

Análisis cuantitativo de la afectación de especies acuáticas por contaminantes emergentes de la industria farmacéutica.

Pablo Andrés Serrano Rueda

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Química Ambiental

Director

Yaneth Quintero López

MSc. Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Especialización en Química Ambiental

Bucaramanga

2022

### **Dedicatoria**

A mis padres Marlene y Antonio, por ser los autores principales en mi vida, por sus consejos, amor, dedicación y que cuyo esfuerzo logrado dan una vez más resultado como lo es con este proyecto. También a mis hermanos que siempre me han apoyado y alentado de manera sincera con todo su amor y cariño.

A mi esposa Nolvis que con su amor y ternura hace que todo sea más fácil, por ayudarme cuando más lo necesité, por luchar siempre de mi mano con Dios y creer siempre en mí. Te amo.

### **Agradecimientos**

A Dios por llenarme de bendiciones, fuerzas y sabiduría para poder afrontar y cumplir de manera satisfactoria este proyecto.

A mis padres por ser los promotores de mis sueños, por orar y desear que siempre me vaya bien en la vida. A mi esposa por su apoyo incondicional y por motivarme a cumplir los sueños.

A mi tutora Yaneth Quintero por su tiempo, la paciencia que tuvo conmigo y que gracias a sus enseñanzas y guía me permitió alcanzar esta meta.

A la Universidad Industrial de Santander, colaboradores y docentes de la Escuela de Química por abrirme las puertas y permitirme recibir la formación académica durante la especialización.

A todos los compañeros y colegas del curso que ayudaron de forma desinteresada, les doy las gracias por toda su ayuda y buena voluntad.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Objetivos .....	14
1.1 Objetivo General .....	14
1.2 Objetivos Específicos .....	14
2. Marco referencial .....	15
2.1 Contaminantes emergentes.....	15
2.1.1 Impactos en el ecosistema por productos fármacos .....	16
2.1.1.1 Antibióticos empleados en medicina y veterinaria .....	17
2.1.1.2 Medicamentos de analgésicos y anti-inflamatorios. ....	18
2.1.1.3 Medicamento psiquiátricos.....	23
2.1.1.4 Medicamentos de tipo reguladores de lípidos. ....	26
2.1.1.5 Medicamentos anticonceptivos .....	28
2.1.2 Cuantificación y detección de contaminantes emergentes de tipo farmacéutico .....	29
2.1.3 Métodos de tratamiento de eliminación de contaminantes emergentes en fuentes hídricas .	30
2.1.3.1 Tratamiento biológico. ....	31
2.1.3.1.1 Tratamiento con membranas. ....	31
2.1.3.1.2 Tratamiento aerobio y anaerobio.....	31
2.1.3.2 Tratamiento fisicoquímico. ....	32
2.1.3.2.1 Ultrafiltración. ....	32
2.1.3.2.2 Oxidación. ....	32

2.1.3.2.3 Empleo de adsorbentes.....	33
2.1.3.3 Tratamientos avanzados.....	33
2.1.4 Efectos al medio ambiente acuático a causa de los contaminantes emergentes de tipo farmacéutico.....	34
2.1.5 Normatividad de contaminantes emergentes.....	36
2.2 La Cienciometría.....	38
2.2.1 Scopus.....	40
2.2.2 ScienceDirect.....	40
3. Metodología.....	41
4. Análisis y resultados.....	42
4.1 Actividad científica por años.....	42
4.2 Actividad publicaciones por países.....	43
4.3 Actividad por autores.....	45
4.4 Actividad por instituciones.....	46
4.5 Actividad por área de aplicación.....	47
5. Conclusiones.....	49
6. Recomendaciones.....	52
Referencias Bibliográficas.....	53

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Clasificación de antibióticos encontrados .....	17
Tabla 2 Clasificación de analgésicos y anti-inflamatorios encontrados .....	18
Tabla 3 Clasificación de medicamentos psiquiátricos encontrados .....	23
Tabla 4 Clasificación de medicamentos reguladores de lípidos encontrados .....	26
Tabla 5 Clasificación de medicamentos anticonceptivos encontrados.....	28

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Ciclo de contaminantes emergentes en el agua .....	16
Figura 2 Efectos ocasionados por disruptores endocrinos .....	35
Figura 3 Metodología para la realización de un análisis cuantitativo. ....	38
Figura 4 Esquema de las etapas del análisis cuantitativo .....	41
Figura 5 Actividad científica por años .....	42
Figura 6 Listado de publicaciones por países.....	43
Figura 7 Listado de publicaciones por países latinoamericanos .....	45
Figura 8 Listado de autores con relación al estudio .....	46
Figura 9 Distribuciones por instituciones.....	47
Figura 10 Distribución por áreas de estudio.....	48

## Glosario

**Antibiótico:** medicamentos que permite combatir infecciones causadas por bacterias en los seres humanos y los animales.

**Cienciometría:** La cienciometría consiste en el análisis de los artículos publicados sobre un determinado tópico para investigar su desarrollo, estructura, dinámica, tendencias y relaciones de la práctica científica.

**Contaminantes emergentes:** son compuestos de naturaleza y origen químico que no están regulados por ninguna normatividad y que pueden llegar a afectar la salud y al medio ambiente.

**Cromatografía de gases:** es una técnica de separación que permite detectar diferentes compuestos de una muestra formada por compuestos volátiles.

**Industria farmacéutica:** es una rama de la industria que se dedica al descubrimiento, fabricación y comercialización de medicamentos.

**Sistemas acuáticos:** también conocido el ecosistema en el que se desarrollan, crecen e interactúan todas las especies que viven en él.

## Resumen

**Título:** Análisis cuantitativo de la afectación de especies acuáticas por contaminantes emergentes de la industria farmacéutica.\*

**Autor:** Pablo Andrés Serrano Rueda\*\*

**Palabras Clave:** contaminantes emergentes, agua superficial, productos farmacéuticos, plantas de tratamiento.

**Descripción:** Día a día la humanidad realiza una serie de actividades que van ocasionando alteraciones a nuestro hábitat, tanto así que el simple uso de productos de higiene, medicinas o aseo básico, pueden llegar a generar a corto o largo plazo afectaciones a los ecosistemas, en especial los acuáticos. Las investigaciones han catalogado este tipo de sustancias como contaminantes emergentes de difícil detección y se ha encontrado que su principal vía de ingreso a las fuentes hídricas es a través de las aguas residuales tratadas de origen doméstico e industrial, residuos hospitalarios, desechos de medicinas o incluso, aguas sin ningún tipo de tratamiento que no están consideradas en la legislación ambiental, situación que es preocupante porque el impacto al medio ambiente y salud es innegable.

En esta monografía fueron investigados y descritos los métodos de detección de este tipo de sustancias principalmente las cromatografías de gases y de líquidos acopladas a espectrometría de masas. Del mismo modo, se analizaron los mejores métodos de eliminación incluyendo los de tipo biológico, fisicoquímico y de tratamiento avanzado.

Esta actividad de análisis cuantitativo se realizó utilizando las bases de datos Scopus y Science Direct (Elsevier, 2022) y se espera sea de gran ayuda para estudios o desarrollo de objetivos planteados en solución de problemáticas de temas relacionados con los contaminantes emergentes a futuro.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Yaneth Quintero López. MSc Química

### Abstract

**Title:** Scientometric analysis of the affectation of aquatic species by emerging contaminants from the pharmaceutical industry \*

**Author(s):** Pablo Andrés Serrano Rueda \*\*

**Key Words:** emerging contaminants, surface water, pharmaceuticals, and treatment plants.

**Description:** Day by day, humanity carries out a series of activities that cause alterations to our habitat, so much so that the simple use of hygiene products, medicines or basic cleaning, can generate short or long-term damage to ecosystems, especially the aquatic one. Scientific researches had cataloged these types of substances as emerging contaminants. These species are difficult to detect and their main route of incorporation into the water sources has been through treated domestic and industrial wastewater, hospital wastes, medicine wastes or even untreated water not considered under environmental legislation. This situation is worrying due to the undeniable impact on the environment and ecosystems.

Detection methods of these kinds of substances were investigated and described: gas and liquid chromatography coupled to mass spectrometry detection. In the same way, the better methodologies employed for their elimination are described including biological, physicochemical and advanced treatments.

This scientometric study was carried out using the Scopus and ScienceDirect (Elsevier, 2022) databases and is expected to be of great help for studies or development of objectives set to solve problems of topics according to emerging contaminants in the future.

---

\* Degree Work

\*\*Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Yaneth Quintero López. MSc Química

## Introducción

En territorio colombiano las aguas residuales provenientes de las diferentes actividades siguen siendo vertidas sin control o con tratamientos deficientes a las fuentes hídricas, lo que en efecto causa alteraciones bastantes desfavorables a los ecosistemas acuáticos y población en general.

Los contaminantes emergentes – CE son compuestos químicos que se generan en las diferentes y cotidianas actividades antrópicas que en un momento llegaron a no considerarse nocivas. Así mismo, estas pequeñas trazas se van acumulando con el paso del tiempo generando afectaciones en la biota, lo que ocasiona alteraciones en el funcionamiento de la cadena alimenticia de los seres vivos. (Gil et al., 2012).

El uso desmedido y excesivo de fármacos por parte de la comunidad y los entes de salud, ha generado aguas residuales con altos contenidos de residuos químicos y desechos de medicinas o sus metabolitos (Martínez et al., 2018). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha advertido sobre gran cantidad de distintos tipos de residuos farmacéuticos que están siendo vertidos en las fuentes hídricas; esto genera preocupación debido a que estas aguas están llegando a los acueductos y por ende se encuentra en el agua potable que consumimos diariamente (WHO, 2014).

Las diferentes sustancias que son descargadas se constituyen en productos de tipo farmacéutico, aseo y cuidado personal, químicos, plaguicidas, cosméticos, hormonas, detergentes, metales pesados, etc., que en un principio se creía que no generaban ningún riesgo pero que con el paso del tiempo se han venido concentrando hasta alcanzar niveles de concentración peligrosos para los seres vivos y en general el medio ambiente (Erzinger et al., 2013); es por esto que en los

últimos años se ha venido prestando especial atención a estos contaminantes, lo que ha permitido realizar diversas investigaciones, logrando así identificar nuevas sustancias contaminantes en las aguas.

Según estudios realizados en los últimos tiempos, se han detectado más de 150 compuestos medicinales de uso humano y veterinario (Rodríguez, 2013), por ejemplo, en una investigación realizada en el departamento de Córdoba – Colombia en el año 2021, se determinó que el ibuprofeno fue el compuesto con mayor frecuencia en las muestras de agua, mientras que el triclosán fue el menos detectado (2,25 µg/L); igualmente, se halló cafeína en un máximo de 43,38 µg/L al igual que las concentraciones de naproxeno e ibuprofeno estuvieron entre 0,047 y 10,21 µg/L, resaltando la presencia de ibuprofeno y gemfibrozilo en agua de consumo humano. (Flórez et al., 2021). Por otro lado, en el estudio realizado por Schwaiger y colaboradores en el 2004, encontraron que a bajas concentraciones de diclofenaco (1 µg/L) se empiezan a observar variaciones en las truchas arcoíris, detectándose modificaciones en los riñones y branquias, además de acumulación del compuesto estudiado en diversos órganos (Schwaiger, et al., 2004). Así mismo, la presencia de altas concentraciones de propanol en la fuente hídrica puede llegar a afectar la capacidad de intercambio de oxígeno de los peces con el medio ambiente (Owen et al., 2007).

Desafortunadamente, en la actualidad, los sistemas de tratamiento han sido diseñados para evaluar y dar cumplimiento a los parámetros presentes en la normatividad colombiana, como lo es el pH, Grasas y Aceites, Demanda Biológica de Oxígeno – DBO, Sólidos Suspendidos Totales – SST, entre otros, pero no especifican directamente que impacto negativo se daría en un ecosistema acuático ni mucho menos como tratar o regular los contaminantes emergentes.

Se espera que este tema tan importante se convierta en un objeto de estudio científico y alerte a las autoridades ambientales competentes para que se realicen la caracterización requerida

y las modificaciones necesarias de los sistemas de tratamiento de aguas potables para evitar que estas sustancias y sus metabolitos causen problemas de salud severos (García et al., 2011).

El desarrollo de esta monografía intenta por medio un análisis cuantitativo analizar artículos publicados sobre este tema empleando bases de datos que permitan determinar cuáles son los contaminantes emergentes más peligrosos y cuál es su impacto en los ecosistemas acuáticos.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Realizar un análisis cuantitativo utilizando bases de datos de tipo científico e investigativo referente a los contaminantes emergentes provenientes de la industria farmacéutica en especies acuáticas.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Establecer los diferentes tipos de contaminantes emergentes provenientes de la industria farmacéutica, mediante una revisión bibliográfica.

Relacionar los posibles tratamientos o eliminación de los contaminantes emergentes de la industria farmacéutica en las especies acuáticas, aplicando estudios bibliométricos de tipo investigativo.

Establecer los efectos en la salud pública y en el medio ambiente por la presencia de contaminantes emergentes de la industria farmacéutica.

## **2. Marco referencial**

### **2.1 Contaminantes emergentes**

Los contaminantes emergentes (CE) hacen referencia a compuestos de diversa naturaleza química que no se degradan fácilmente. Estas sustancias han sido detectadas en aguas crudas, aguas residuales domésticas y no domésticas, en residuos de plantas de tratamiento, residuos hospitalarios y farmacéuticos, entre otras, generando una alerta ya que las plantas de tratamiento convencionales no están diseñadas ni para detectarlas ni para eliminarlas (Gil et al., 2012).

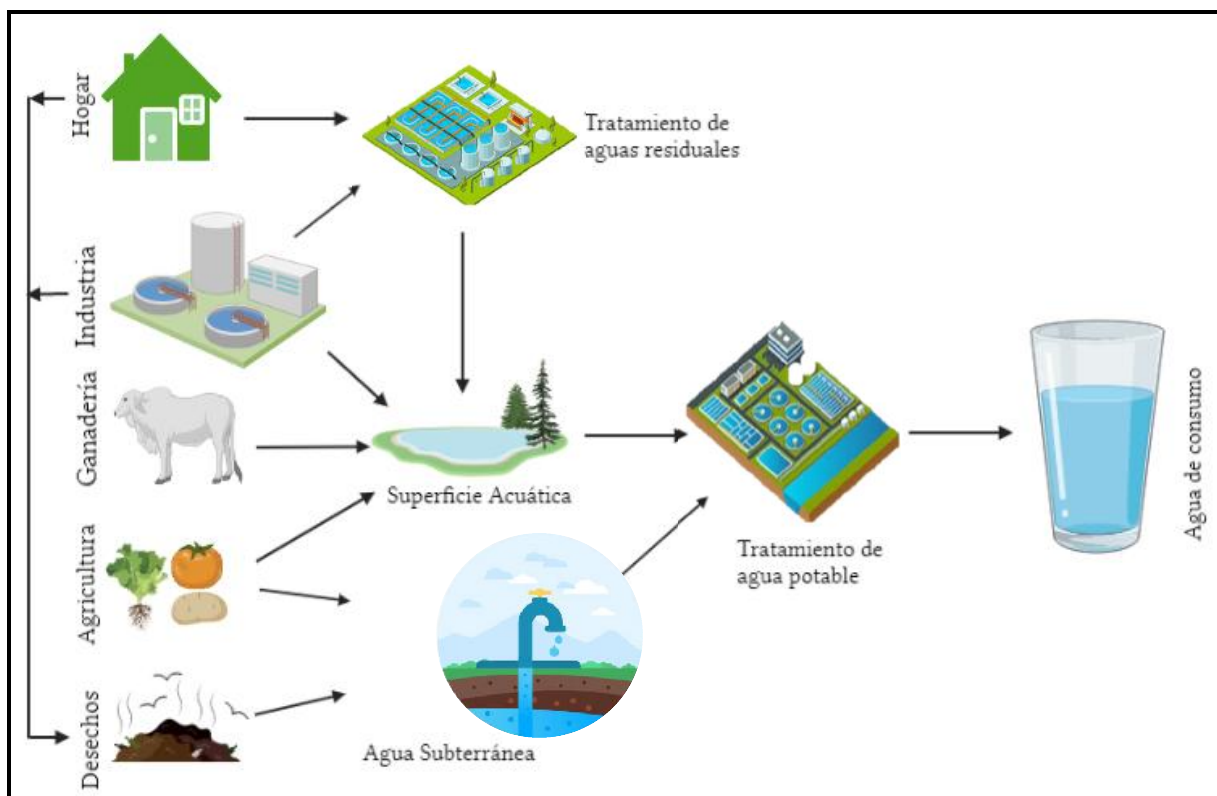
Los contaminantes emergentes se originan en la industria y en los hogares, en desechos de tipo líquido y sólido, los primeros van a plantas de agua residual y los segundos a centros de acopio que producen lixiviados que terminan afectando el suelo e incluso, las aguas subterráneas y los cuerpos de agua superficiales; desafortunadamente al no contar con desarrollo científico de punta que permita detectar y remover estos contaminantes, se está dando el ingreso a las plantas de agua potable ocasionando afectaciones en la salud (Delgado, 2016).

La actividad farmacéutica se ha convertido en un gran campo económico; se producen y exportan grandes cantidades de químicos farmacéuticos que se usan en el tratamiento de enfermedades tanto en los seres humanos como en los animales. Es un área científica en constante desarrollo ya que tiene como fin encontrar nuevos tratamientos para las enfermedades. Ahora bien, como cualquier actividad de tipo industrial y productivo, hace uso de materias primas para la elaboración de los fármacos, lo que genera desechos de productos y subproductos del procedimiento aplicado (Urbina et al., 2020).

Para lograr contextualizar el principio de los contaminantes emergentes, se diseñó el esquema de la Figura 1 que muestra el recorrido que siguen estos compuestos desde su origen hasta su destino final.

**Figura 1**

*Ciclo de los contaminantes emergentes en el agua*



*Nota.* Ciclo de contaminantes emergentes al agua. Tomado de (Velicu et al., 2009).

### **2.1.1 Impacto de la acumulación de fármacos en los ecosistemas**

Las sustancias de tipo fármaco son creadas para solucionar las afectaciones en la salud de las personas y los animales, sin embargo, solo recientemente se ha empezado a investigar cuál es el impacto de la acumulación de estas sustancias en las especies acuáticas.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, en las siguientes tablas se recopilan las clases de fármacos que se han encontrado en las fuentes hídricas, así como el impacto que producen sobre el medio ambiente con base en investigaciones realizadas y reportadas recientemente a nivel internacional.

**2.1.1.1 Antibióticos empleados en medicina y veterinaria.** La gran mayoría de las investigaciones realizadas para detectar antibióticos en el agua apuntan principalmente a los usados en la industria ganadera, por ejemplo, la sulfametazona encontrada en el río Poudre, al norte de Colorado en Estados Unidos (Yang et al., 2004).

**Tabla 1**

*Clasificación de antibióticos encontrados en el agua*

<b>Compuesto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Referencia</b>
<b>Trimetoprima</b>	En un total de 30 estados, en Estados Unidos, se encontraron valores de esta sustancia en agua superficial entre 0,013 a 0,150 µg/L.	Kolpin, D.W. et al. 2002
	En Renania del Norte-Westfalia, Noroeste de Alemania, se hallaron niveles de trimetropina en un rango de 0,003 a 0,012 µg/L.	Christian, T. et al. 2003
<b>Oxitetraciclina</b>	En Estados Unidos, las investigaciones realizadas en fuentes hídricas	Kolpin, D.W. et al. 2002

	reportaron concentraciones de esta sustancia de 0,340 µg/L	
	En Estados Unidos, en 30 estados, se reportaron valores de esta sustancia en sistemas acuáticos en un rango de 0,066 a 0,150 µg/L.	
<b>Sulfametoxazola</b>	En Alemania se determinaron niveles de esta sustancia alrededor de 0,030 µg/L. Mientras que en Renania del Norte-Westfalia del mismo país, se hallaron niveles de sulfametoxazola en magnitudes entre 0,004 y 0,052 µg/L.	Kolpin, D.W. et al. 2002 Hirsh, R. et al. 1999 Christian, T. et al. 2003

*Nota.* Clasificación de antibióticos. Elaboración propia.

**2.1.1.2 Medicamentos de analgésicos y anti-inflamatorios.** La utilización de medicinas como el diclofenaco, ibuprofeno, naproxeno y sus derivados, han sido los más reportados en aguas superficiales y residuales. En una investigación realizada en Estados Unidos, Gross et al. (2004) afirmó que, en las fases de clarificación y fase biológica de las plantas de tratamiento de agua, era frecuente encontrar concentraciones de alrededor de 0,1 µg/L de dichos compuestos.

## **Tabla 2**

*Clasificación de analgésicos y anti-inflamatorios encontrados*

Compuesto	Descripción	Referencia
<b>Acetaminofén</b> <b>Paracetamol</b>	En Alemania se encontraron valores máximos en el efluente de planta de tratamiento de aguas residuales de 6,0 µg/L. No fueron detectados en aguas superficiales.  Inmovilización Daphnia CE50 0,27-0,90 mM (milimolar).	Ternes, T.A. 1998  Lilius, H. et al. 1995
<b>Desacetilación</b> <b>(forma más activa de ácido acetilsalicílico, ácido salicílico)</b>	En Alemania los niveles máximos en el vertimiento de la planta de tratamiento son de 1,5 µg/L, mientras que en aguas superficiales es de 0,34 µg/L.  En aguas residuales de los municipios se han encontrado valores de 4,1 µg/L, 3,6 µg/L, 13 µg/L y 59,6 µg/L.	Ternes, T.A. 1998  Farré et al. 2001  Heberer. 2002  Metcalf et al. 2003a
<b>Naproxeno</b>	En Louisiana Estados Unidos, se ha encontrado magnitudes de 145 ng/L, en canales de aguas.  En Canadá los niveles en la salida de las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido en promedio de	Boyd et al. 2004  Metcalf et al. 2003a

Compuesto	Descripción	Referencia
	12,5 µg/L y han tomado valores máximos de 33,9 µg/L.	
<b>Ketoprofeno</b>	<p>En Alemania se han reportado niveles máximos en las plantas de tratamiento de aguas residuales de 0,38 µg/L y en aguas superficiales de 0,12 µg/L.</p> <p>Por su parte Brasil, en la entrada de los sistemas de tratamiento de agua residual se han determinado niveles que alcanzan 0,5 µg/L, pero que marca un eficiente porcentaje de remoción que van en el orden de 48 - 69%.</p>	<p>Ternes, T.A. 1998</p> <p>Stumpf, M. et al. 1999</p>
<b>Diclofenaco</b>	<p>En los sistemas de tratamiento de aguas residuales de diversos países ha sido comúnmente detectado en rangos de µg/L y en las aguas superficiales en unidades de medida muchos más bajos.</p> <p>Por ejemplo, en Alemania ha sido hallado en aguas residuales con</p>	<p>Heberer et al. 1997;</p> <p>Buser et al. 1998b;</p> <p>Stumpf et al. 1999;</p> <p>Farré et al. 2001;</p> <p>Sedlak et al. 2001;</p> <p>Heberer. 2002</p> <p>Ternes, T.A. 1998</p> <p>Buser, H-R. et al. 1998a</p>

Compuesto	Descripción	Referencia
	<p>concentraciones de 0,81 <math>\mu\text{g/L}</math> y su remoción en las plantas de tratamiento de aguas residuales logra el 69%. El mayor valor en el vertimiento ha sido encontrado en 2,1 <math>\mu\text{g/L}</math> y en aguas superficiales de 1,2 <math>\mu\text{g/L}</math>.</p> <p>En Suiza se ha reportado que los valores de la entrada a la planta de tratamiento de aguas alcanzan cifras entre los 500 - 1800 <math>\text{ng/L}</math> logrando un 50% de remoción de la concentración. Los lagos suizos se hallan entre 1 – 12 <math>\text{ng/L}</math> y sus ríos en el orden de 11-310 <math>\text{ng/L}</math>.</p> <p>Por otro lado, en Brasil los valores de la entrada del sistema han sido determinados en un 0,8 <math>\mu\text{g/L}</math> con resultados de remoción entre el 9-75%</p>	
<b>Ibuprofeno</b>	<p>Se han encontrado altas concentraciones de este compuesto en vertimientos con cifras de alrededor</p>	<p>Heberer et al. 1997; Ternes, T. A. 1998; Buser et al. 1999;</p>

Compuesto	Descripción	Referencia
	de 85 µg/L en España y de 24,6 µg/L en Canadá.	Stumpf et al. 1999 Farré et al. 2001
	En Noruega se presenta en aguas residuales y en aguas marinas con valores entre 0,1 - 20 µg/L.	Metcalfé et al. 2003 Weigel et al. 2004 Thomas, K.V. et al. 2004.
	En el Reino Unido las medidas se han encontrado en cifras de 0,93 µg/L y con promedios de 0,05 µg/L.	Kolpin et al. 2002 Boyd et al. 2004 Ternes T.A., 1998
	En Estados Unidos se ha determinado que es altamente removido durante el tratamiento de aguas residuales. Se ha determinado ibuprofeno en el 10% de las muestras de agua superficial con resultados máximos de 1 µg/L y en promedio de 0,2 µg/L. También en canaletas de aguas lluvias, en el estado de Lousiana, se ha reportado concentraciones de ibuprofeno de 674 ng/L. Mientras que en Alemania se han encontrado plantas de tratamiento de aguas residuales con eficiencia del	Stumpf M. et al, 1999

Compuesto	Descripción	Referencia
	90% de remoción, presentan valores máximos en el vertimiento de 3,4 µg/L y de 0,53 µg/L en sistemas acuáticos.	
	En plantas de tratamiento de agua residual en Brasil, se ha determinado que los valores en la entrada del sistema alcanzan concentraciones de 0,3 µg/L con una remoción que va en el orden del 22 – 75%.	

*Nota.* Clasificación de analgésicos y antiinflamatorios. Elaboración propia.

**2.1.1.3 Medicamento psiquiátricos.** La siguiente tabla ilustra las distintas medicinas psiquiátricas determinadas por los investigadores en el área ambiental.

**Tabla 3**

*Clasificación de medicamentos psiquiátricos encontrados en el agua*

Compuesto	Descripción	Referencia
	En general, se ha detectado en altos valores en aguas residuales con 6,3 µg/L y también en concentraciones bajas del alrededor de 3,15 µg/L.	Herberer et al., 2002 Andreozzi et al., 2003 Metcalf et al., 2003 Weigel et al., 2004. Metcalf et al., 2003
<b>Carbamazepina</b>		

Compuesto	Descripción	Referencia
	<p>En Canadá fue hallada en el vertimiento de la planta de tratamiento en niveles de 2,3 µg/L. Mientras que en Alemania el compuesto fue encontrado en el río Elba por encima de valores de 1 µg/L y se estima que se así mismo esté presente en aguas subterráneas.</p> <p>En Estados Unidos se detectó que los valores promedio en ríos alcanzan los 60 ng/L y de 4,2 ng/mg en los sedimentos. En plantas de tratamiento de aguas residuales fue hallado en concentraciones promedio de 20,9 ng/mg de manera sólida (lodos).</p>	<p>Weigel et al., 2004</p> <p>Ternes T.A., 1998</p> <p>Heberer T., 2002</p> <p>Seiler et al., 1999</p> <p>Sacher et al., 2001</p> <p>Ternes et al., 2001</p> <p>Thaker, 2005</p>
<b>Diazepam</b>	<p>En Alemania se encontró en 8 de 20 plantas de tratamiento de aguas residuales con valores en tendencia baja de 0,04 µg/L.</p>	<p>Ternes, T.A. 1998</p> <p>Van der Ven, K. et al. 2004</p> <p>Genicola, F.A. 1999</p>

Compuesto	Descripción	Referencia
	<p>En Bélgica los valores a las cuales este medicamento ha sido detectado están sobre los 0,66 µg/L.</p> <p>Mientras que en Estados Unidos fue reportado en aguas subterráneas en magnitudes que oscila entre los 10 - 40 µg/L</p>	
<b>Fluoxetina</b>	<p>En Canadá ha sido determinada en vertimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, en desagües y aguas superficiales con valores de 99 ng/L.</p> <p>En Estados Unidos fueron encontradas en aguas superficiales con rangos de medias de 0,012 µg/L y en desagües de agua con valores de 12 ng/L.</p>	<p>Metcalfe et al. 2003a</p> <p>Metcalfe et al. 2003b</p> <p>Kolpin et al. 2002</p>
<b>Primidona</b>	<p>Se ha encontrado en aguas residuales con resultados de 0,6 µg/L.</p>	<p>Heberer, T. 2002</p>

**2.1.1.4 Medicamentos de tipo reguladores de lípidos.** La siguiente tabla muestra los distintos reguladores de tipo lípido detectadas por los investigadores en el área ambiental tanto en plantas de tratamiento de aguas residuales como en aguas superficiales.

**Tabla 4**

*Clasificación de medicamentos reguladores de lípidos encontrados*

<b>Compuesto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Referencia</b>
<b>Ácido clofibrico</b>	Se han reportado en aguas residuales, aguas superficiales y aguas marinas, al igual que en niveles altos para aguas subterráneas de 4 µg/L. Para aguas potables se han detectado magnitudes entre 0,07 – 0,27 µg/L.	Buser et al. 1998a Ternes, T.A. 1998 Heberer, T. et al. 1997 Stumpf et al. 1996 Heberer, T. 1997
<b>Bezafibrato</b>	En Alemania se ha determinado el compuesto en valores que van desde los 3,1 y 4,6 µg/L, con cifras promedio de 2,2 y 0,35 µg/L en aguas residuales y aguas superficiales, respectivamente. La remoción ha tenido una respuesta favorable del 83% en plantas de tratamiento de aguas residuales.	Ternes, T.A. 1998 Stumpf et al. 1999

Compuesto	Descripción	Referencia
	<p>En Brasil se ha estimado que las entradas de las plantas de tratamiento arrojan resultados de 1,2 µg/L, con una capacidad de remoción que oscila entre el 27 y 50%.</p>	
<b>Gemfibrozil</b>	<p>En Estados Unidos fue encontrado en un 4% de las aguas superficiales con concentraciones máximas de 0,79 µg/L.</p>	
	<p>En Alemania se ha detectado que la respuesta de la remoción en sistemas de tratamiento es del 69%, los valores máximos del efluente fueron de 1,5 µg/L y las medidas en aguas superficiales se encontraron en 0,51 µg/L.</p>	<p>Kolpin et al. 2002 Ternes, T.A. 1998 Stumpf et al. 1999</p>
	<p>En Brasil se han hallado valores en la entrada de las plantas de tratamiento de agua residual por el orden de 0,3 µg/L, con una remoción del compuesto entre el 16 y 46%.</p>	

Compuesto	Descripción	Referencia
<b>Fenofibrato</b>	En Alemania se ha detectado valores máximos del vertimiento de la planta de tratamiento de 0,03 µg/L.	Ternes, T.A. 1998

*Nota.* Clasificación de medicamentos reguladores de lípidos. Elaboración propia

**2.1.1.5 Medicamentos anticonceptivos.** La presencia de algunas hormonas anticonceptivas que han sido el resultado de diversos estudios por los investigadores se representa en la siguiente tabla.

**Tabla 5**

*Clasificación de medicamentos anticonceptivos encontrados*

Compuesto	Descripción	Referencia
<b>17 -etinilestradiol (EE2)</b>	Esta sustancia ha sido encontrada en valores que van en entre 0,05 a 831 ng/L.	Ternes, et al. 1999 Baronti et al. 2000 Huang et al. 2001
	En general, en Europa se ha detectado en vertimientos y aguas superficiales cifras que oscilan entre 0,5 y 7 ng/L, sin embargo, en algunos casos se han encontrado en medidas de hasta 50 ng/L.	Kolpin et al. 2002 Desbrow, et al. 1998 Larsson et al. 1999 Aherne, G.W. et al. 1989 López de Alda et al. 2002 Kolpin et al. 2002 Baronti et al. 2000

Compuesto	Descripción	Referencia
	<p>En sedimentos recolectados en ríos del noreste español se detectó la presencia de este compuesto en peso seco de 22,8 ng/g.</p> <p>En Estados Unidos investigaciones han reportado que los resultados máximos y promedio de 17 - etinilestradiol (EE2) fueron cercanos a 831 y 73,0 ng/L, respectivamente.</p> <p>Los valores de estas sustancias en los vertimientos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales permitieron ver concentraciones cercanas a 0,5 ng/L.</p>	

*Nota.* Clasificación de medicamentos anticonceptivos. Elaboración propia.

### ***2.1.2 Cuantificación y detección de contaminantes emergentes de tipo farmacéutico***

En su mayor parte los contaminantes emergentes se diluyen fácilmente en el agua por su tipo de estructura química, por lo cual son una amenaza constante para los ecosistemas, vida humana y medio ambiente en general (Nicolas, 2013).

Específicamente para la determinación de sustancias de tipo fármaco se ha utilizado la cromatografía de gases y de líquidos acoplados a espectrometría de masas, esta última es la que principalmente se tiende a emplear en la detección de estos contaminantes a sus estructuras

químicas y peso molecular. La detección con espectrometría de masa ofrece ventajas con respecto a otros detectores debido a su especificidad, sensibilidad y selectividad (Rasheed et al., 2019). Otras técnicas que se han aplicado incluyen las inmunoanalíticas, los ensayos microbiológicos o electroforesis capilar, sin embargo, esta última se estima que es menos sensible comparándola con la cromatografía líquida. Los ensayos microbiológicos están sujetos a la naturaleza de la muestra y los basados en inmunoanalítica obedecen más a anticuerpo de estudio en particular y por tanto presenta limitaciones cuando se requiere detectar varios analitos en forma simultánea (Buchberger, 2011).

En investigaciones reportadas la extracción líquido a líquido ha sido la metodología de preparación de muestra más aplicada, no obstante, el uso de la extracción en fase sólida se ha ido popularizando durante el último tiempo gracias a sus diferentes beneficios como la reproducibilidad, simplicidad y aplicabilidad logrando así diversos métodos como la extracción en fase sólida en línea, fase sólida magnética, fase sólida automatizada, microextracción en fase sólida y los polímeros injertados molecularmente (Moliner-Martínez et al., 2011) que disminuyen la contaminación cruzada, minimizan el esfuerzo y el consumo de reactivos (Thomaidis et al., 2012).

### ***2.1.3 Métodos de eliminación de contaminantes emergentes en fuentes hídricas***

Los procedimientos empleados en las plantas de tratamiento de agua residual no son del todo efectivos ya que se ha evidenciado la presencia de contaminantes en las aguas tratadas, incluso, cuando se han aplicado tratamientos de tipo terciario (Teijon, 2008). Por lo anterior, es de interés e importancia estudiar otro tipo de tratamientos alternativos que permitan reducir o eliminar los contaminantes emergentes a un bajo costo ambiental y económico. Con base en la literatura

estudiada los métodos de eliminación planteados para los contaminantes emergentes son de tipo biológico, fisicoquímico o avanzado (Bolong et al., 2009).

**2.1.3.1 Tratamiento biológico.** Se compone de una serie de procedimientos en los que se usan microorganismos (generalmente bacterias) que captan la materia orgánica y los nutrientes para su propio alimento generando así flóculos visiblemente detectables (Bungay et al., 2009). No obstante, algunos compuestos no son degradados ni convertidos en biomasa como sucede con los esteroides. En síntesis, este tipo de tratamiento no eliminan del todo los contaminantes emergentes, únicamente los de tipo polar (Bolong et al., 2009).

**2.1.3.1.1 Tratamiento con membranas.** Esta tecnología es la más favorable en tratamientos microbiológicos de aguas residuales ya que une técnicas de degradación biológica empleando lodo activado con una separación líquido-sólido a través de una fase de ultrafiltración que permite así la retención y biodegradación de los contaminantes (Petrovi et al., 2003). A pesar de que la aplicación de esta metodología es muy común, es difícil encontrar evidencias que reporten el comportamiento de los contaminantes emergentes en un tratamiento de biorreactores con membrana (Tambosi et al., 2010).

**2.1.3.1.2 Tratamiento aerobio y anaerobio.** Los tratamientos aerobios (presencia de oxígeno) se aplican en diferentes metodologías incluyendo las zangas de oxidación, el filtro percolador, lodos activados, entre otras; logrando así potenciar el traspaso de oxígeno y disminuir los olores generados. La aireación es una de las fases principales en los procesos dado que los microorganismos requieren de dicho oxígeno para cumplir con la descomposición de la materia orgánica en los sistemas de tratamiento (Bungay et al., 2009). Por otro lado, los tratamientos anaerobios permiten a las bacterias degradar el contenido orgánico en un ambiente sin oxígeno, por ejemplo, los pozos o tanques sépticos en los que se realiza una digestión anaerobia, estas se dan

principalmente en los efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual como en la industria de alimentos, en los que se pueden favorecer la generación de biogás, es decir, que permite transformar los residuos en fuentes de energía. Estos tipos de tratamientos han permitido remover contaminantes emergentes como el triclosán, el ibuprofeno y la cafeína (Yang et al., 2016).

**2.1.3.2 Tratamiento fisicoquímico.** En este tipo de metodologías se encuentran las técnicas habituales y más conocidas como la floculación y coagulación, sin embargo, estas no son capaces de remover por sí solas sustancias metabolitos de las endocrinas (nonilfenol, estrona (E1), estradiol (E2), ente otros), así como productos de cuidado personal o farmacéuticos (Bolong et al., 2009). A continuación, se resumen los tratamientos fisicoquímicos más relevantes que se han usado para la eliminación de contaminantes emergentes.

**2.1.3.2.1 Ultrafiltración.** Este proceso utiliza membranas con tamaño de poro de 0,1 – 0,01  $\mu\text{m}$  en su sistema de filtración, el tamaño del poro determina la capacidad de retención. Al proceso se suma el carbón activado que ayuda ya que la ultrafiltración no es capaz por sí sola de retener los contaminantes emergentes. Este carbón activado permite la adhesión de otros compuestos que la ultrafiltración no realiza por su baja masa molar, es decir, que al combinar estos dos componentes se podrían eliminar también los compuestos de alta masa molar (Acero, 2012).

**2.1.3.2.2 Oxidación.** Este tratamiento se fundamenta en una reacción química en la que generalmente se utiliza ozono y cloro como agentes oxidantes. Este último no es tan eficiente en la depuración de color, olor y sabor como si lo es el ozono en tratamientos de agua potable. El uso de estos dos componentes ha dado resultados satisfactorios sobre todo con respecto a sustancias orgánicas, aunque el resultado de estos tratamientos genera unos subproductos cuyos efectos se desconocen y que han obligado a complementar con otras técnicas que ayuden a que el desarrollo y resultado final sea más eficiente y amigable con el medio ambiente (Antoniou et al., 2013).

**2.1.3.2.3 Empleo de adsorbentes.** Son sólidos que han sido bastante usados en remediación ambiental gracias a la capacidad que tienen de retener compuestos de estudio dependiendo de las propiedades fisicoquímicas como el pH, la temperatura, entre otras condiciones ambientales, no obstante, para la retención de contaminantes emergentes se requiere disponer de una mayor cantidad de adsorbentes. Los adsorbentes más utilizados son el carbón activado y las arcillas naturales, estas últimas permiten una retención de metales pesados bastante eficiente y el carbón activado ya ha demostrado sus buenos resultados en la eliminación de contaminantes emergentes presentes en aguas superficiales (Rossner, et al., 2009; Zhang, et al., 2016).

**2.1.3.3 Tratamientos avanzados.** Dentro de estos procesos se encuentra el de oxidación avanzada que provoca radicales hidroxilo con capacidad de oxidar la mayoría de los compuestos químicos de tipo complejo presentes en las fuentes hídricas. Otros procesos incluyen la Cavitación (irradiación ultrasónica), oxidación fotocatalítica (radiación UV o luz solar) y química de Fenton (reacciones de ion Fe y peróxido de hidrógeno) (Gogate et al., 2004).

Se reportan más estudios desarrollados de oxidación avanzado basados en la combinación de ozono con agentes como la radiación UV, el  $\text{TiO}_2$  y el peróxido de hidrógeno con los que se logró la degradación de productos farmacéuticos (Petrovi et al., 2003).

De otro lado, la fotocatalisis heterogénea también ha sido usada como tratamiento, de hecho, es la más investigada; tiene como ventaja su estabilidad química y su bajo costo, sin embargo, su aplicación a grandes cantidades de agua se torna difícil ya que se necesitará de radiación artificial de lámparas eléctricas UV por lo que se elevaría su costo. (Rodríguez-Prieto, 2012).

#### *2.1.4 Efectos al medio ambiente acuático a causa de los contaminantes emergentes de tipo farmacéutico*

Los últimos años se ha prestado especial atención a los contaminantes emergentes de tipo fármaco ya que se sabe que están presentes en el medio ambiente pero se desconoce el efecto toxicológico tanto de las sustancias en sí mismas como de sus metabolitos. (Farré et al., 2008).

Los fármacos ingresan al medio ambiente a través de diferentes vías, una es por la producción de la misma industria farmacéutica con sus residuos, otra por los vertimientos de las plantas de tratamiento que dejan incompleta la eliminación de compuestos y finalmente por la no metabolización total de medicinas a través el cuerpo humano o de los medicamentos veterinarios que terminan descargados a los sistemas acuáticos por medio de la orina y heces (Boxall et al., 2012).

Se estima que, por la evolución constante de la medicina, la necesidad general de la producción de fármacos y el aumento de la edad poblacional se ha generado un alto consumo de medicamentos (Pereira et al., 2020). El uso de hipocolesterolemiantes, antidepresivos y antihipertensivos se han triplicado en los últimos años (OCDE, 2019), además de su eliminación natural, también se ha dado de manera inadecuada en los hogares al descargarlos por los desagües y vertederos de las viviendas (Caban et al., 2021). Las personas desechan medicamentos, desconociendo el impacto negativo que esto genera, como lo demuestran encuestas al reportar que el 20% así lo realizan (Götz et al., 2007).

La presencia de estos productos se ha detectado en gran parte del mundo en todo tipo de agua, incluso en las subterráneas y potables a niveles que van desde los ng/L hasta los µg/L (Almeida et al., 2020), donde el más reportado ha sido el analgésico diclofenaco seguido por el carbamazepina, sulfametoxazol, ibuprofeno y naproxeno (Aus der Beek et al., 2016). Esta

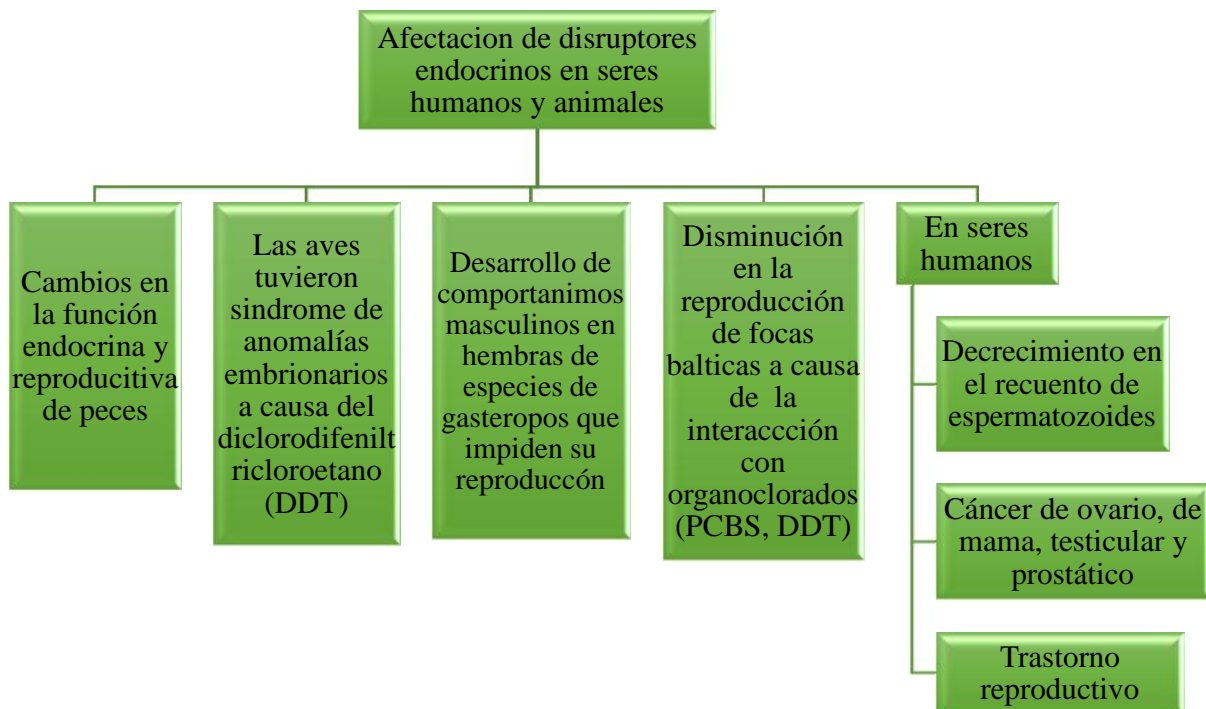
evidencia de fármacos en el medio acuático hace que posiblemente sean absorbidos por los organismos afectando sus funciones vitales, presentar tasas de crecimiento bajas y de mortalidad altas (Caban et al., 2016). Así mismo, al estar expuesto por largo tiempo, puede inducir a una acumulación de la sustancia que se extendería por toda la cadena alimenticia (Ruhí et al., 2016).

Con relación a las concentraciones de productos farmacéuticos detectados en plantas de tratamiento, Verlicchi et al., (2012) estimaron 118 fármacos que corresponden a 17 tipos terapéuticos evaluados en 244 plantas en el continente Europeo. Ellos reportaron que las concentraciones en general fueron más altas en la entrada del sistema que en la salida. También encontraron que en el afluente había más compuestos de anti-inflamatorio/analgésico y en el efluente reportaron niveles bajos de reguladores de lípidos y beta-bloqueadores.

En la figura 2 se muestra como los contaminantes emergentes generan consecuencias en los animales y los seres humanos afectando su sistema hormonal, salud reproductiva, enfermedades neurológicas, cáncer, entre otros. (disruptores endocrinos) (Bolong et al., 2009).

## **Figura 2**

*Efectos ocasionados por disruptores endocrinos*



*Nota.* Efectos ocasionados por disruptores endocrinos en animales y seres humanos. Adaptado de (Bolong et al., 2009).

### **2.1.5 Normatividad de contaminantes emergentes**

La regulación de contaminantes emergentes es bastante escasa tanto a nivel europeo como latinoamericano, lo que ha agravado aún más el problema ambiental. Sin embargo, sobresalen medidas como las de la EPA en Estados Unidos que incluye en su lista de contaminantes del agua ciertos medicamentos como carbamazepina, naproxeno, sulfametoxazol, ibuprofeno, gemfibrozilo, atenolol, diclofenaco, eritromicina y bezafibrato (US EPA, 2018).

Para la Unión Europea se relaciona una serie de sustancias contaminantes en las que reportan 564 productos químicos que se consideran perjudiciales (Stefanakis et al., 2015). Así

mismo, se logró que en el Proyecto Colaborativo de la UE SOLUTIONS (Brack et al., 2015) y la red Europea de Monitoreo NORMAN se evaluaran más de 1036 contaminantes emergentes.

En consecuencia, existen naciones que se han esforzado por crear regulaciones de sustancias peligrosas en fuente hídricas que incluyan también a los contaminantes emergentes, específicamente en lo referente a productos de cuidado personal, subproductos y medicamentos, estableciendo unos niveles máximos permitidos (Vargas-Berrones et al., 2020).

En Colombia, actualmente no se cuenta con ninguna normatividad ambiental que regule los contaminantes emergentes ni los productos farmacéuticos, únicamente se hace referencia a la gestión integral de residuos hospitalarios y similares como se indica en la resolución 0164 de 2002 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la que establecen planes de gestión para la devolución de medicamentos vencidos que conllevan a minimizar la descarga de estas sustancias pero no las reglamenta (MAVDT Ministerio de Ambiente).

Así mismo, el ministerio ha emitido normas para la calidad del agua de acuerdo con el Decreto 1575 de 2007 que dispone el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. También la resolución 2115 de 2007 que establece características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Otra norma ambiental con referencia al recurso agua es la del Decreto 1594 de 1984 que establece los parámetros para los diversos tratamientos de aguas de acuerdo a su uso y disposición. Y finalmente, lo relacionado con los vertimientos a cuerpos de agua y alcantarillados, está contenido en la Resolución 631 de 2015 en la que reportan 56 parámetros con límites máximos permisibles en 8 sectores y 73 actividades productivas de la industria local. Como se muestra, en ninguna norma se incluyen valores límite ni se nombran productos farmacéuticos.

## 2.2 La Cienciometría

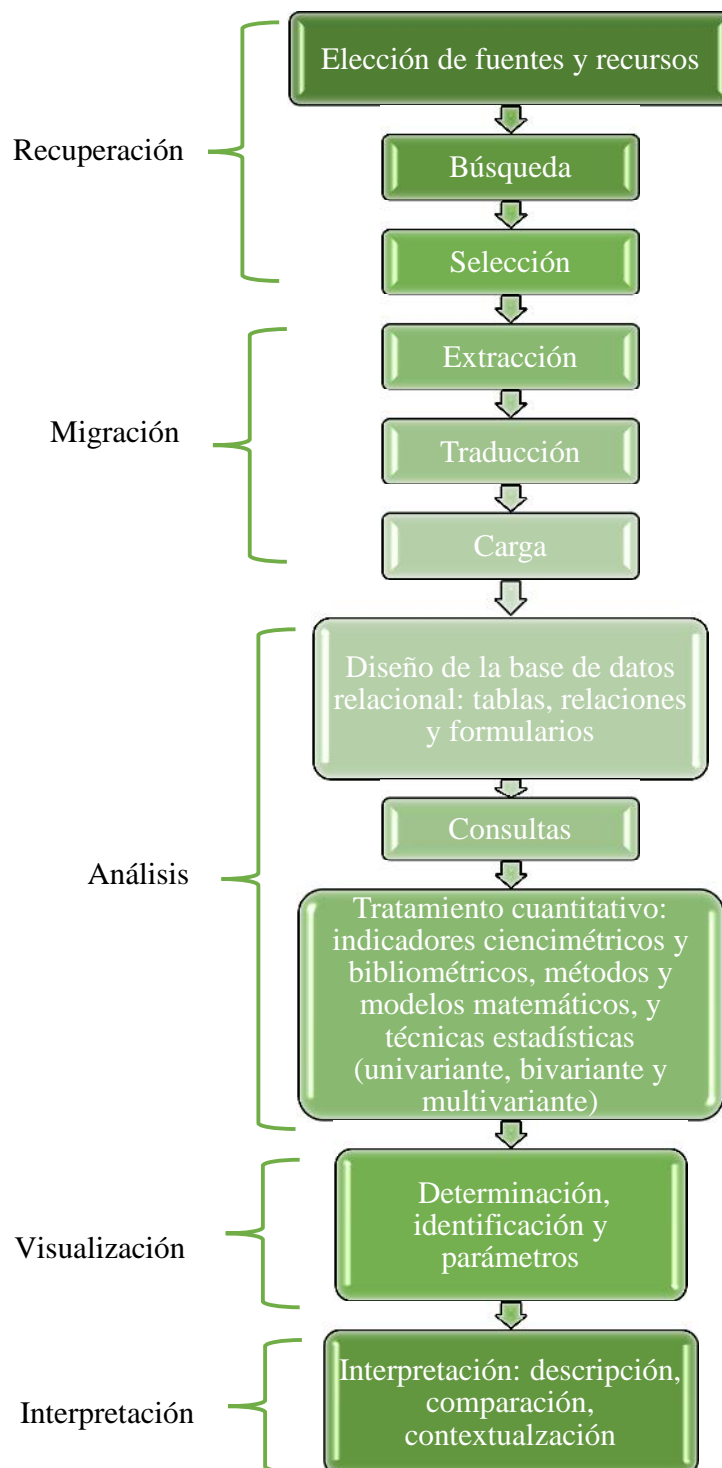
La cienciometría como término surgió en Europa Oriental y logró su mayor fama en 1977, con el nacimiento de la revista titulada *Scientometrics*.<sup>15</sup> Originaria de Hungría, por la editorial Akadémiai Kiadó, y después en Amsterdam, Holanda, por la Editorial Kluwer Academic Publishers. Actualmente es una producción conjunta de ambas editoriales (Araujo et al., 2002).

El objeto de la cienciometría son precisamente los artículos con contenido en las publicaciones como, por ejemplo, las revistas científicas. Así mismo, la aparición de las revistas electrónicas ha acelerado el proceso de investigación científica, la dinámica de publicación se ha vuelto eficiente, masiva, actualizada, personalizada y abierta, se ha reducido el gasto de energía, el precio y ahorro en el tiempo requerido para realizar un análisis de dicha información. También se han desarrollado nuevos métodos analíticos, tecnológicos y modelos de organización para utilizar las colecciones digitales de manera innovadora como lo es la bibliometría, la minería de textos (*text mining*) y el análisis de redes (Layla Michán, 2013).

Los análisis cienciométricos permiten estudiar la ciencia como disciplina de tipo económico, comparando capacidades de investigación elaboradas por varios países y ver sus resultados desde un punto de vista económico y social. (Araujo et al., 2002). En la siguiente tabla se presenta la metodología a seguir para realizar un análisis cienciométricos.

### Figura 3

*Metodología para la realización de un análisis cienciométrico.*



*Nota.* Metodología para realizar un análisis bibliométrico. Tomado de (Layla Michán, 2013).

### **2.2.1 Scopus**

La herramienta Scopus es una base datos con textos completos elaborada por Elsevier B.V. Su nombre fue inspirado en el ave Hammerkop (*Scopus umbretta*) del que se dice tiene muy buenas destrezas para navegar. El trabajo en la creación de la base de datos duró 2 años en las que participaron 21 instituciones y más de 300 personas entre bibliotecarios e investigadores que aseguran la mejora continua. Los desarrolladores aseguran contener más de 27 millones de documentos con citas, igualmente contiene literatura europea y asiática, así como revistas estadounidenses en diferentes idiomas (Burnham, 2006).

A continuación, se describen las características más usadas que ofrece Scopus:

- ✓ Permite unir con el sitio web del editor para ver el documento.
- ✓ Todos los documentos están citados lo que permite al usuario adelantar o devolverse en el tiempo.
- ✓ Puede realizar capacitaciones directamente en la web con tutoriales y consejos.
- ✓ Brinda soporte técnico en línea.
- ✓ Funciona de buena manera con cualquier tipo de navegador.
- ✓ Permite filtrar la búsqueda por autores, idioma, tipo de documento, país, etc.

### **2.2.2 ScienceDirect**

Esta base de datos que hace parte de la compañía Elsevier B.V, permite acceder actualmente a más de 19 millones de artículos, 43 mil libros, 2650 revistas y 363 mil páginas. Igualmente cuenta con una nutrida herramienta de búsqueda rápida y avanzada en la que ofrece una diversidad de fuentes de tipo audio visual. ScienDirect busca responder a las inquietudes de profesores, estudiantes o investigadores orientándolos a encontrar una base sólida de información actualizada (Elsevier, 2022).

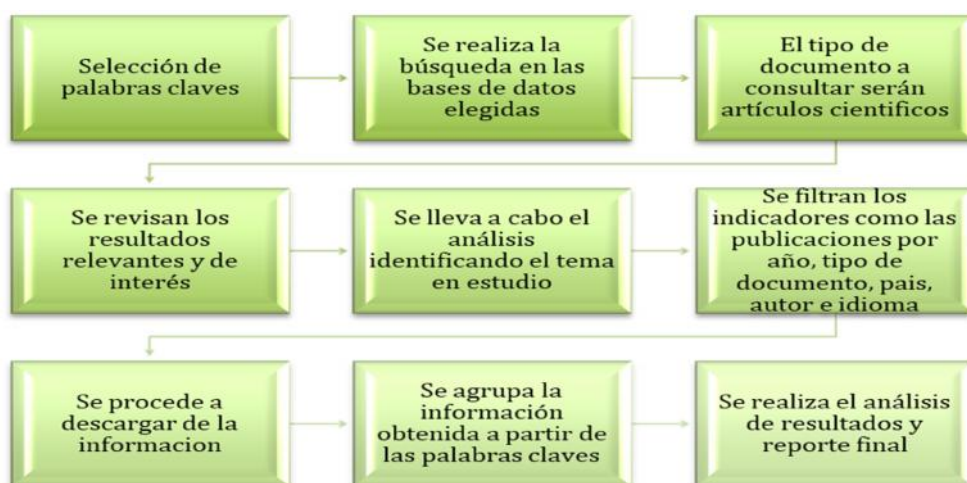
### 3. Metodología

Con este análisis cuantitativo se pretendió establecer actividades de investigación de tipo científico que permitieran determinar la variedad existente de contaminantes emergentes de tipo farmacéutico y su afectación en los ecosistemas acuáticos.

Para el desarrollo de este estudio, se utilizaron las bases de datos Scopus y ScienceDirect en donde se consultaron artículos, revistas, libros, trabajos de tesis, entre otros. El acceso a estas bases de datos se dio por medio de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander. De igual forma, se tuvieron en cuenta páginas web que permitieron fortalecer la investigación. Las palabras claves utilizadas en la búsqueda fueron: “Contaminantes emergentes”, “contaminación industria farmacéutica”, “contaminación ecosistemas acuáticos”, “tratamiento de aguas”, “determinación y depuración de contaminantes emergentes”. La consulta se hizo entre los años a la fecha, se tendrá en cuenta también los autores, el país de publicación y el idioma. Las gráficas y tablas se diseñaron y elaboraron con la herramienta ofimática Microsoft Excel.

#### Figura 4

*Esquema de las etapas del análisis cuantitativo*



*Nota.* Esquema de las etapas de desarrollo del presente estudio. Elaboración propia.

#### **4. Análisis y resultados**

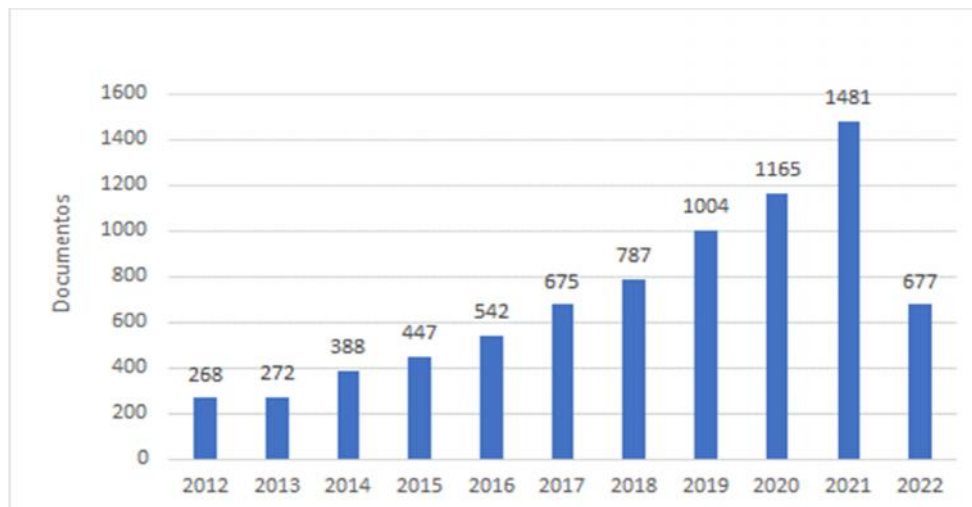
Por medio de la herramienta de base de datos Scopus, se realizó el análisis cuantitativo con el objetivo de identificar los contaminantes emergentes que han sido objeto de mayor investigación en el recurso hídrico, al igual que las técnicas de detección más frecuentemente empleadas y los métodos de tratamiento y eliminación de estos. La condición de búsqueda usada para tal fin se representó así: (TÍTULO-ABS-CLAVE (“*contaminantes emergentes*”) Y TÍTULO-ABS-LLAVE (“*especies acuáticas*” O “*agua superficial*”) Y TÍTULO-ABS-LLAVE (“*farmacéutico*”) Y (PUBYEAR > 2012)). Se obtuvieron 11.866 documentos científicos en la base de datos.

##### **4.1 Actividad científica por años**

En la siguiente figura se ilustra la distribución de las publicaciones hechas entre los años 2012 – 2022. En general se aprecia un comportamiento ascendente lo que quiere decir que el estudio sobre el tema ha ido tomando interés por parte de investigadores. Este comportamiento permite reconocer que la búsqueda de información de los contaminantes en el agua ha ido en aumento debido a su importancia. Cabe aclarar que el resultado del año 2022 corresponde a las publicaciones que se han realizado hasta el mes de mayo.

##### **Figura 5**

*Actividad científica por años*



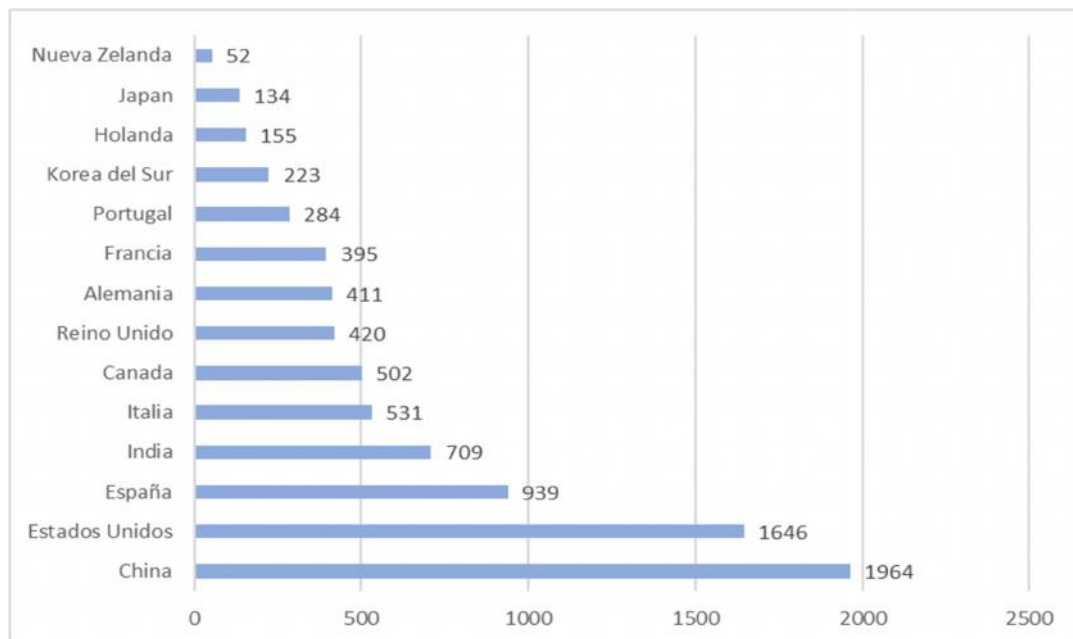
*Nota.* Reporte de artículos científicos de contaminantes emergentes por año. Datos basados en Scopus (Elsevier, 2022).

#### 4.2 Actividad publicaciones por países

Tanto en la figura 6 como la 7 se muestra los países más representativos a nivel mundial con el total de publicaciones realizadas. China es el país que más muestra investigación en el tema de los contaminantes emergentes en sistemas acuáticos. El motivo que quizás sea el que encabeza la lista, puede ser a causa de que es el país más poblado del mundo y así mismo su contaminación es directamente proporcional. En sus estudios presentados se destaca el procesamiento de residuos de antibióticos sintéticos, en cómo afecta al recurso agua y al ambiente en general por sus malas prácticas en la industria farmacéutica al igual que en las plantas de tratamiento. Además, se analiza su degradación mediante biocatalizadores y biocarbon (Zhou et al., 2022).

#### Figura 6

*Listado de publicaciones por países*



*Nota.* Distribución de publicaciones de contaminantes emergentes de la industria farmacéutica por países. Datos basados en Scopus (Elsevier, 2022).

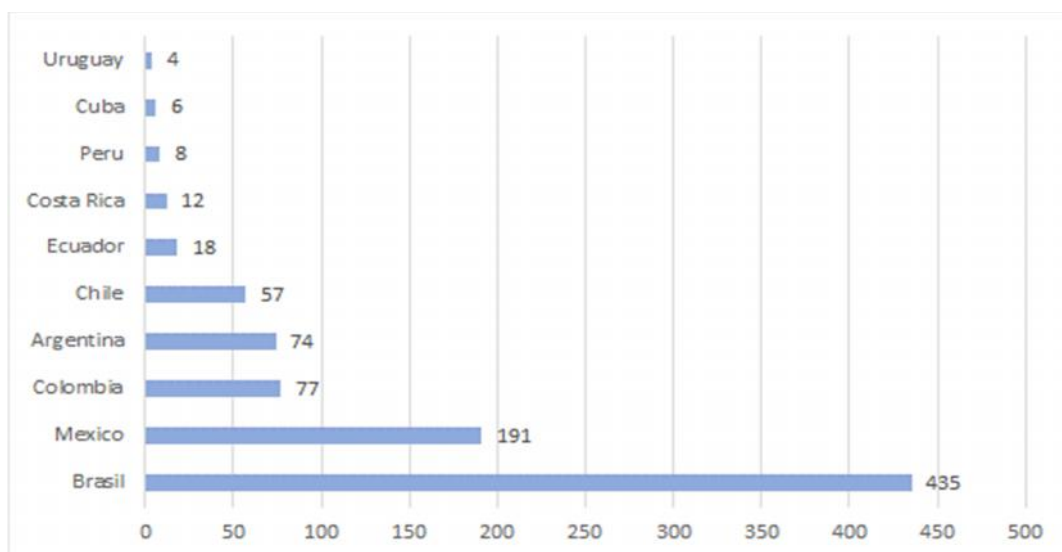
En Latinoamérica, Brasil se posiciona como el principal país en realizar estudios en esta temática, uno de los temas que sobresale es la mitigación de contaminantes farmacéuticos en el agua. Su revisión se enfoca en la clasificación, ocurrencia y peligros ambientales de los compuestos de este tipo de industria que se generan por su toxicidad y también por la ineficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en su degradación. Igualmente se estudian alternativas adecuadas, rentables y ecológicas para que sea una biorremediación óptima (González et al., 2022).

Colombia por su parte se categoriza con 77 publicaciones para esta referencia, de las más recientes se encuentra un análisis al fármaco Naproxeno que es bastante consumido por la sociedad gracias a su venta libre, es usado para calmar dolores y fiebre. Allí mencionan que en los tratamientos convencionales no se elimina y además su biodegradación también es difícil por lo que se puede encontrar en diferentes lugares del medio ambiente. Básicamente, lo que se busca en

la investigación es el comportamiento del medicamento, su toxicología, efectos ambientales y metodologías de cuantificación. (Moreno et al., 2022).

### Figura 7

*Listado de publicaciones por países latinoamericanos*



*Nota.* Distribución de publicaciones de contaminantes emergentes de la industria farmacéutica por países latinoamericanos. Datos basados en Scopus (Elsevier, 2022).

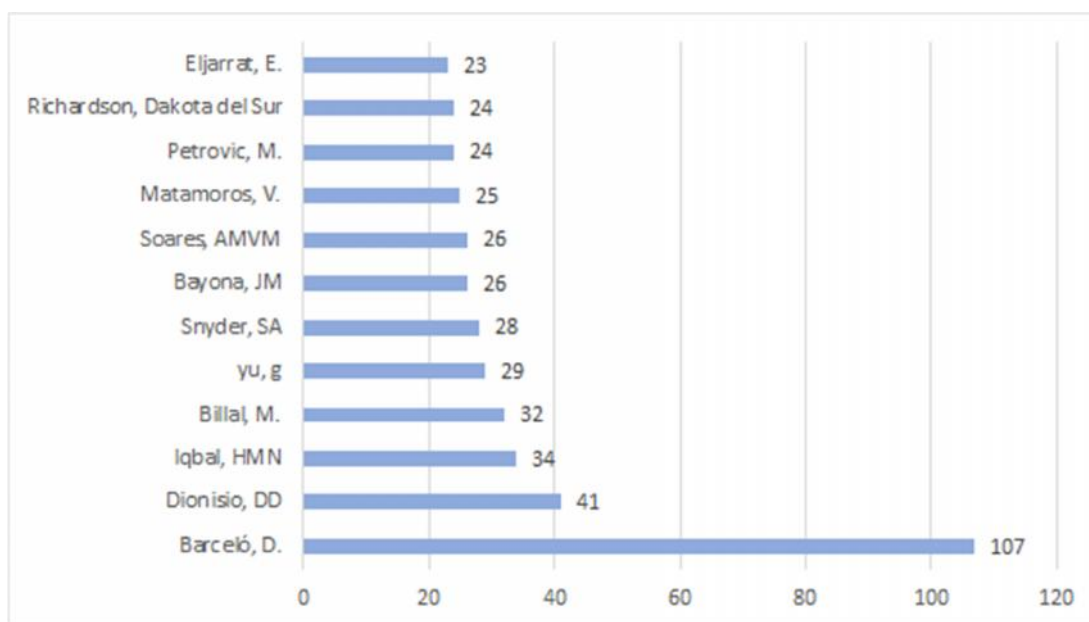
### 4.3 Actividad por autores

En la siguiente tabla se expone la cantidad de autores que más investigaciones han aportado al tema de estudio. A nivel mundial el que más aportes ha hecho es Damiá Barceló, español de 68 años, su profesión es licenciado en Química de la Universidad de Barcelona y realizó su doctorado en el área de Química analítica en la misma universidad en el año 1984. El artículo más citado con más de 1100 en la temática de contaminantes emergentes fue la “Evaluación de riesgos ambientales de residuos farmacéuticos en efluentes de aguas residuales, superficiales y sedimentos”, documento

que afirma de manera general la ocurrencia ambiental y la evaluación del riesgo ecológico de los residuos farmacéuticos según los datos de la literatura (Bacerló D et al., 2006)

### Figura 8

*Listado de autores con relación al estudio*



*Nota.* Distribución de publicaciones por autores de contaminantes emergentes. Datos basados en Scopus (Elsevier, 2022).

#### 4.4 Actividad por instituciones

Las instituciones que más han presentado investigaciones del tema en cuestión se representan en la figura 9. La que encabeza la lista en cuanto a los contaminantes emergentes es la *Chinese Academy of Sciences* con 348 publicaciones y muy cerquita se encuentra el *Ministry of Education China* con 339. Son instituciones que son líderes en academia, investigación y desarrollo más completo en los campos de las ciencias naturales, tecnología e innovación de China. En Colombia se encontró que la Universidad de Antioquia es la institución que sobresale a nivel país

con más publicaciones reportadas (27) acerca de la temática, lo que quiere decir que la averiguación de los contaminantes ha tenido su importancia e interés.

### Figura 9

*Distribuciones por instituciones*



*Nota.* listado de instituciones que realizaron investigaciones acerca de contaminantes emergentes de la industria farmacéutica. Datos basados en Scopus (Elsevier, 2022).

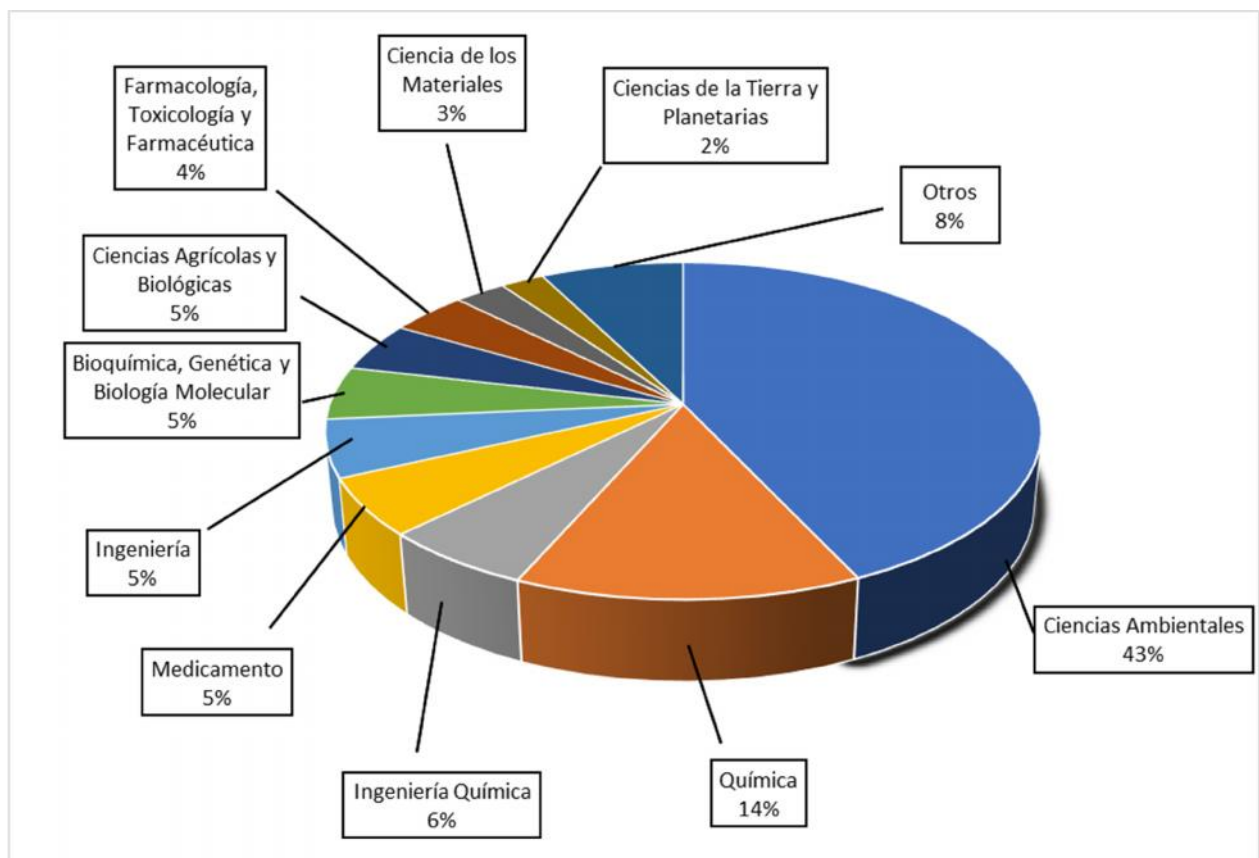
### 4.5 Actividad por área de aplicación

A continuación, la figura 10 señala las áreas más importantes a las que se les atribuye las investigaciones de los contaminantes emergentes en fuentes hídricas, siendo la más relevante las Ciencias Ambientales con el 43% de los resultados, la sigue el área de la Química con el 14% y la Ingeniería Química con el 6% de documentos emitidos. Las ciencias ambientales son la de mayor relevancia al ser la disciplina de estudio que permite comprender las interacciones humanas con el medio ambiente. En esta se involucran diversos campos de estudio que van encaminados siempre a la protección de los recursos naturales y la salud humana. Del mismo modo permite abarcar los

problemas del medio ambiente, abordar varios campos científicos y ciencias comprendiendo la interacción y relaciones entre sí. En consecuencia, se involucran las áreas de la Química y la Ingeniería Química en pro de la investigación de nuevos procedimientos y métodos de remediación que permita eliminar de manera parcial o total compuestos de tipo contaminante emergente.

**Figura 10**

*Distribución por áreas de estudio*



*Nota.* Distribución de las áreas de estudio con respecto a los contaminantes emergentes. Datos basados en Scopus (Elsevier, 2022).

## 5. Conclusiones

Los contaminantes emergentes han generado una gran preocupación en la que es claro que las industrias no son las únicas que emiten estos contaminantes. La situación ha sido desencadenada desde lo que está resultando de los hogares por la cantidad del uso de productos que se emplean para cumplir y satisfacer nuestras necesidades. Por lo anterior es que se debe tener una conciencia responsable del consumo de estos productos para que, por ejemplo, en el momento el que ya llegan a su caducidad o ya no cumplan con su propósito, el destino final no sean desecharlos en los vertederos para así lograr que ese tipo de compuestos se minimice encontrarlos en las fuentes hídricas.

Por medio del análisis cuantitativo, se encontró que las aguas residuales son la gran problemática dado que las fuentes hídricas son las que están recibiendo estos tipos de sustancias queriendo decir que el tipo de tratamiento y tecnología usado no está siendo eficiente en la remoción de estos contaminantes. De acuerdo con lo anterior, es necesario la aplicación de tecnologías nuevas que ayuden a determinar correctamente que tipo de sustancias se encuentran en los sistemas acuáticos y cuales obligatoriamente debe ser depuradas para prevenir preocupaciones a futuro tanto en las especies acuáticas como en los humanos.

Las metodologías de detección y análisis de los contaminantes emergentes en el recurso hídrico buscan que sean más sensibles y precisas; en el estudio se señala que al método de extracción líquido a líquido como una de las técnicas más utilizadas en su determinación a pesar de que es algo costosa por su alto gasto de reactivos; ésta ha demostrado ser la más efectiva en el análisis de esta matriz ambiental. De otro lado, las otras técnicas de análisis investigadas como lo

es la cromatografía de gases en conjunto con la espectrometría de masas han ido con el paso del tiempo perfeccionando la identificación de contaminantes emergentes en los sistemas acuáticos.

Los fármacos más estudiados y detectados en organismos acuáticos en general son los antibióticos, los antidepresivos, los antihipertensivos y los anticancerígenos encontrando que son de gran preocupación dado que la utilización de estos químicos ha evidenciado alta toxicidad en la biota acuática. Si bien las razones de estas situaciones no han sido aclaradas por completo, puede ser que algunas medicinas sean metabolizadas primero por los individuos acuáticos y posteriormente acumuladas en los tejidos en forma de metabolitos.

De acuerdo con los estudios que se han publicado, las sustancias de la industria farmacéutica son las que más se han encontrado como contaminantes emergentes en el recurso agua por consecuencia del uso exagerado de medicinas que se ha demostrado que crean resistencia a una serie de bacterias, virus y también generan contaminación del recurso hídrico obligando a usar nuevas metodologías y tecnologías para su remoción.

En los últimos años los países han reforzado y profundizado el estudio de los contaminantes emergentes en cuanto a la afectación de las especies acuáticas, puntualmente China ha sido el país que más ha realizado artículos investigativos en cuestión, teniendo en cuenta que es la nación más poblada del planeta y por consiguiente es la que presenta un alto consumo de productos de todo tipo para su servicio. Así mismo es el que más ha trabajado en implementar técnicas de tratamiento eficientes para tratar las sustancias generadas y por ende retribuir al medio ambiente el daño causado.

De acuerdo con las áreas del conocimiento que se han visto involucradas en la investigación de contaminantes emergentes por la industria farmacéutica en especies acuáticas, comprende también a los compuestos que hacen parte de actividades de la agricultura, la bioquímica, la

ingeniería, la química, entre otras. Esto permitiría que haya un conjunto de aportes de las diferentes ramas que contribuyan a estudios que permitan descubrir y causar nuevas tecnologías para el tratamiento de remoción de estos contaminantes que pueda llegar a afectar los seres vivos.

Finalmente, en Colombia a través de los semilleros de investigación de cada una de las universidades, se han venido gestando trabajos investigativos para detectar la presencia de contaminantes emergentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales reportando sustancias de composición farmacéutica en estas. Aunque no somos una nación fuerte en publicaciones de documentos de esta temática, si se ha visto el esfuerzo de estudiar e implementar métodos y procedimientos de remoción de dichos contaminantes en las aguas residuales.

## **6. Recomendaciones**

Es importante aumentar y mantener la atención por parte de investigadores y científicos al impacto que genera las sustancias farmacéuticas sobre la fuente hídrica, que se pueda intercambiar experiencias profesionales y divulgar las investigaciones que se realicen. Así mismo, manifestar nuevos conocimientos sobre la toxicidad de los productos recientes y el análisis que se les realice.

Se recomienda realizar más estudios acerca de la presencia de fármacos en las aguas que entran y salen de las plantas de tratamiento tanto residuales como potables, incluyendo monitoreos de seguimiento que permitan cotejar el comportamiento en los sistemas tanto de tratamiento como el hídrico en la presencia de sustancias medicinales. También establecer por parte de las entidades gubernamentales una legislación ambiental que mida este tipo de compuestos.

### Referencias Bibliográficas

- Acero, J; 2012. Coupling of adsorption, coagulation, and ultrafiltration processes for the removal of emerging contaminants in a secondary effluent. En: Chemical Engineering Journal. Vol. 210, p.1-8
- Aherne, G.W., Bringgs, R. 1989. The relevance of the presence of certain synthetic steroids in the aquatic environment. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 41:735-736.
- Akmehmet-Balcio lu, I il; Ötker, Merih (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. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00534-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00534-9).
- Andreozzi, R., Raffaele M., Nicklas P., 2003b. Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. *Chemosphere*. 50 (10):1319–1330.
- Antoniou, M. G.; Hey, G.; Rodriguez Vega, S.; Spilotopoulou, A.; Fick, J.; Tysklind, M.; Ja Cour Jansen, J.; Anderser, H. R. 2013. Required Ozone Doses for Removing Pharmaceuticals from Wastewater Effluents. *Sci. Total Environ*. 456-457, 42-49.
- Araujo Ruiz, Juan A y ARENCIBIA JORGE, Ricardo. *Informetría, bibliometría y cienciometría: aspectos teórico-prácticos*. ACIMED [online]. 2002, vol.10, n.4, pp.5-6. Disponible en: <[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S102494352002000400004&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102494352002000400004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1024-9435.
- Arbeláez, P. 2016. Contaminantes emergentes en aguas residuales y de río y fangos de depuradora. UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI. Retriuen from <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/334397/TesiPaula.pdf?sequence=1>

- Arslan-Alaton, Idil; Caglayan, Ali (2006). Toxicity and biodegradability assessment of raw and ozonated procaine penicillin G formulation effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63(1), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.02.014>
- Aus der Beek, T. FA Weber , A. Bergmann , S. Hickmann , I. Ebert , A. Hein , A. Küster. 2016 productos farmacéuticos en el medio ambiente: sucesos y perspectivas mundiales *Reinar. Toxicol. química*, 35 (4), págs. 823 – 835.
- Barceló, D. Hernando, MD. Mezcuá, M. Fernández-Alba, AR. (2006). Evaluación de riesgos ambientales de residuos farmacéuticos en efluentes de aguas residuales, aguas superficiales y sedimentos. *Talanta*, 69 (2 SPEC. ISS.), pp. 334-342. Citado 1142 veces. doi: 10.1016/j.talanta.2005.09.037
- Baronti C.; Curini F.; D’Ascenzo G.; Di Corcia A.; Gentili A.; Samperi R., 2000, Monitoring natural and synthetic estrogens at activated sludge sewage treatment plants and in a receiving river water, *Environmental Science and Technology*, 34: 5059-5066.
- Bolong, N., Ismail, A.F., Salim, M.R., Matsuura, T., 2009. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239, 229–246.
- Boxall A. B.A, Rudd M. a, Brooks B.W., Caldwell D.J., Choi K., Hickmann S., Innes E., Ostapyk K., Staveley J.P., Verslycke T., Ankley G.T., Beazley K.F. 2012. Review Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment : What Are the Big Questions ? 120, 1221–1229.
- Boyd, G.R., Palmeri, J.M., Zhang, S., Grimm, D.A. 2004. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine disrupting chemicals (EDCs) in stormwater canals and Bayou St. John in New Orleans, Louisiana, USA. *Sci. Total Environ.* 333(1–3):137–148.

- Buchberger, W. 2011. Enfoques actuales para el análisis de trazas de productos farmacéuticos y de cuidado personal en el medio ambiente *J. Chromatogr. A*, 1218 (4), págs. 603 -618
- Bungay, M. Lou; Bungay, H. R. 2009. Fundamental Concepts for Environmental Processes. In *Biological Treatment Processes*; Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. -T., Eds.; Humana Press: Totowa, NJ: pp 1-27.
- Burnham, JF Base de datos Scopus: una revisión. *Biomed Digit Libr* 3, 1 (2006).  
<https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>
- Buser, H.R., Müller, M.D., Theobald, N. 1998a. Occurrence of the pharmaceutical drug clofibrac acid and the herbicide mecoprop in various Swiss lakes and in the North Sea. *Environ. Sci. Technol.* 32(1):188–192.
- Buser, H-R., Poiger, T., Müller, M.D. 1998b. Occurrence and fate of the pharmaceuticals drugs diclofenac in surface waters; rapid photodegradation in a lake. *Environ Sci Technol.* 32:3449-3456.
- Buser H, Poiger T, y Muller M. 1999. Occurrence and environmental behavior of the chiral pharmaceutical drug ibuprofen in surface waters and in wastewater. *Environmental Science & Technology*, 33:2529-2535.
- Brack, W., Altenburger, R., Schüürmann, G., Krauss, M., López Herráez, D., van Gils, J., Slobodnik, J., Munthe, J., Gawlik, B. M., van Wezel, A., Schriks, M., Hollender, J., Tollefsen, K. E., Mekenyan, O., Dimitrov, S., Bunke, D., Cousins, I., Posthuma, L., van den Brink, P. J., ... de Aragão Umbuzeiro, G. (2015). The SOLUTIONS project: Challenges and responses for present and future emerging pollutants in land and water resources management. *Science of the Total Environment*, 503–504, 22–31.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.143>

- Caban, M. A. Szaniawska, P. Stepnowski. 2016. Detección de la acumulación de 17 -  
etinilestradiol y productos farmacéuticos antiinflamatorios no esteroideos en *Mytilus edulis*  
*trossulus* (Gould, 1890) recolectado en el Golfo de Gdansk *Oceanol. hidrobiol. Semental*,  
45 (4) , págs. 605 – 614.
- Cabán, M. Stepnowski, P. 2021 ¿Cómo disminuir los productos farmacéuticos en el medio  
ambiente? Una revisión *Reinar. química Letón*. págs. 1 - 24
- Christian. T., Schneider, R.J., Färber, H.A., Skutlarek, D., Meyer, M.T., Goldbach, H.E. 2003.  
Determination of antibiotic residues in manure, soil, and surface waters. *Acta Hydrochim*  
*Hydrobiol.* 31(1):36–44.
- Delgado, H. (2016). Análisis de la exposición de compuestos emergentes en varios escenarios de  
usos del agua. Universidad Politécnica de Cataluña. Retrieved from  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84968/TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Desbrow, C., Routledge, E.J., Brighty, G.C., Sumpter, J.P., Waldock, M. 1998. Identification of  
estrogenic chemicals in STW effluent. 1. Chemical fractionation and in vitro biological  
screening. *Environmental Science and Technology.* 32:1549-1558.
- Elsevier (2022). Independt Content Selection. Retrieved from <https://www.elsevier.com>
- Erzinger, E.; Pinto, G.; Del Campo, H and Ramos. R. (2013). Environmental Impacto of Diposal of  
Drugs. *Pharmaceut Anal Acta.* 4: 2153-2435.
- Farré, M.L., Ferrer, I., Ginebreda, A., Figueras, M., Olivella, L., Tirapu, L., Vilanova, M., Barcelo,  
D. 2001. Determination of drugs in surface water and wastewater samples by liquid  
chromatography–mass spectrometry: methods and preliminary results including toxicity  
studies with *Vibrio fischeri*. *J. Chromatogr.* 938 (1/2):187–197.

- Farré M., Pérez S., Kantiani L., Barceló D. 2008. Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *TrAC - Trends Anal. Chem.* 27, 991–1007
- Flórez, A. J., Márquez-Méndez, D., Burgos-Núñez, S., Enamorado-Montes, G., y Marrugo-Negrete, J. (2021). Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el Departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 179 – 197. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4231>.
- García, C.; Gortares, P. and Droguí, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*. 10 (2): 92-105.
- Genicola, FA. 1999. Personal Communication. New Jersey Dept. Environmental Protection Office of Quality Assurance. Communication. 3 June.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción Más Limpia*, 7(2), 52. Recuperado de: <https://dialnet-unirioja-es.ezproxy.umng.edu.co/servlet/catart?codigo=4333973>.
- Gogate, P.; Pandit, A. 2004 A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. En: *Advances in Environmental Research*. Vol. 8. p. 501–551
- González-González, RB, Sharma, P., Singh, SP, Américo-Pinheiro, JHP, Parra-Saldívar, R., Bilal, M., Iqbal, HMN. 2022. Persistencia, peligros ambientales y mitigación de contaminantes residuales farmacéuticamente activos de matrices de agua. *Ciencia del Medio Ambiente Total* , 821, art. no. 153329.

- Götz, K. Keil, F 2007. Medikamentenentsorgung in privaten Haushalten: Ein Faktor bei der Gewässerbelastung mit Arzneimittelwirkstoffen? *Umweltwiss. und Schadst. -Forsch.*, 19 (3), págs. 180 - 188
- Gross, B., Montgomery-Brown, J., Naumann, A., Reinhard, M. 2004. Occurrence and fate of pharmaceuticals and alkylphenol ethoxylate metabolites in an effluent-dominated river and wetland. *Environ. Toxicol. Chem.* 23(9):2074–2083.
- Heberer, T. y Stand H.J. 1997. Determination of clofibric acid and N-(phenylsulfonyl)-sarcosine in sewage, river and drinking water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry.* 67:113-124.
- Heberer, T. 2002. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicol. Lett.* 131(1/2):5–17.
- Henriquez D. 2012. Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio de caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, región del Bobío, Chile. Tesis para optar al grado de magister en ciencias de la ingeniería: Mención recursos y medio ambiente hídrico. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Hirsh, R., Ternes, T., Haberer K., Kratz, K.L. 1999. Occurrence of antibiotics in the aquatic Huang, C.H. y Sedlak, D.L. 2001. Analysis of estrogenic hormones in municipal wastewater effluent and surface water using enzyme-linked immunosorbent assay and gas chromatography/tandem mass spectrometry. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 20:133-139.environment. *Sci Total Environ.* 225:109–118
- Jiang, J., Zhou, Z., y Sharma, V. K. (2013). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water—a review from global views. *Microchemical Journal*, 110, 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.04.014>.

- Kolpin, D.W., Furlong, E.T., Meyer, M.T., Thurman, E.M., Zaugg, S.D., Barber, L.B. y Buxton, H.T. 2002. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams 1999–2000: a national reconnaissance. *Environ. Sci. Technol.* 36(6):1202–1211.
- Larsson, D.G.J., Adolfsson-Erici, M., y Parkkonen J. 1999. Ethinyloestradiol – an undesired fish contraceptive. *Aquatic Toxicology.* 45:91-97.
- Lilius, H. y Hästbacka, Isomaa B. 1995. A comparison of the toxicity of 30 reference chemicals to *Daphnia magna* and *Daphnia pulex*. *Environmental Toxicol.* 14(12):2085-2088.
- López de Alda, M.J., Gil, A., Paz, E. y Barceló, D. 2002. Occurrence and analysis of estrogens and progestogens in river sediments by liquid chromatography- electrospray-mass spectrometry. *The Analyst.* 127:1299-1304.
- Martínez, Fernando; Molina, R.; Rodríguez, Ivan; Pariente, Isabel; Segura, Yolanda; Melero, Juan (2018). Technoeconomical assessment of coupling Fenton/biological processes for the treatment of a pharmaceutical wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 485–4. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.008> 94.
- MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/>
- Metcalf, C.D., Koenig, B.G., Bennie, D.T., Servos, M., Ternes, T.A. y Hirsch, R. 2003a. Occurrence of neutral and acidic drugs in the effluents of Canadian sewage treatment plants. *Environ. Toxicol. Chem.* 22(12):2872–2880.
- Metcalf, C.D., Miao, X.S., Koenig, B.G. y Struger J. 2003b. Distribution of acidic and neutral drugs in surface waters near sewage treatment plants in the lower Great Lakes, Canada. *Environ. Toxicol. Chem.* 22(12):2881–2889.

- Michán, Layla I. M.-V. (2013). *Cienciometría para ciencias médicas: definiciones, aplicaciones*. Elsevier, 7.
- Moliner-Martínez, Y. Ribera, A. Coronado, E. Campíns-Falcó, P. 2011. Preconcentración de contaminantes emergentes en muestras de agua ambiental mediante el uso de nanopartículas magnéticas de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> soportadas en sílice para mejorar la detección de masas en cromatografía líquida capilar. *J. Chromatogr. A*, 1218 (16), págs. 2276 - 2283
- Moreno Ríos, AL, Gutierrez-Suarez, K., Carmona, Z., Ramos, CG, Silva Oliveira, LF. 2002. Los productos farmacéuticos como contaminantes emergentes: el caso del naproxeno, una descripción general. *Chemosphere*, Parte 1 291, art. no. 132822. [www.elsevier.com/locate/chemosphere](http://www.elsevier.com/locate/chemosphere)
- Nicolás, A., 2013. Productos farmacéuticos y compuestos relacionados como contaminantes emergentes en el agua: aspectos analíticos *Global NEST J.*, 15 (1), págs. 1 - 12
- OCDE “Consumo farmacéutico”, en *Health at a Glance 2019: OECD Indicators*, OECD Publishing, París. [10.1787/43146d4b-en](https://doi.org/10.1787/43146d4b-en) en Google Académico
- Owen, Stewart; Giltrow, Emma; Huggett, Duane; Hutchinson, Thomas; Saye, JoAnne; Winter, Matthew; Sumpter, John (2007). Comparative physiology, pharmacology and toxicology of  $\alpha$ -blockers: mammals versus fish. *Aquatic Toxicology*, 82(3), 145–162. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.02.007>.
- Pereira, A. Silva, L. Laranjeiro, C. Lino, C. Peña, A. 2020. Productos farmacéuticos seleccionados en diferentes compartimentos acuáticos: Parte I-Fuente, destino y presencia *Moléculas*, 25 (5), pág. 1026

- Petrović, M.; González, S. & Barceló, D. 2003. Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. En: Trends in Analytical Chemistry. Vol. 22, N° 10, p.685-696.
- Quiroga; José; Quero-Pastor, Maria; Acevedo, Asunción (2015). Tratamientos avanzados para la eliminación de fármacos en aguas superficiales, Revista de Salud Ambiental (Espec. Congr.), 15, 12-64.
- Ramos, Caridad (2009a). Medicamentos de consumo humano en el agua, propiedades físico-químicas. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 47(2), 1-18.
- Rasheed, T., Bilal, M., Nabeel, F., Adeel, M., & Iqbal, H. M. (2019) Environmentally-related contaminants of high concern: Potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment. Environment International, 122, 52-66.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.038>
- Rodríguez-Prieto, L.; 2012. Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO<sub>2</sub> concentrations. En: Journal of Hazardous Materials. Vol. 211-212. p. 131-137
- Rodríguez, Rita (2013). Influencia de los fármacos presentes en el agua residual sobre la resistencia de la bacteria Escherichia coli y su eliminación por oxidación avanzada (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Rossner, A; Snyder, S y Knappe D. 2009. Removal of emerging contaminants of concern by alternative adsorbents. En: Water Research. Vol. 43, p. 3787-3796
- Ruhí, A. V. Acuña, D. Barceló, B. Huerta, JR Mor, S. Rodríguez-Mozaz, S. Sabater. 2016 Bioacumulación y magnificación trófica de fármacos y disruptores endocrinos en la red alimentaria de un río mediterráneo ciencia Entorno Total. , 540 , págs. 250 - 259

- Sacher, F., Lange, F.T., Brauch, H.-J. y Blankenhorn, I. 2001. Pharmaceuticals in groundwaters: analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Wurttemberg, Germany. *J. Chromatogr. A* 938(1/2):199–210.
- Schwaiger, Julia; Ferling, Hermann; Mallow, U.; Wintermayr, H.; Negele, Rolf (2004). Toxic effects of the nonsteroidal anti-inflammatory drug diclofenac: Part I: histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 68(2), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.03.014>.
- Sedlak, D.L. y Pinkston, K.E. 2001. Factors affecting the concentrations of pharmaceuticals released to the aquatic environment. *Water Res.* 56–64.
- Seiler, R.L., Zaugg, S.D., Thomas, J.M. y Howcroft, D.L. 1999. Caffeine and pharmaceuticals as indicators of waste water contamination in wells. *Ground Water*. 37(3):405–410.
- Stefanakis, A. I., & Becker, J. A. (2015). A review of emerging contaminants in water: Classification, sources, and potential risks. *Impact of Water Pollution on Human Health and Environmental Sustainability*, September, 55–80. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9559-7.ch003>
- Stumpf, M., Ternes, T., Haberer, K., Seel, P. y Baumann, W. 1996. Nachweis von Arzneimittelrückständen in Kläranlagen und Fließgewässern. *Vom Wasser*. 86: 291–303.
- Stumpf, M., Ternes, T.A., Wilken, R-D., Rodrigues, S.V. y Baumann, W. 1999. Polar drugs residues in sewage and natural waters in the state of Río de Janeiro Brazil. *Sci. Total Environ.* 225(1):135-141.
- Tambosi, J. L; et al. 2010. Removal of pharmaceutical compounds in membrane bioreactors (MBR) applying submerged membranes. *En: Desalination*. Vol. 261, p. 148-156

- Teijon, Gloria; et al. Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility. En: Science of The Total Environment. 2004. Vol. 408, N° 17, p. 3584-3595.
- Ternes, T.A. 1998. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. Water Res. 32(11):3245-3260
- Ternes T, Stumpf M, Mueller J, Haberer K, Wilken R, Servos M. 1999. Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants-I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. Science of the Total Environment, 225:81-90
- Ternes, T.A., Bonerz, M. y Schmidt, T. 2001. Determination of neutral pharmaceuticals in wastewater and rivers by liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry. J. Chromatogr. A 938 (1/2): 175–185.
- Thaker, P.D. 2005. Pharmaceutical data elude researchers. Environ. Sci. Technol. 39(9):193A–194A.
- Thomaidis, NS. Asimakopoulos, AG. Bletsou, AA. 2012. Contaminantes emergentes: una minirevisión tutorial. Global NEST J. 14 (1), págs. 72 - 79
- Thomas, K.V. y Hilton, M.J. 2004. The occurrence of selected human pharmaceutical compounds in UK estuaries. Mar. Pollut.Bull. 49 (5/6):436–444.
- Urbina, J, Juliana; Vera-Solano, Javier (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. Informador Técnico, 84(2), 2-15. <https://doi.org/10.23850/22565035.2305>.
- US EPA. (2018). Contaminant Candidate List 5 (CCL 5). Public Domain.

- Van der Ven K., Van Dongen, W., Maes, B.U.W., Esmans, E.L., Blust, R. y De Coen W.M. 2004. Determination of diazepam in aquatic samples by capillary liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry. *Chemosphere*. 57(8):967–973.
- Vargas-Berrones, K., Bernal-Jácome, L., Díaz de León-Martínez, L., & Flores-Ramírez, R. (2020). Emerging pollutants (EPs) in Latin América: A critical review of under-studied EPs, case of study -Nonylphenol-. *Science of the Total Environment*, 726, 138493. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138493>
- Velicu, M., & Suri, R. (2009). Presence of steroid hormones and antibiotics in Surface water of agricultura, suburban and mixed-use áreas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 154(1-4), 349-359. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0402-7>.
- Weigel, S., Berger, U., Jensen, E., Kallenborn, R., Thoresen, H., Hühnerfuss, H. 2004. Determination of selected pharmaceuticals and caffeine in sewage and seawater from Tromsø/Norway with emphasis on ibuprofen and its metabolites. *Chemosphere*. 56(6):583–592.
- World Health Organization. In *Bulletin of the World Health Organization*; 2014; Vol 61, pp 383-394.
- Yang, S., Cha, J., Carlson, K. 2004. Quantitative determination of trace concentrations of tetracycline and sulfonamide antibiotics in surface water using solid-phase extraction and liquid chromatography/ion trap tandem mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 18:2131–2145.
- Yang, S.; Hai, F. I.; Price, W. E.; McDonald, J.; Khan, S. J.; Nghiem, L. D. 2016. Occurrence of Trace Organic Contaminants in Wastewater Sludge and Their Removals by Anaerobic Digestion. *Bioresour. Technol*. 210, 153-159.

Zhang, X.; Guo, W.; Ngo, H. H.; Wen, H.; Li, N.; Wu, W. 2016. Performance Evaluation of Powdered Activated Carbon for Removing 28 Types of Antibiotics from Water. *J. Environ. Manag.* 172, 193-200.

Zhou, Y. Li, W. 2022. Facultad de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad A&F del Noroeste, provincia de Shaanxi, Yangling, 712100, China.