1500 km<sup>3</sup>, seis veces más que el agua que existe en todos los ríos del mundo y solo son tratados el 20%, el resto son vertidos a cuerpos de agua; el creciente consumo de los productos farmacéuticos a nivel mundial es cerca de 300 millones de toneladas. El incremento exponencial de las concentraciones de fármacos en los cuerpos de agua, puede producir impactos negativos al ecosistema acuático y la salud del ser humano; porque son compuestos de ácidos y bases débiles, lo que indica que su comportamiento en el agua está condicionado por el pH, y la constante de acides  $K_a$ ; por lo cual debe ser eliminado. La entrada de MCs al sistema acuático es a través del vertimiento de las aguas residuales y la ineficiente remoción de microcontaminantes por los sistemas de tratamiento convencional; por ende, se plantean distintas tecnologías avanzadas para la remoción de estos, entre los más resaltantes están las técnicas químicas, biológicas, técnicas combinadas y el uso de absorbentes naturales o biomasa de origen biológico natural.

**Palabras claves:** Recursos hídricos, Aguas residuales farmacéuticos, Técnicas de tratamiento, contaminantes emergentes y microcontaminantes.

**Abstract**

The wastewater worldwide is around 1500 km<sup>3</sup>, six times more than the water that exists in all the rivers in the world and only 20% are treated, the rest are discharged into bodies of water; The increasing consumption of pharmaceutical products worldwide is about 300 million tons. The exponential increase in wastewater generation and drug concentrations in water bodies can have negative impacts on the aquatic ecosystem and human health; because they are composed of weak acids and bases, which indicates that their behavior in water is conditioned by pH, and the acid constant  $K_a$  therefore, it must be removed. The entry of MCs into surface and groundwater is through the discharges that occur from wastewater and the inefficient removal of microcontaminants by conventional treatment systems; therefore, different advanced technologies are proposed for the removal of these, among the most prominent are chemical, biological, combined techniques and the use of natural absorbents or biomass of natural biological origin.

**Keywords:** Water resources, Pharmaceutical wastewater, Treatment techniques, emerging pollutants and microcontaminants.

**1. Introducción**

El agua dulce a nivel mundial es de 3 928 km<sup>3</sup> del cual se libera como agua residual cada año al ambiente 2 212 km<sup>3</sup> en todo el mundo (WWAP, 2017), los tratamientos de aguas residuales en los países varían en función a su situación económica, en los países con ingresos altos tratan el 70%, medios-altos 38%, medios-bajos 28%; y los bajos solo el 8%; más del 80% se vierten sin tratamiento (WWAP, 2017). En las regiones de Europa se trata el 71%, América Latina el 20%, y en Oriente Medio

y África del Norte un 51% (Sato *et al.*, 2013). Tres y seis de cada diez personas no cuentan con agua potable y saneamiento adecuado (WWAP, 2019).

China tiene el 8% de agua dulce del mundo y esto debe satisfacer la necesidad de 22% de la población mundial, y solo tratan el 33% de sus aguas residuales industriales el 70% de sus aguas residuales domesticas se vierten directamente a cuerpos létricos y lóticos. El 90% de las ciudades están contaminadas; generando un costo de 9% del producto bruto interno anual (Geissen, *et al.*, 2015).

En el Perú se genera 2 217 946 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales, un aproximado de 142 L/persona y solo el 32% recibe un tratamiento; del cual Lima genera 1 202 286 m<sup>3</sup>/día ratio de 145 L/persona. Las Empresas Prestadoras de Servicios de Alcantarillado (EPS) tratan el 20,5%; aproximadamente el 70% no reciben un tratamiento antes de ser vertido, y de las 143 plantas que existen en el Perú solo el 14% cumple con la normativa vigente (OEFA, 2014 y Meoño *et al.*, 2016).

La aparición de microcontaminantes (MCs) también llamado contaminantes emergentes (CEs) se ha convertido en la preocupación ambiental mundial (Vilanova *et al.*, 2017 y Rodríguez *et al.*, 2018). La evidencia de fármacos data desde los 70 con la aparición del ácido clofíbrico en los EE. UU (Santos *et al.*, 2010), desde los años 90 algunos sistemas de tratamiento de aguas residuales empezaron a mostrar concentraciones de productos farmacéuticos y en las aguas residuales se encontró alrededor de 60 MCs del cual el 50% fue de origen farmacéutico (Ibáñez, *et al.*, 2013). El 90% de los antibióticos son de baja biodegradabilidad; luego de su administración no son metabolizados (Balcioglu y Ötker, 2003 y Metcalfe *et al.*, 2003).

El objetivo de la investigación fue revisar la bibliografía disponible de las técnicas para la remoción de microcontaminantes en aguas residuales farmacéuticas, con el fin de gestionar el uso sostenible del recurso hídrico tratado, reduciendo su efecto tóxico y el contenido de microcontaminantes en el uso futuro del recurso.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Aguas residuales**

Son efluentes cuyas características han sido modificadas por actividades humanas por el uso domiciliario, industrias y otras actividades; estas contienen grasas y residuos de la industria como: herbicidas, plaguicida, hormonas, sustancias tóxicas, entre otros (OEFA, 2014). La contaminación de fuentes de agua constituye un problema grave para la humanidad, el futuro demanda a mejorar los sistemas de tratamiento (Vilanova, Santín y Pedret, 2017 y Guerrero, Vázquez y Rodríguez, 2018). En el contexto global solo el 20% de las aguas residuales son tratados antes de ser desembocado (WWAP, 2017), y se estima para 2050 que los 2,5 billones de personas serán afectados por el contenido de materia orgánica disuelta en cuerpos de agua dulce (Salazar y de las Matas, 2014; Wen *et al.*, 2017 y Damiano-Vásquez, 2018).

#### **2.1.1. Aguas Domésticas**

Efluentes de origen residencial y comercial que contiene desechos fisiológicos y entre otros, provenientes de un conjunto de actividades humanas compuesta mayoritariamente por proteínas 50%, sacarosa 8%, celulosa 8%, detergentes 10% y almidón 24% (OEFA, 2014 y Guerra, Vargas, Aguirre y Huaranga, 2018). En las

aguas residuales domésticas se pueden encontrar MCs de origen farmacéuticos, residuos de productos de consumo diario; drogas ilícitas y sus metabolitos (Gil, Soto, Usma y Gutierrez, 2013 y Lorenzo-Martínez, 2018).

### **2.1.2. Aguas Industriales**

Efluentes que resultan del desarrollo de actividades productivos, como de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial; fábricas de papel, productos farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinería, mataderos, entre otros (OEFA, 2014; Guerrero *et al.*, 2018). Los MCs presentes pueden ser de origen sintético como metales pesados; sustancias químicas complejas, colorantes, entre otros. (Gil, Soto, Usma y Gutiérrez, 2013; Fernández y Almanza, 2018 y Palacios, Sánchez y Segundo, 2018).

## **2.2. Microcontaminantes**

Sustancias químicas de origen sintético o derivadas de una fuente natural, que se descubrió recientemente y para las cuales aún no se han establecido los riesgos ambientales o de salud pública (Naidu *et al.*, 2016; Abdel-Mohsen y Paleologos, 2018). Este necesariamente no son nuevos productos químicos, sino que han persistido en el tiempo; cuya importancia y toxicidad no han sido estudiados a detalle. Tienen diferentes orígenes como sustancias tensoactivas, productos de cuidado personal, productos farmacéuticos, hormonas, retardantes de llamas, Insumos de industrias, uso de plaguicidas, nanomateriales, entre otros (Barrios *et al.*, 2015; Hamza, Lorchemen y Tay, 2016; Martínez-Piernas *et al.*, 2018 y Martínez-Piernas *et al.*, 2018b).



Estos contaminantes son omnipresentes en el medio acuático, principalmente derivados de las descargas de efluentes de aguas residuales municipales y su presencia es preocupante; debido a su impacto en el ambiente (Petrie, Barden y Kasprzyk-Hordén, 2015). Las principales fuentes de MCs son las descargas de las PTAR municipal, descargas industriales, derrames, lixiviados, rellenos sanitarios entre otros (Eggen, Moeder y Arukwe, 2010; Jurado *et al.*, 2012). Estudios recientes en Europa llegaron a identificar alrededor de 700 sustancias clasificadas en 20 clases; en el Río Llobregat se identificó 25 compuestos de pesticidas, 81 productos farmacéuticos y hormonas, 18 sustancias de perfluoroalquilo (PFAS), 12 compuestos industriales, ocho compuestos de drogas y 14 productos de cuidado personal (Banjac *et al.*, 2015 y Geissen *et al.*, 2015).

### **2.2.1. Plaguicidas y pesticidas**

Se identificaron 27 pesticidas (Campos-Mañas *et al.*, 2017), y los metabolitos producto de la degradación genera preocupación por su potencial tóxico; tal es el caso de 2,4, diclorfenoxiacético ácido (2,4-D); Ácido 4- (2,4 diclorfenox) propiónico (2,4-DP); 4- (2,4, diclorofenox) ácido butírico (2,4-DB), entre otros. Se han reportado hasta concentraciones de 2500 mg/L lo que genera una gran preocupación en la comunidad Internacional (Goodwin *et al.*, 2017). La contaminación de agua superficial por pesticidas se debe a la escorrentía del agua, la descarga de aguas fluviales agrícolas y los flujos de retorno de la agricultura al regadío (Campo, Masiá, Blasco y Picó, 2013). En estudios recientes se encontraron compuestos de pesticidas como el Atrazina e insecticida Diazinon en Francia y España (Campo, Masiá, Blasco y Picó, 2013; Köck-Schulmeyer *et al.*, 2013; Stamatis y Konstantinou,



2013; Loos et al., 2013). La remoción de las pesticidas puede ser de 80% a 90% empleando técnicas como biorreactor de membranas y el carbón activado (Goodwin et al., 2017).

### **2.2.2. Estrógenos**

Los esteroides o sustancia conocida como disruptores endocrinos (DEs), La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos considera diez DEs como los más preocupantes (EPA, 2019) pueden ser algunas de estas especies asociadas a la secreción de hormonas, productos sintéticos, así mismo existen otros fármacos que modifican la actividad endocrina como es el caso de clofibrato, la carbamazepina y la fluoxetina (Cartagena, 2011 y Jurado et al., 2012).

Los estrógenos 17 alfa-estradiol y 17Alfa-etinilestradiol tiene mayor bioactividad (Behera, Kim, Oh y Park, 2011; Nie, Qiang, Zhang y Ben, 2012 y EPA, 2015). Así mismo, existen hormonas sintéticas como es el caso de las píldoras anticonceptivas, oxandrolona, nandrolona (Vulliet y Cren-Olivé, 2011). El impacto generado varía desde el cáncer, defectos de nacimiento, la coordinación de órganos, el metabolismo, entre otros (Vilela, Bassin y Peixoto, 2018; Santos-Silva *et al.*, 2018).

### **2.2.3. Compuestos de estilos de vida**

Los compuestos y metabolitos producto del estilo de vida como es la nicotina y cafeína han sido detectados en aguas subterráneas por la inadecuada disposición de las aguas residuales sus concentraciones varían de 3% a 90% (Teijon *et al.*, 2010; Van Stempvoort *et al.*, 2011 y Cabeza, Candela, Ronen y Teijon, 2012). y se

han cuantificado edulcorantes artificiales de acesulfame, sacarina, sucralosa, entre otros (Cabeza, Candela, Ronen y Teijon, 2012).

#### **2.2.4. Cuidado personal**

Productos utilizados como preservantes de cosméticos o fragancias (Gil, Soto, Usma y Gutiérrez, 2013). El origen de estos MCs pueden ser perfumes, fragancias (policíclicas y macrocíclicas); cremas de protección de la radiación solar, Benzofenona, metilbenzilidenecambor y repelentes para los insectos: N,N-dietil toluamida (Behera, Kim, Oh y Park, 2011), asimismo tenemos otro sector de productos adictivos que generan metabolitos tal es el caso de compuesto de cocaína (Kumar, Priya, Peck y Sajwan, 2010 y Stamatias, Hela y Konstantinou, 2010).

#### **2.2.5. Drogas ilícitas**

El informe mundial de Drogas 2019 menciona que, en 2017, alrededor de 27 millones de personas de las edades de 15 a 64 años de edad consumían drogas (Mattiuzzi y Lippi, 2019 y UNODC, 2019); y estos residuos terminan en las aguas residuales por medio de las heces y la orina (Degenhardt y Hall, 2012; Rosmarin y Eastwood, 2012). Estas sustancias pueden ser de Cannabis, opioides, opiáceos, Cocaína, estimulantes de tipo anfetamínico, éxtasis y entre otros (UNODC, 2012), y pueden entrar a los efluentes residuales como sustancias complejas y/o sus metabolitos por secreción o por la disposición inadecuada de los laboratorios clandestinos (González, Burgos y Lopez, 2012). Los MCs investigados y conocidos son la anfetamina, la cocaína y sus metabolitos Benzoilecgonina, norcocaína; metanfetamina, heroína, 3,4 metilendioximetanfetamina y morfina (Van-Nuijs *et al.*,

2011 y Robledo Zacarías *et al.*, 2017). La concentración de estos varía en el agua en función de los días y las horas (Gerrity, Trenholm y Snyder, 2011 y Valcárcel, *et al.*, 2012).

#### **2.2.6. Aditivos industriales y subproductos**

Los contaminantes como bifenilos policlorados, Ftalatos, dioxinas, furanonas, hidrocarburos poli aromáticos, entre otros son productos que preocupa a los científicos (Clare *et al.*, 2010 y Cartagena, 2011). La remoción de estos compuestos en las PTAR convencional es bajo; Los estudios identificaron metales como Cu, Zn, Pb y Cr en concentraciones de 0.04 mg/L a 0.25 mg/L en efluente (Cherfi *et al.*, 2015) y en México de Cu, Zn, Fe y Mn de 1 mg/L a 53.8 mg/L en afluentes y efluentes (Robledo Zacarías *et al.*, 2017).

#### **2.2.7. Surfactantes**

Estos compuestos se agrupan en tensoactivos aniónico, etoxilado, alquilglucósidos y óxidos de amina (Terzić *et al.*, 2008 y Lechuga *et al.*, 2016). Se emplea estos en la biotecnología (Mejorar la adsorción o absorción de fármacos), productos de limpieza, productos de cuidado personal y en la mayoría de los casos en fórmulas de pesticidas (Farré *et al.*, 2012). La producción mundial de estos agentes aniónicos es del 55% y los surfactantes no aniónicos es el 40% (Scott y Jones, 2000). Otros tensoactivos no iónicos Polietoxilatos de alquilfenol, etoxilatos de nonilfenol y etoxilatos de octilfenol están sujetos a restricción de usos (Lechuga *et al.*, 2016).

#### **2.2.8. Subproductos de tratamiento de agua Potable**

Los subproductos de desinfección representan un potencial tóxico para la salud y esto se genera principalmente cuando el desinfectante reacciona con la carga orgánica o antropogénica como el bromo y yodo (Hebert *et al.*, 2010 y Colman, *et al.*, 2011). Más de 250 subproductos se han identificado, pero solo se conoce 20 (Sadiq y Rodriguez, 2004). El agente de desinfección más usado es el cloro por el bajo costo y la eficiencia en la eliminación de microorganismos patógenos; sin embargo, el cloro y su familia reacciona para producir subproductos como los trihalometanos y ácidos haloacéticos (Santa Marina *et al.*, 2010 y Espinoza Soto y Dauder, 2017).

#### **2.2.9. Retardantes de llamas**

Compuestos que son agregados a los materiales manufacturados para reducir su combustión o retrasar la propagación del fuego en un eventual incendio son organofosfatos como el Trifenil Fosfato, tricresil fosfato y bisfenol A difenil fosfato (Van der Veen y de Boer, 2012 y Loos *et al.*, 2013). A nivel mundial se produce aproximadamente media tonelada de bromo y a partir de (2000), represento el 38% de la demanda mundial en comparación con el 8% en 1974; la tendencia es creciente en la cadena alimenticia y son dañinos por su toxicidad sobre la neurona y por su actividad como disruptores endocrinos (Wu, *et al.*, 2012; Sun, *et al.*, 2018).

#### **2.2.10. Subproductos de residuos de plásticos**

Estudios indican que microplásticos (<10um) y nanoplásticos son MCs que pueden ser translocados de intestino a sistemas circulatorio de especies acuáticas (Ng *et al.*, 2018). Además, los aditivos incorporados para mejorar su calidad como flalatos,

éteres de difenilo polibromados son aditivos que al entrar en el ambiente generan efectos como disruptores endocrinos (Talsness *et al.*, 2009; Teuten *et al.*, 2009). Asimismo, estos por la superficie que presentan pueden absorber contaminantes orgánicos persistentes (COP) como los bifenilos policlorados (Bakir, Rowland y Thompson, 2012). Investigaciones recientes indican que las PTARs convencional pueden eliminar algunos MCs pero los tratamientos terciarios pueden llegar eliminar 97% de microplásticos (Carr, Liu y Tesoro, 2016; Murphy, Ewins, Carbonnier y Quinn, 2016; Sun *et al.*, 2019; Acosta-Coley *et al.*, 2019).

### **2.2.11. Microcontaminantes farmacéuticos**

300 millones de toneladas de compuestos sintéticos se vierten al agua generando un problema ambiental (Kümmerer, 2011 y Tadeo *et al.*, 2012); la persistencia de estos compuestos depende de sus propiedades químicas como la solubilidad, volatilidad, absorción, biodegradación, polaridad y estabilidad (Robledo Zacarías *et al.*, 2017). Las concentraciones de estos MCs farmacéuticos en PTAR varían de 0.0016 a 373 µg/L (Verlicchi, Aukidy y Zambello, 2012). Así mismo en España cuantificaron concentraciones altas de ciprofloxacina (323.57 ng/L) y Sulfonamidas (entre 0.01 y 3460.57 ng/L) (Teijon *et al.*, 2010; López-Serna *et al.*, 2013).

En el 2000, se han estudiado alrededor de 160 fármacos, enfocado en la mejora de las técnicas análisis y rutas de transporte, destino final y su remoción, La preocupación y estudio de los MCs son los fármacos; según las propiedades físico-químicas, los metabolitos de los fármacos producto de la degradación y la propiedad del suelo estas pueden llegar a las aguas subterráneas (Pal, Gin Lin y Reinhard,

2010; López-Serna, Petrovic y Barceló, 2012 y Bilal, Mehmood, Rasheed y Iqbal, 2019).

Los fármacos en su forma original o metabolizada pueden ser analgésicos, antiinflamatorios, antibióticos, antiepilépticos, reguladores de lípidos, anticonceptivos orales, esteroides, broncodilatadores, tranquilizantes, etc. (Hernando, Mezcuca, Fernández-Alba y Barceló, 2006); según la ruta de excreción de 212 fármacos el 64% de cada fármaco se excreta vía urinaria y un 35% vía heces. En particular los antibióticos se excretan como sustancias activas alrededor del 30% al 90% o de 40% a 80% (Chen *et al.*, 2006 y Peng *et al.*, 2009).

Se identificaron MCs farmacéuticos en afluentes y efluentes de sistemas de tratamiento de aguas residuales en distintos países como son los analgésicos (Acetaminofén, Diclofenaco, Ibuprofeno, Paracetamol y Naproxeno); Antiinflamatorios; Beta-hidroxiácidos (Ácido Salicílico); anticonvulsivos (Carbamazepina); Reguladores de lípidos (Eritromicina) y Antibióticos (Trimetoprima y Ampicilina) (Loos *et al.*, 2013; Peña-Álvarez y Castillo-Alanís, 2015 y Robledo Zacarías *et al.*, 2017).

### **2.1. Efectos potenciales de los Contaminantes Emergentes**

Pueden causar toxicidad, ecotoxicidad, alteración de los procesos endocrinos e incrementando el nivel de persistencia de los patógenos (Rosal *et al.*, 2010 y De García, Pinto, García-Encina y Irusta-Mala, 2014). Los antibióticos fomentan la persistencia de los patógenos en el ambiente acuático y el suelo y por ende presenta un riesgo potencial para la salud humana (Negreanu, Pasternak, Jurkevith y Cytryn,

2012; Novo *et al.*, 2013 y Chen *et al.*, 2014), la persistencia y acumulación en las plantas de cultivo, las tetraciclinas representan un riesgo (Boonsaner y Hawker, 2012). Así mismo el clonazepam y el lormetazepam afecta el comportamiento de los peces reduciendo la audacia, actividad y la socialización con su especie (Brodin, Finck, Jonsson y Klaminder, 2013).

Los productos hormonales en concentraciones de 5,2 ng/L pueden reducir las características sexuales de los peces y acumularse en su tejido y reducir la capacidad de reproducirse (Xu *et al.*, 2014); así mismo por medio de los peces podrían llegar a impactar la salud humana desencadenando en cáncer (Liu, *et al.*, 2011). El paracetamol inhibe la actividad de la acetilcolinesterasa produciendo neurotoxicidad a la anguila (Nunes, Verde y Soares, 2015) y en las Almejas generando un efecto tóxico que produciría la muerte de las células (Correia *et al.*, 2016).

## **2.2. Técnicas de tratamiento de microcontaminantes**

La baja eficiencia de la remoción de los MCs por la planta de tratamiento de aguas residuales convencional, requiere de otras técnicas como biorreactores con membranas, osmosis inversa, nanofiltración, sistemas combinados, entre otros (Kornboonraksa, 2016; Teodosiu, Gilca, Barjovenu y Fiore, 2018 y Kamali *et al.*, 2019). El uso de aguas tratadas en el riego de cultivos requiere de un constante monitoreo de los parámetros del suelo como la fertilidad y calidad (Idowu, Lombard, Hyder y Ulery, 2015). Se presentan algunas técnicas alternativas para la remoción de MCs, pero la eficiencia depende de muchos variables y factores (tabla 1 y tabla 2).



### **2.2.1. Coagulación y floculación**

Esta técnica se utiliza para la remoción de partículas, coloides algunas partículas disueltas; esta técnica es ineficiente para la remoción de microcontaminantes (Luo, *et al.*, 2014); en estudios realizados se evaluaron la remoción de MCs en un clarificador de coagulación-floculación laminar para tratar efluentes secundarios; la remoción varía de (20% a 50%) para los compuestos como el galaxólido, tonalide y octilfenol (Matamoros y Salvadó, 2013). pero se obtuvo la remoción de 80% para almizcles como galaxólido y tonalide, el diclofenaco 46%, naproxeno (máximo 42%) e ibuprofeno máximo 23% (Suarez, Lema y Omil, 2009).

### **2.2.2. Carbón activado**

Tanto el carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAP) son utilizados en procesos de absorción y han sido ampliamente utilizados en procesos de absorción de impurezas (Kovalova *et al.*, 2013; Adeleke *et al.*, 2019; Durango, Vásquez-Noreña y Zapata, 2018). Los efluentes hospitalarios tratados con biorreactor de membrana (MBR) usando PAC con dosis de 8, 23 mg/L y 43 mg/L con un tiempo de retención de 2 días el reactor logró una eliminación eficiente de 86% de los compuestos farmacéuticos, metabolitos y productos químicos industriales (Kovalova *et al.*, 2013). Asimismo, Hernández-Leal, Temmink, Zeeman y Buisman, (2011) en un tratamiento con PAC obtuvo una remoción de mayor 94% de MCs de cuidado personal, bisfenol A y nonilfenol con concentraciones iniciales de 100 µg / L y 1600 µg / L a una dosis de 1.25 g/L y tiempo de retención de 5 minutos. Así mismo se evalúa la eficiencia de GAC para la remoción de estrógenos

esteroides y productos farmacéuticos y se observó una remoción de 84 a 99% de diclofenaco (Grover, Zhou, Frickers y Readman, 2011).

### **2.2.3. Ozonización y procesos avanzados de oxidación (AOP)**

La AOP son eficiente y tienen procesos de desinfección que son importantes para la eliminación de patógenos es una tecnología prometedora para reducir la carga de los MCs de aguas residuales (Hollender *et al.*, 2009 y Hernández-Leal, Temmink, Zeeman y Buisman, 2011). En un estudio aplicaron 5 mg/L y obtuvieron una eliminación de los MCs mayor a 95% de compuestos como carbamazepina, diclofenaco, trimetoprima y en otro estudio realizado se aplicó  $O_3/H_2O_2$  para la remoción de MCs farmacéuticos y hormonas esteroideas el proceso mostro una eficiencia de mayor al 90% para casi todo el objetivo de estudio (Sui *et al.*, 2010 y Gerrity, Trenholm y Snyder, 2011).

El uso de la Radiación ultravioleta (UV) de longitud de onda 254 nm no es eficiente; pero con la adición de  $H_2O_2$  (7,8 mg/L), el proceso logro una eficiencia mayor a 90% para las 39 de los 41 compuestos de MCs estudiados (Kim *et al.*, 2009). La remoción de 32 MCs (productos farmacéuticos, inhibidores, biosidas, pesticidas) en un efluente de PTAR se aplicó UV (254 nm longitud de onda), UV/ $H_2O_2$ , Fenton ( $Fe^{2+}$ ,  $H_2O_2$ ) y foto-Fenton  $Fe^{2+}$ ,  $H_2O_2$  / UV y  $Fe^{2+}$ ,  $H_2O_2$  / luz solar simulada (De la Cruz *et al.*, 2012). Se obtuvo como resultado degradación de 81% de MCs con UV (46%), UV y  $H_2O_2$  (50 mg/L) y después de 30 minutos de UV/ $H_2O_2$  se obtuvo una eficiencia de 97%. El proceso Fenton (5 mg/L  $Fe^{2+}$ , 50 mg/L de  $H_2O_2$ ) lograron una eliminación de 31 MCs y luego de 30 minutos algunos compuestos se redujeron en menos del 15%; pero cuando se aplico UV en las mismas condiciones al

proceso de Fenton se obtuvo una degradación de 97% y Fenton/UV254 obtuvo una degradación de 100% en 90 minutos.

#### **2.2.4. Membranas**

El empleo de esta tecnología depende de varios factores como las condiciones de operación, características de MCs, y la contaminación de la membrana (Schäfer, Akanyeti y Semiao, 2011). Aunque la microfiltración (MF) y la ultrafiltración (UF) son eficientes para eliminar la turbidez, los MCs no son fácilmente eliminados por este proceso debido a su tamaño; pero si resulta atractivo el empleo de polímeros de membranas para la absorción de los MCs (Jermann, Pronk, Boller y Schafer, 2009 y Luo, *et al.*, 2014). Una remoción significativa de estradiol y el ibuprofeno con membrana hidrofílica fue de 40% y 8%, con la membrana hidrofóbica 80% y 25%.

Garcia *et al.*, (2013) convino el MF con Osmosis inversa (RO) para remoción de MCs, el MF removió tales el DEHP en más de 50% pero con la incorporación de RO la eliminación fue de 65 a 90% para la gran mayoría de MCs. En el estudio de dos plantas pilotos se aplicó que comprendía en tres etapas de OR después de los procesos de CAS/UF y un sistema de RO semi-lote, con el cual se logró una remoción mayor de 99% de macrólidos, 95% diclofenaco y mayor de 93% de sulfamidas (Sahar *et al.*, 2011).

#### **2.2.5. Biorreactor con membrana (BRM)**

El proceso de BRM combinado con el tratamiento biológico del lodo activado con filtración de membranas MF y UF, presenta una excelente capacidad de separación microbiana, alto contenido de biomasa y menor producción de lodo (Luo, *et al.*,

2014). Los BRMs pueden eliminar amplia gama de CMs esto debido a que retiene el lodo donde están adherido la mayoría de los MCs, asimismo la superficie de la membrana puede retener compuestos, promover la degradación microbiana de los compuestos. Pero se pueden ver afectados por algunos factores como la edad y la concentración del lodo, composición de aguas residuales, pH y la conductividad (Radjenovic, Petrovic y Barceló, 2009). La remoción de contaminantes químicos mayor a 90%, pero algunos MCs tuvieron una remoción de 24 a 68% (amitriptilina, carbamazepina, diazepam, etc.) (Trinh et al., 2012).

### **2.2.6. Tratamientos de procesos conectados**

El desarrollo de un sistema conectado para el tratamiento se basa en un sistema con un reactor fijo o móvil en suspensión y ofrecen muchos beneficios como mejor transferencia de oxígeno, alto nitrificación, mayor eficiencia en la remoción de compuestos orgánicos y menor costo de operación. La biofiltración es una tecnología atractiva para la remoción de MCs (Reungoat, Escher, Macova y Keller, 2011; Guo, Ngo y Vigneswaran, 2012 y Luo, *et al.*, 2014). Los sistemas para PTAP y PTAR incluyen filtro de goteo, filtración de arena, carbón biológico activado (BAC) (compuesto por GAC que sirve como portador de adhesión bacteriana). Reungoat *et al.*, (2011) evaluaron el rendimiento de los biofiltros con dos medios carbón activado y arena y los resultados demostraron que los BAC son más eficientes para la remoción de MCs farmacéuticos obtuvieron una remoción de 90% (Reungoat, Escher, Macova y Keller, 2011). Sistema conectado entre foto-Fenton solar y un reactor biológico aeróbico se logro una remoción de 94% de productos farmacéuticos (Ruiz-Delgado *et al.*, 2020).

### 2.2.7. Otras alternativas

La absorción es una técnica que se basa en la adherencia física o enlazamiento de los iones y moléculas en la superficie de otras moléculas, con el uso de biomasa que son buenos absorbentes por las características físicas, la composición química y su bajo costo (Cuizano, Llanos y Navarro, 2009 y Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz y Garcés-Jaraba, 2015). El tanque agitado obtuvo una remoción de Paracetamol de 33.53% a 82.30%, pero con el bagazo de caña y la cascara de cacao de 25.21% a 95.6%, para ambos a una temperatura de 20°C a 40°C (Freire-Moncayo, 2018).

Otra alternativa es la fitorremediación empleando *Chrysopogon zizanioides* (tratamiento I) y *Eischhonia crassipes* (tratamiento II), obteniendo una remoción de acetaminofén con 55.77 a 86.82% y 40 a 92% con un tiempo de retención de 96 horas (Quitiaquez y Alexander, 2018). El empleo de Humedales Artificiales como sistema complementario a un tratamiento convencional para la remoción de MCs se obtuvo una remoción para ibuprofeno de 27% a 66% y 27% a 83%, Diclorofenac de 17% a 26% y 36% a 52%, ácido salicílico 35% a 85% y 84% a 89% (Bondia, 2014).

**Tabla N° 01** eficiencia de la remoción de MCs farmacéuticas de distintos grupos de fármacos.

Agentes químicos	MCs	Remoción (%)	Referencia
	<b>Coagulantes/floculantes</b>		
Fe <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> - 25.50 ppm	Ibuprofeno	12.0 ± 4.8	(Suarez, Lema y Omil, 2009)
	Diclofenaco	21.6 ± 19.4	
	Naproxeno	31.8 ± 10.2	
	Carbamazepina	6.3 ± 15.9	
	Sulfametoxazole	6.0 ± 9.5	
	Tonalide	83.4 ± 14.3	
	Galaxolide	79.2 ± 9.9	

Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> -100, 200 mg/L	Ibuprofeno	4	(Thuy <i>et al.</i> , 2008)	
	<b>Absorbentes</b>			
PAC- 8, 23 y 43 mg/L	Diclofenaco	96, 98, 99	(Kovalova <i>et al.</i> , 2013)	
	Carbamazepina	98, 99, 100		
	Propranolol	> 91, > 94, > 94		
	Sulfametoxazole	2, 33, 62		
	Diclofenaco	>98		
GAC-escala completa	Carbamazepina	23	(Grover, Zhou, Frickers y Readman, 2011)	
	Propranolol	17		
	Estrone	64		
	17β-Estradiol	>43		
GAC-escala completa, tiempo de retención 15 minutos	17α-Estradiol	>43	(Yang, Flowers, Weinberg y Singer, 2011)	
	Ethinylestradiol	>43		
	Diclofenaco	~100		
	Carbamazepina	75		
O <sub>3</sub> (5 mg/L): 15 minutos	Trimetoprim	90	(Sui <i>et al.</i> , 2010)	
	<b>Ozonización AOP</b>			
	Carbazepina	>90		
	Diclofenaco	>90		
	Metopolol	80-90		
O <sub>3</sub> (5 mg/L) + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3.5 mg/L)	Trimetoprima	>90	(Gerrity <i>et al.</i> , 2011)	
	Diclofenaco	>99		
	Carbamazepina	>99		
	Estradiol	>83		
	Estrone	>98		
UV 254; 10 minutos	Ibuprofeno	83	(De la Cruz <i>et al.</i> , 2012)	
	Diclofenaco	100		
	Ibuprofeno	34		
	Carbamazepina	23		
UV 254 + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (50 mg/L): 10-30 minutos	Sulfametoxazole	51	(De la Cruz <i>et al.</i> , 2012)	
	Atrazine	69		
	Ibuprofeno	100		
UF	Diclofenaco	100	(Jermann, Pronk, Boller y Schafer, 2009)	
	Carbamazepine	75		
	Ibuprofeno	7		
NF	estradiol	80	(Sahar <i>et al.</i> , 2011)	
	Diclofenaco	60		
	Naproxeno	60		
	Ibuprofeno	99		

RO	Diclofenaco	95	(Linares, Yangali-Quintanilla, Li y Amy, 2011)
	<b>Biorreactor de Membrana</b>		
	Ibuprofeno	~100	
	Diclofenaco	43	
	Carbamazepine	24	
BRM	Sulfametoxazole	60	(Trinh <i>et al.</i> , 2012)
	Trimetoprima	30	
	Estrone	~100	
	Estriol	~100	
	Bisfenol A	~100	
	<b>Sistemas combinados y unidos</b>		
	Diclofenaco	~91	
BAC filtro	Carbamazepina	~95	(Reungoat, Escher, Macova y Keller, 2011)
	Sulfametoxazole	~90	
	Gemfibrozil	~90	
SBBGR	Estrone	62.2	(Balest, Mascolo, Di laconi y Lopez, 2008)
	Estradiol	68	
	Diclofenaco	>80	(Accinelli, Sacca, Mencarelli y Vicari, 2012)
ASFBBR	Ibuprofeno	~100	
MBBR	Naproxeno	~100	(Falás <i>et al.</i> , 2012)

### 3. Conclusión

Los microcontaminantes son eliminados parcialmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, dependientemente de su composición y sus propiedades químicas. En consecuencia, las aguas tratadas, las descargas directas y el riego de cultivo con aguas residuales son fuentes de entrada de MCs al sistema acuático. Aún se carecen de estudios para poder entender la dinámica, dispersión, toxicidad y el impacto que pueda producir. Los métodos de identificación y cuantificación que podemos emplear es la Espectrometría de masas y Microextracción. Las tecnologías para la remoción aún están en estudios para determinar las eficiencias, ventajas y desventajas, y la viabilidad económica. Así mismo se desconoce los



impactos que puedan producir. Las técnicas con mayor eficiencia en la remoción de MCs es el biorreactor con membranas y los sistemas de ozonización, y las técnicas combinadas. Pero aún no se conoce los subproductos que estos tratamientos producen, y si generan impactos negativos significativos.

## Referencias

Abdel-Mohsen Onsy Mohamed, Evan K. Paleologos, (2018). Chapter 10 - Emerging Pollutants: Fate, Pathways, and Bioavailability, Pages 327-358. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804830-6.00010-7>

Accinelli, C., Saccà, M. L., Mencarelli, M., & Vicari, A. (2012). Application of bioplastic moving bed biofilm carriers for the removal of synthetic pollutants from wastewater. *Bioresource technology*, 120, 180-186. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.056>

Acosta-Coley, I., Mendez-Cuadro, D., Rodriguez-Cavallo, E., de la Rosa, J., & Olivero-Verbel, J. (2019). Trace elements in microplastics in Cartagena: A hotspot for plastic pollution at the Caribbean. *Marine pollution bulletin*, 139, 402-411. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.016>

Adeleke, O. A., Saphira, M. R., Daud, Z., Ismail, N., Ahsan, A., Ab Aziz, N. A., ... & Hijab, M. (2019). Locally Derived Activated Carbon From Domestic, Agricultural and Industrial Wastes for the Treatment of Palm Oil Mill Effluent. In *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment* (pp. 35-62). Elsevier. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00002-2>

- Alcívar, M. S. G., Pérez, A. V., & Gámez, M. R. (2018). LA ZEOLITA EN LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. *Universidad Ciencia y Tecnología*, (02), 9-9. Recuperado de: <https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/73/74>
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2012). Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 64(12), 2782-2789. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.09.010>
- Balcioğlu, I. A., & Ötker, M. (2003). Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Chemosphere*, 50(1), 85-95. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00534-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00534-9)
- Balest, L., Mascolo, G., Di Iaconi, C., & Lopez, A. (2008). Removal of endocrine disrupter compounds from municipal wastewater by an innovative biological technology. *Water Science and Technology*, 58(4), 953-956. Recuperado de: <https://doi.org/10.2166/wst.2008.711>
- Banjac, Z., Ginebreda, A., Kuzmanovic, M., Marcé, R., Nadal, M., Riera, J. M., & Barceló, D. (2015). Emission factor estimation of ca. 160 emerging organic microcontaminants by inverse modeling in a Mediterranean river basin (Llobregat, NE Spain). *Science of the Total Environment*, 520, 241-252. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.055>
- Barrios, J. A., Becerril, E., De León, C., Barrera-Díaz, C., & Jiménez, B. (2015). Electrooxidation treatment for removal of emerging pollutants in wastewater

sludge. *Fuel*, 149, 26-33. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.055>

Behera, S. K., Kim, H. W., Oh, J. E., & Park, H. S. (2011). Occurrence and removal of antibiotics, hormones and several other pharmaceuticals in wastewater treatment plants of the largest industrial city of Korea. *Science of the Total Environment*, 409(20), 4351-4360. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.015>

Bilal, M., Mehmood, S., Rasheed, T., & Iqbal, H. M. (2019). Antibiotics traces in the aquatic environment: Persistence and adverse environmental impact. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.11.005>

Boonsaner, M., & Hawker, D. W. (2012). Investigation of the mechanism of uptake and accumulation of zwitterionic tetracyclines by rice (*Oryza sativa* L.). *Ecotoxicology and environmental safety*, 78, 142-147. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.11.023>

Brodin, T., Fick, J., Jonsson, M., & Klaminder, J. (2013). Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science*, 339(6121), 814-815. Recuperado de:  
<https://science.sciencemag.org/content/339/6121/814>

Cabeza, Y., Candela, L., Ronen, D., & Teijon, G. (2012). Monitoring the occurrence of emerging contaminants in treated wastewater and groundwater between 2008 and 2010. The Baix Llobregat (Barcelona, Spain). *Journal of hazardous*

*materials*, 239, 32-39. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.032>

Campo, J., Masiá, A., Blasco, C., & Picó, Y. (2013). Occurrence and removal efficiency of pesticides in sewage treatment plants of four Mediterranean River Basins. *Journal of hazardous materials*, 263, 146-157. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.09.061>

Campo, J., Masiá, A., Blasco, C., & Picó, Y. (2013). Occurrence and removal efficiency of pesticides in sewage treatment plants of four Mediterranean River Basins. *Journal of hazardous materials*, 263, 146-157. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.09.061>

Campos-Mañas, M. C., Plaza-Bolaños, P., Sánchez-Pérez, J. A., Malato, S., & Agüera, A. (2017). Fast determination of pesticides and other contaminants of emerging concern in treated wastewater using direct injection coupled to highly sensitive ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1507, 84-94. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.05.053>

Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water research*, 91, 174-182. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>

Cartagena, C. J. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Revista lasallista de investigación*, 8(2), 143-153. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4315762>

- Chen, C., Li, J., Chen, P., Ding, R., Zhang, P., & Li, X. (2014). Occurrence of antibiotics and antibiotic resistances in soils from wastewater irrigation areas in Beijing and Tianjin, China. *Environmental Pollution*, 193, 94-101. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.005>
- Chen, M., Ohman, K., Metcalfe, C., Ikonou, M. G., Amatya, P. L., & Wilson, J. (2006). Pharmaceuticals and endocrine disruptors in wastewater treatment effluents and in the water supply system of Calgary, Alberta, Canada. *Water Quality Research Journal*, 41(4), 351-364. Recuperado de: <https://doi.org/10.2166/wqrj.2006.039>
- Cherfi, A., Achour, M., Cherfi, M., Otmani, S., & Morsli, A. (2015). Health risk assessment of heavy metals through consumption of vegetables irrigated with reclaimed urban wastewater in Algeria. *Process safety and environmental protection*, 98, 245-252. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.08.004>
- Clara, M., Windhofer, G., Hartl, W., Braun, K., Simon, M., Gans, O., ... & Chovanec, A. (2010). Occurrence of phthalates in surface runoff, untreated and treated wastewater and fate during wastewater treatment. *Chemosphere*, 78(9), 1078-1084. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.052>
- Colman, J., Rice, G. E., Wright, J. M., Hunter III, E. S., Teuschler, L. K., Lipscomb, J. C., ... & Narotsky, M. G. (2011). Identification of developmentally toxic drinking water disinfection byproducts and evaluation of data relevant to mode

of action. *Toxicology and applied pharmacology*, 254(2), 100-126.

Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2011.02.002>

Correia, B., Freitas, R., Figueira, E., Soares, A. M., & Nunes, B. (2016). Oxidative effects of the pharmaceutical drug paracetamol on the edible clam *Ruditapes philippinarum* under different salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 179, 116-124. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2015.09.006>

Cuizano, N. A., Llanos, B. P., & Navarro, A. E. (2009). Aplicaciones ambientales de la adsorción mediante biopolímeros naturales: Parte 1-Compuestos fenólicos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(4), 488-494. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n4/a12v75n4.pdf>

De García, S. A. O., Pinto, G. P., García-Encina, P. A., & Irusta-Mata, R. (2014). Ecotoxicity and environmental risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments and wastewater treatment plants. *Ecotoxicology*, 23(8), 1517-1533. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10646-014-1293-8>

De la Cruz, N., Giménez, J., Esplugas, S., Grandjean, D., De Alencastro, L. F., & Pulgarin, C. (2012). Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. *Water research*, 46(6), 1947-1957. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.014>

Degenhardt, L., & Hall, W. (2012). Extent of illicit drug use and dependence, and their contribution to the global burden of disease. *The Lancet*, 379(9810), 55-70. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)61138-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61138-0)

Durango, V. L. U., Vásquez-Noreña, P. A., & Zapata, R. B. (2018). Uso de cáscara de piña como adsorbente de rojo 40 (típico de la industria alimentaria). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 87-95. Recuperado de: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/view/1362/1362>

Eggen, T., Moeder, M., & Arukwe, A. (2010). Municipal landfill leachates: a significant source for new and emerging pollutants. *Science of the Total Environment*, 408(21), 5147-5157. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.049>

EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), 2015. Use of High Throughput Assays and Computational Tools in the Endocrine Disruptor Screening Program. Recuperado de: <https://www.epa.gov/endocrine-disruption/use-high-throughput-assays-and-computational-tools-endocrine-disruptor>

Espinoza Soto, F. (2017). El Ensayo de micronúcleos en células uroteliales como indicador diagnóstico/pronóstico de riesgo genotóxico/carcinogénico. Recuperado de: [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2017/hdl\\_10803\\_400756/fes1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2017/hdl_10803_400756/fes1de1.pdf)



Falås, P., Baillon-Dhumez, A., Andersen, H. R., Ledin, A., & la Cour Jansen, J. (2012). Suspended biofilm carrier and activated sludge removal of acidic pharmaceuticals. *Water research*, 46(4), 1167-1175. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.003>

Farré, M., Kantiani, L., Petrovic, M., Pérez, S., & Barceló, D. (2012). Achievements and future trends in the analysis of emerging organic contaminants in environmental samples by mass spectrometry and bioanalytical techniques. *Journal of chromatography A*, 1259, 86-99. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.07.024>

Fernández, S. L. R., & Almanza, E. R. L. (2018). Caracterización de bacterias metal resistentes de efluentes industriales de la ciudad de león, gto. *Jóvenes en la ciencia*, 3, 305-309. Recuperado de: <http://148.214.50.9/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2288>

Freire Moncayo, P. S. (2018). *Remoción de paracetamol por biosorción en tanque agitado usando cáscara de cacao y bagazo de caña de azúcar* (Bachelor's thesis). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29294/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf>

Garcia, N., Moreno, J., Cartmell, E., Rodriguez-Roda, I., & Judd, S. (2013). The application of microfiltration-reverse osmosis/nanofiltration to trace organics removal for municipal wastewater reuse. *Environmental technology*, 34(24), 3183-3189. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.808244>

Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., ... & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57-65. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>

Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., ... & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57-65. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>

Gerrity, D., Trenholm, R. A., & Snyder, S. A. (2011). Temporal variability of pharmaceuticals and illicit drugs in wastewater and the effects of a major sporting event. *Water Research*, 45(17), 5399-5411. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.020>

Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+limpia*, 7(2). Recuperado de: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/265/126>

Gonzales, R.; Burgos. M.; Lopez. S. 2012. Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v14n2/v14n2a7.pdf>

- González, J. A. A. (2016). *Evaluación del potencial de los humedales construidos como estrategia para la eliminación de productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas residuales domésticas* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología). Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/84108520.pdf>
- Goodwin, L., Carra, I., Campo, P., & Soares, A. (2017). Treatment options for reclaiming wastewater produced by the pesticide industry. Recuperado de: <https://doi.org/10.16966/2381-5299.149>
- Grover, D. P., Zhou, J. L., Frickers, P. E., & Readman, J. W. (2011). Improved removal of estrogenic and pharmaceutical compounds in sewage effluent by full scale granular activated carbon: impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 1005-1011. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.10.005>
- Guerra, J. D. T., Vargas, J. S. M., Aguirre, R. R. P., & Huaranga, M. A. C. (2017). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2). Recuperado de: <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/RICTD/article/view/474/467>

- Guo, W., Ngo, H. H., & Vigneswaran, S. (2012). Enhancement of membrane processes with attached growth media. In *Membrane Technology and Environmental Applications* (pp. 603-634). Recuperado de: <https://doi.org/10.1061/9780784412275.ch20>
- Hamza, R. A., Iorhemen, O. T., & Tay, J. H. (2016). Occurrence, impacts and removal of emerging substances of concern from wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 5, 161-175. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.02.003>
- Hebert, A., Forestier, D., Lenés, D., Benanou, D., Jacob, S., Arfi, C., ... & Levi, Y. (2010). Innovative method for prioritizing emerging disinfection by-products (DBPs) in drinking water on the basis of their potential impact on public health. *Water research*, 44(10), 3147-3165. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.004>
- Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2011). Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. *Water Research*, 45(9), 2887-2896. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.009>
- Hernando, M. D., Mezcuá, M., Fernández-Alba, A. R., & Barceló, D. (2006). Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. *Talanta*, 69(2), 334-342. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.09.037>

Hollender, J., Zimmermann, S. G., Koepke, S., Krauss, M., McArdell, C. S., Ort, C., ... & Siegrist, H. (2009). Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by sand filtration. *Environmental science & technology*, 43(20), 7862-7869.

Recuperado de:  
[https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es9014629/suppl\\_file/es9014629\\_si\\_001.pdf](https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es9014629/suppl_file/es9014629_si_001.pdf)

Ibáñez, M., Gracia-Lor, E., Bijlsma, L., Morales, E., Pastor, L., & Hernández, F. (2013). Removal of emerging contaminants in sewage water subjected to advanced oxidation with ozone. *Journal of hazardous materials*, 260, 389-398. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.023>

Idowu, O. J., Lombard, K. A., Hyder, D., & Ulery, A. L. (2015). Soil quality of a semi-arid pasture irrigated with reverse osmosis wastewater—A case study from Northern New Mexico. *Journal of Water Resource and Protection*, 7(14), 1121. Recuperado de: [https://file.scirp.org/pdf/JWARP\\_2015092215223553.pdf](https://file.scirp.org/pdf/JWARP_2015092215223553.pdf)

Jermann, D., Pronk, W., Boller, M., & Schäfer, A. I. (2009). The role of NOM fouling for the retention of estradiol and ibuprofen during ultrafiltration. *Journal of Membrane Science*, 329(1-2), 75-84. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.12.016>

Jurado, A., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., de Alda, M. L., Pujades, E., & Barceló, D. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater in Spain: a review

of sources, recent occurrence and fate in a European context. *Science of the total environment*, 440, 82-94. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.029>

Kamali, M., Suhas, D. P., Costa, M. E., Capela, I., & Aminabhavi, T. M. (2019). Sustainability considerations in membrane-based technologies for industrial effluents treatment. *Chemical Engineering Journal*, 368, 474-494. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.075>

Kim, J. W., Jang, H. S., Kim, J. G., Ishibashi, H., Hirano, M., Nasu, K., ... & Arizono, K. (2009). Occurrence of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in surface water from Mankyung River, South Korea. *Journal of Health Science*, 55(2), 249-258. Recuperado de: <https://doi.org/10.1248/jhs.55.249>

Köck-Schulmeyer, M., Villagrasa, M., de Alda, M. L., Céspedes-Sánchez, R., Ventura, F., & Barceló, D. (2013). Occurrence and behavior of pesticides in wastewater treatment plants and their environmental impact. *Science of the Total Environment*, 458, 466-476. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.010>

Kornboonraksa, T. (2016). Using tertiary-treated municipal wastewater as makeup water by reverse osmosis membrane. *Desalination and Water Treatment*, 57(16), 7422-7431. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1024937>

Kovalova, L., Siegrist, H., Von Gunten, U., Eugster, J., Hagenbuch, M., Wittmer, A., ... & McArdell, C. S. (2013). Elimination of micropollutants during post-treatment of hospital wastewater with powdered activated carbon, ozone, and UV. *Environmental science & technology*, 47(14), 7899-7908. Recuperado de:

[https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es400708w/suppl\\_file/es400708w\\_si\\_001.pdf](https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es400708w/suppl_file/es400708w_si_001.pdf)

Kumar, K. S., Priya, S. M., Peck, A. M., & Sajwan, K. S. (2010). Mass loadings of triclosan and triclocarbon from four wastewater treatment plants to three rivers and landfill in Savannah, Georgia, USA. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 58(2), 275-285. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-009-9383-y>

Kümmerer, K. (2011). Emerging Contaminants versus Micro-pollutants. *Clean—Soil, Air, Water*, 39(10), 889-890. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/clen.201110002>

Lechuga, M., Fernández-Serrano, M., Jurado, E., Núñez-Olea, J., & Ríos, F. (2016). Acute toxicity of anionic and non-ionic surfactants to aquatic organisms. *Ecotoxicology and environmental safety*, 125, 1-8. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.027>

Linares, R. V., Yangali-Quintanilla, V., Li, Z., & Amy, G. (2011). Rejection of micropollutants by clean and fouled forward osmosis membrane. *Water*



*research*, 45(20), 6737-6744. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.037>

Liu, S., Ying, G. G., Zhao, J. L., Chen, F., Yang, B., Zhou, L. J., & Lai, H. J. (2011). Trace analysis of 28 steroids in surface water, wastewater and sludge samples by rapid resolution liquid chromatography–electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1218(10), 1367-1378. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.01.014>

Loos, R., Carvalho, R., António, D. C., Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., ... & Jarosova, B. (2013). EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water research*, 47(17), 6475-6487. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.08.024>

López-Serna, R., Jurado, A., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Petrović, M., & Barceló, D. (2013). Occurrence of 95 pharmaceuticals and transformation products in urban groundwaters underlying the metropolis of Barcelona, Spain. *Environmental Pollution*, 174, 305-315. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.022>

López-Serna, R., Petrović, M., & Barceló, D. (2012). Occurrence and distribution of multi-class pharmaceuticals and their active metabolites and transformation products in the Ebro River basin (NE Spain). *Science of the total environment*, 440, 280-289. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.027>

Lorenzo Martínez, M. (2018). Determinación de contaminantes orgánicos persistentes emergentes en el medio ambiente y evaluación de la exposición en humanos. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/184447/1/accesoRestringido.pdf>

Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., ... & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the total environment*, 473, 619-641.. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>

Martínez-Piernas, A. B., Plaza-Bolaños, P., García-Gómez, E., Fernández-Ibáñez, P., & Agüera, A. (2018). Determination of organic microcontaminants in agricultural soils irrigated with reclaimed wastewater: Target and suspect approaches. *Analytica chimica acta*, 1030, 115-124. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.05.049>

Martínez-Piernas, A. B., Polo-López, M. I., Fernández-Ibáñez, P., & Agüera, A. (2018b). Validation and application of a multiresidue method based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry for evaluating the plant uptake of 74 microcontaminants in crops irrigated with treated municipal wastewater. *Journal of Chromatography A*, 1534, 10-21. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.12.037>

Matamoros, V., & Salvadó, V. (2013). Evaluation of a coagulation/flocculation-lamellar clarifier and filtration-UV-chlorination reactor for removing emerging

- contaminants at full-scale wastewater treatment plants in Spain. *Journal of environmental management*, 117, 96-102. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.021>
- Mattiuzzi, C., & Lippi, G. (2019). Worldwide epidemiology of alcohol and drugs abuse. *European journal of internal medicine*, 70, e27-e28. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2019.10.019>
- Meoño, F. L., Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 8-25. Recuperado de: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Metcalfe, C. D., Miao, X. S., Koenig, B. G., & Struger, J. (2003). Distribution of acidic and neutral drugs in surface waters near sewage treatment plants in the lower Great Lakes, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 22(12), 2881-2889. Recuperado de: <https://doi.org/10.1897/02-627>
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental science & technology*, 50(11), 5800-5808. Recuperado de: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>
- Naidu, R., Espana, V. A. A., Liu, Y., & Jit, J. (2016). Emerging contaminants in the environment: risk-based analysis for better management. *Chemosphere*, 154, 350-357. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.068>

- Negreanu, Y., Pasternak, Z., Jurkevitch, E., & Cytryn, E. (2012). Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in agricultural soils. *Environmental science & technology*, 46(9), 4800-4808. Recuperado de: <https://doi.org/10.1021/es204665b>
- Ng, E. L., Lwanga, E. H., Eldridge, S. M., Johnston, P., Hu, H. W., Geissen, V., & Chen, D. (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 627, 1377-1388. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>
- Nie, Y., Qiang, Z., Zhang, H., & Ben, W. (2012). Fate and seasonal variation of endocrine-disrupting chemicals in a sewage treatment plant with A/A/O process. *Separation and purification technology*, 84, 9-15. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.01.030>
- Novo, A., André, S., Viana, P., Nunes, O. C., & Manaia, C. M. (2013). Antibiotic resistance, antimicrobial residues and bacterial community composition in urban wastewater. *Water research*, 47(5), 1875-1887. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.01.010>
- Nunes, B., Verde, M. F., & Soares, A. M. (2015). Biochemical effects of the pharmaceutical drug paracetamol on *Anguilla anguilla*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(15), 11574-11584. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4329-6>
- OEFA, 2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Recuperado de: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

- Pal, A., Gin, K. Y. H., Lin, A. Y. C., & Reinhard, M. (2010). Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Science of the total environment*, 408(24), 6062-6069. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.026>
- Palacios, E. M., Sánchez, J. V., & Segundo, C. T. (2019). Degradación de colorantes en aguas residuales mediante oxidación. *Inventio. La génesis de la cultura universitaria en Morelos*. Recuperado de: <http://riaa2.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/834/490-2945-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peng, X., Tang, C., Yu, Y., Tan, J., Huang, Q., Wu, J., ... & Mai, B. (2009). Concentrations, transport, fate, and releases of polybrominated diphenyl ethers in sewage treatment plants in the Pearl River Delta, South China. *Environment international*, 35(2), 303-309. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.021>
- Peña-Álvarez, A., & Castillo-Alanís, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1), 29-42. Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2015/cqb151c.pdf>
- Petrie, B., Barden, R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge,

understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water research*, 72, 3-27. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>

Quitiaquez, A., & Alexander, B. (2018). *Evaluación de dos especies vegetales en la remoción de contaminantes emergentes de aguas contaminadas bajo condiciones controladas* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2018). Recuperado de: <http://dspace.udla.edu.ec/jspui/bitstream/33000/9320/1/UDLA-EC-TIB-2018-18.pdf>

Radjenović, J., Petrović, M., & Barceló, D. (2009). Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water research*, 43(3), 831-841. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.043>

Reungoat, J., Escher, B. I., Macova, M., & Keller, J. (2011). Biofiltration of wastewater treatment plant effluent: Effective removal of pharmaceuticals and personal care products and reduction of toxicity. *Water research*, 45(9), 2751-2762. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.013>

Reyes, R. G. M., Judith, M. B., Alfredo, J. B., & Joaquín, S. L. (2013). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería*,

*investigación y tecnología*, 14(2), 223-235. Recuperado de:  
[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72238-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72238-8)

Robledo Zacarías, V. H., Velázquez Machuca, M. A., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J. L., Vallejo Cardona, A. A., López Calvillo, M. D., & Venegas González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), 221-235. Recuperado de:  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n2/0188-4999-rica-33-02-00221.pdf>

Roig Bondia, J. O. S. É. (2014). Eliminación de contaminantes emergentes mediante Humedales Artificiales como sistema alternativo o complementario a un tratamiento de aguas convencional. Recuperado de: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/44470/Tesis\\_Fin\\_de\\_mast er%20jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/44470/Tesis_Fin_de_mast er%20jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, J. A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M. J., ... & Fernández-Alba, A. R. (2010). Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water research*, 44(2), 578-588. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.004>

Rosmarin, A., & Eastwood, N. (2012). A quiet revolution: drug decriminalisation policies in practice across the globe. *Drugs, the Law and Human Rights (Release, London,, 2012)*. Recuperado de:



[https://www.tni.org/files/publication-downloads/a\\_quiet\\_revolution\\_march\\_31\\_2016.pdf](https://www.tni.org/files/publication-downloads/a_quiet_revolution_march_31_2016.pdf)

Ruiz-Delgado, A., Plaza-Bolaños, P., Oller, I., Malato, S., & Agüera, A. (2020). Advanced evaluation of landfill leachate treatments by low and high-resolution mass spectrometry focusing on microcontaminant removal. *Journal of hazardous materials*, 384, 121372. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121372>

Sadiq, R., & Rodriguez, M. J. (2004). Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review. *Science of the Total Environment*, 321(1-3), 21-46. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.05.001>

Sahar, E., David, I., Gelman, Y., Chikurel, H., Aharoni, A., Messalem, R., & Brenner, A. (2011). The use of RO to remove emerging micropollutants following CAS/UF or MBR treatment of municipal wastewater. *Desalination*, 273(1), 142-147. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.004>

Salazar, C. M., & de las Matas, S. (2014) Hacia el Vertido Cero gracias a la reutilización de aguas residuales en las Demarcaciones Hidrográficas de España. Recuperado de: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711577.pdf>

Santa Marina, L., Ayerdi, M., Lertxundi, A., Basterretxea, M., Goñi, F., Alvare, J. I., ... & Ibarluzea, J. M. (2010). Concentración de trihalometanos y de ácidos

haloacéticos en el agua de consumo y estimación de su ingesta durante el embarazo en la cohorte INMA-Guipúzcoa (España). *Gaceta Sanitaria*, 24(4), 321-328. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2010.03.003>

Santos, L. H., Araújo, A. N., Fachini, A., Pena, A., Delerue-Matos, C., & Montenegro, M. C. B. S. M. (2010). Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of hazardous materials*, 175(1-3), 45-95. Recuperado de: [https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/3012/4/ART\\_LuciaSantos\\_2010\\_GRAQ.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/3012/4/ART_LuciaSantos_2010_GRAQ.pdf)

Santos-Silva, A. P., Andrade, M. N., Pereira-Rodrigues, P., Paiva-Melo, F. D., Soares, P., Graceli, J. B., ... & Miranda-Alves, L. (2018). Frontiers in endocrine disruption: Impacts of organotin on the hypothalamus-pituitary-thyroid axis. *Molecular and cellular endocrinology*, 460, 246-257. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.07.038>

Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., & Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007>

Schäfer, A. I., Akanyeti, I., & Semião, A. J. (2011). Micropollutant sorption to membrane polymers: a review of mechanisms for estrogens. *Advances in Colloid and Interface Science*, 164(1-2), 100-117. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.09.006>

- Scott, M. J., & Jones, M. N. (2000). The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1508(1-2), 235-251. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0304-4157\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4157(00)00013-7)
- Stamatis, N. K., & Konstantinou, I. K. (2013). Occurrence and removal of emerging pharmaceutical, personal care compounds and caffeine tracer in municipal sewage treatment plant in Western Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 48(9), 800-813. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.781359>
- Stamatis, N., Hela, D., & Konstantinou, I. (2010). Occurrence and removal of fungicides in municipal sewage treatment plant. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3), 829-835. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.084>
- Suarez, S., Lema, J. M., & Omil, F. (2009). Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation. *Bioresource technology*, 100(7), 2138-2146. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.015>
- Sui, Q., Huang, J., Deng, S., Yu, G., & Fan, Q. (2010). Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. *Water research*, 44(2), 417-426. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.010>

- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C., & Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water research*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>
- Sun, R., Luo, X., Zheng, X., Cao, K., Peng, P., Li, Q. X., & Mai, B. (2018). Hexabromocyclododecanes (HBCDs) in fish: Evidence of recent HBCD input into the coastal environment. *Marine pollution bulletin*, 126, 357-362. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.040>
- Tadeo, J., Sánchez-Brunete, C., Albero, B., García-Valcárcel, A., & Pérez, R. (2012). Analysis of emerging organic contaminants in environmental solid samples. *Open Chemistry*, 10(3), 480-520. Recuperado de: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/chem.2012.10.issue-3/s11532-011-0157-9/s11532-011-0157-9.pdf>
- Talsness, C. E., Andrade, A. J., Kuriyama, S. N., Taylor, J. A., & Vom Saal, F. S. (2009). Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2079-2096. Recuperado de: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstb.2008.0281>
- Teijon, G., Candela, L., Tamoh, K., Molina-Díaz, A., & Fernández-Alba, A. R. (2010). Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). *Science of the Total Environment*, 408(17), 3584-3595. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.041>

- Tejada-Tovar, C.; Villabona-Ortiz, Á. & Garcés-Jaraba, L. 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109-123. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>
- Teodosiu, C., Gilca, A. F., Barjoveanu, G., & Fiore, S. (2018). Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment. *Journal of cleaner production*, 197, 1210-1221. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.247>
- Terzić, S., Senta, I., Ahel, M., Gros, M., Petrović, M., Barcelo, D., ... & Jovančić, P. (2008). Occurrence and fate of emerging wastewater contaminants in Western Balkan Region. *Science of the total environment*, 399(1-3), 66-77. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.003>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., ... & Ochi, D. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045. Recuperado de: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thuy, P. T., Moons, K., Van Dijk, J. C., Viet Anh, N., & Van der Bruggen, B. (2008). To what extent are pesticides removed from surface water during coagulation–flocculation?. *Water and Environment Journal*, 22(3), 217-223. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00128.x>

Trinh, T., Van Den Akker, B., Stuetz, R. M., Coleman, H. M., Le-Clech, P., & Khan, S. J. (2012). Removal of trace organic chemical contaminants by a membrane bioreactor. *Water science and technology*, 66(9), 1856-1863. Recuperado de: <https://doi.org/10.2166/wst.2012.374>

UNODC (Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito), 2019. Informe Mundial sobre las Drogas (World Drugs Report). Recuperado de: [https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR2019\\_B1\\_S.pdf](https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR2019_B1_S.pdf)

Valcárcel, Y., Martínez, F., González-Alonso, S., Segura, Y., Catalá, M., Molina, R., ... & Barceló, D. (2012). Drugs of abuse in surface and tap waters of the Tagus River basin: heterogeneous photo-Fenton process is effective in their degradation. *Environment international*, 41, 35-43. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.12.006>

Van der Veen, I., & de Boer, J. (2012). Phosphorus flame retardants: properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 88(10), 1119-1153. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.02.003>

Van Nuijs, A. L., Castiglioni, S., Tarcomnicu, I., Postigo, C., de Alda, M. L., Neels, H., ... & Covaci, A. (2011). Illicit drug consumption estimations derived from wastewater analysis: a critical review. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3564-3577. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.030>

- Van Stempvoort, D. R., Roy, J. W., Brown, S. J., & Bickerton, G. (2011). Artificial sweeteners as potential tracers in groundwater in urban environments. *Journal of Hydrology*, 401(1-2), 126-133. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.013>
- Vásquez-Rodríguez, E. D., Llamas, M., José, M., Bernal, M. Á., Trapote, A., & Prats, D. (2018). Eliminación/degradación de triazinas mediante biorreactor de membrana con post-tratamiento de ozonización. Recuperado de: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/73607/1/2018\\_Vasquez-Rodriguez\\_etal\\_KnE-Engineering.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/73607/1/2018_Vasquez-Rodriguez_etal_KnE-Engineering.pdf)
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., & Zambello, E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment—a review. *Science of the total environment*, 429, 123-155. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.028>
- Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (2017). Control en estaciones depuradoras de aguas residuales: Estado actual y perspectivas. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 14(4), 329-345. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.09.001>
- Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (2017). Control en estaciones depuradoras de aguas residuales: Estado actual y perspectivas. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 14(4), 329-345. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.09.001>



Vilela, C. L. S., Bassin, J. P., & Peixoto, R. S. (2018). Water contamination by endocrine disruptors: Impacts, microbiological aspects and trends for environmental protection. *Environmental pollution*, 235, 546-559. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.098>

Vulliet, E., & Cren-Olivé, C. (2011). Screening of pharmaceuticals and hormones at the regional scale, in surface and groundwaters intended to human consumption. *Environmental pollution*, 159(10), 2929-2934. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.033>

Wen, Y., Schoups, G., & Van De Giesen, N. (2017). Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. *Scientific reports*, 7, 43289. Recuperado de: <https://www.nature.com/articles/srep43289.pdf>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>

Xu, E. G., Liu, S., Ying, G. G., Zheng, G. J., Lee, J. H., & Leung, K. M. (2014). The occurrence and ecological risks of endocrine disrupting chemicals in sewage effluents from three different sewage treatment plants, and in natural seawater from a marine reserve of Hong Kong. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 352-362. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.029>

Yang, X., Flowers, R. C., Weinberg, H. S., & Singer, P. C. (2011). Occurrence and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in an advanced wastewater reclamation plant. *Water research*, 45(16), 5218-5228. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.026>.