



Revista Logos, Ciencia & Tecnología
ISSN: 2145-549X
ISSN: 2422-4200
revistalogoscyt@gmail.com
Policía Nacional de Colombia
Colombia

Remoción de sustancias disruptoras endocrinas "levonorgestrel" en fuentes hídricas

Cifuentes Cetina, Angie Rocío; Avila Viatela, Joahan Katherine; Rodríguez Miranda, Juan Pablo
Remoción de sustancias disruptoras endocrinas "levonorgestrel" en fuentes hídricas

Revista Logos, Ciencia & Tecnología, vol. 8, núm. 1, 2016

Policía Nacional de Colombia, Colombia

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=517752176017>

DOI: <https://doi.org/10.22335/rict.v8i1.305>

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Remoción de sustancias disruptoras endocrinas "levonorgestrel" en fuentes hídricas

Removal of substances disrupting endocrines
"levonorgestrel" sources water

Remoção de substâncias que perturbam endócrinas
"levonorgestrel" fontes de água

Angie Rocío Cifuentes Cetina anrochifu@hotmail.com

Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Joahan Katherine Avila Viatela katerineavila@hotmail.com

Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Juan Pablo Rodríguez Miranda

jprodriguez@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Revista Logos, Ciencia & Tecnología, vol.
8, núm. 1, 2016

Policía Nacional de Colombia, Colombia

Recepción: 09 Diciembre 2015
Aprobación: 18 Julio 2016

DOI: <https://doi.org/10.22335/rct.v8i1.305>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=517752176017>

Resumen: La sostenibilidad global del agua depende en parte de su reutilización efectiva, en particular de las aguas residuales, siendo fundamental para el riego y el aumento de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, hay preocupación por la presencia de concentraciones de trazas de los productos farmacéuticos y los EDC en las aguas residuales. Debido a que los efectos de los procesos naturales o antropogénicos impulsados, como el flujo natural de temporada o la variabilidad climática/sequía prolongada, son factores que pueden alterar drásticamente las concentraciones de estos compuestos, para este trabajo se revisaron los contaminantes emergentes que se encuentran presentes en las fuentes de agua, específicamente los compuestos disruptores endocrinos, debido a que el impacto de estas progestinas como el levonorgestrel (LNG) puede afectar negativamente la reproducción y crecimiento de organismos acuáticos. El interés de este tema de investigación es proponer una estrategia que permita el tratamiento y control del LNG en las aguas residuales a partir del cumplimiento de la normatividad y del uso de diferentes tecnologías de remoción o conversión de estos contaminantes, debido a que se hace necesario obtener información precisa sobre la eliminación de estos contaminantes, sobre su atenuación natural en el ambiente y sobre el impacto de las descargas de aguas residuales en cuerpos de aguas superficiales o subterráneas.

Palabras clave: contaminantes emergentes, disruptores endocrinos, gestión ambiental.

Abstract: The overall sustainability of water depends in part on its effective re-use, particularly of wastewater, which is essential for irrigation and an increase in the supply of drinking water. However, there is concern about trace concentrations of pharmaceutical products and EDCs in wastewater because the effects of natural or anthropogenic driven processes, such as seasonal natural flow or climatic variability / prolonged drought, are factors that can drastically alter the concentrations of these compounds. For this work a review of the emerging pollutants that are present in the water sources specifically the endocrine disrupting compounds was performed, since the impact of these progestins, such as levonorgestrel (LNG), can negatively affect the reproduction and growth of organisms. The interest of this research topic is to propose a strategy that allows the treatment and control of LNG in the wastewater, from the compliance of the normativity and the use of different technologies of removal or

conversion of these contaminants because it is necessary to obtain accurate information on the disposal of these pollutants, their natural attenuation in the environment, the impact of the discharge of waste water into bodies of surface water or groundwater.

Keywords: emerging contaminants, endocrine disruptors, environmental management.

Introducción

Con los cambios generados por la industrialización se aumentó el uso de los recursos naturales, lo cual produjo la contaminación y degradación de los ecosistemas y con estos del aire, agua y suelo (Sauvé and Desrosiers, 2014), recursos necesarios e indispensables para la vida, que no solo deben garantizarse en calidad y cantidad, sino también para satisfacer la creciente demanda de agua dulce que se está presentando debido al aumento de la población mundial (Fatta and Michael, 2013). La importancia de disminuir la contaminación generada en gran medida por el crecimiento de la población en las ciudades causada por grandes volúmenes de desechos orgánicos, como productos de desagüe y químicos, los cuales afectan un recurso natural necesario como el agua, asimismo la fauna y la flora y la cadena alimenticia, lo cual ocasiona problemas de salud en el ser humano. (Huckeleand Track, 2013; Pedraza, 2016).

Los contaminantes emergentes son compuestos que no son necesariamente persistentes, aunque su vertido puede suponer un problema sanitario y ambiental que aún no está suficientemente investigado ni regulado (Aguinaco *et al.*, 2012). Los solubles en agua son capaces de penetrar en todas las etapas del ciclo de esta y causar un gran problema ambiental (García *et al.*, 2014). Los vertimientos de aguas residuales son la principal fuente de micro contaminantes que generan problemas en los ecosistemas acuáticos. Es importante tratar adecuadamente estas aguas para reducir los problemas generados en los ecosistemas acuáticos (Murray and Örmeci, 2012; Martínez, Vergel, Zafra, 2015); dichos problemas incluyen aumento de la proporción de hembras con respecto a los machos, demoras en la edad de reproducción –que conducen a un menor éxito de la fertilización–, reducción de la calidad de los gametos y fracaso para alcanzar la madurez sexual hasta el cambio de sexo (Helfman, 2007).

No existe una legislación en donde estén incluidos algunos de estos contaminantes, se regule su concentración máxima admisible en el ambiente y se muestre el riesgo que presentan como contaminantes potencialmente peligrosos para la población humana y los ecosistemas, por lo que podrían incluirse en normas específicas debido a que en varios estudios han sido cuantificados en aguas y en otras matrices ambientales (Rubio *et al.*, 2013). Por su impacto en el ambiente, se están estudiando nuevos procesos de degradación o eliminación de los contaminantes en agua, aunque en Colombia no se muestra una norma clara. Si se da solución a una problemática de gran impacto en la salud y en los ecosistemas, se logrará un equilibrio económico, social, cultural y ambiental del país y se conseguirá un desarrollo sustentable desde el mejoramiento del estado de los ecosistemas promoviendo el uso

sostenible, reducción de contaminación y protección del agua (Murnyak *et al.*, 2011).

Los tratamientos tradicionales están limitados en su capacidad para eliminar los contaminantes emergentes del agua; por esta razón existe una necesidad de implementar nuevas tecnologías que sean eficaces como viables económicamente (Fatta and Michael, 2013). En este contexto, la oxidación química (durante aplicaciones de agua potable), la eliminación biológica/transformación (en aplicaciones de aguas residuales) o nanofiltración/ósmosis inversa son las tecnologías de tratamiento de agua para eliminación de estos contaminantes (Snyder and Benotti, 2010). Hasta la fecha, el número y tipo de contaminantes orgánicos investigados es todavía limitado, teniendo en cuenta el gran número de productos químicos detectados. Además, los datos de los impactos toxicológicos relativos son bastante escasos (García *et al.*, 2014).

Por ello, este artículo tiene como objetivo proporcionar una revisión de productos farmacéuticos, destacandose ejemplos de la forma en que estos compuestos pueden afectar la sostenibilidad de un ecosistema (Silveira *et al.*, 2013; Bhatnagar and Sillanpaa, 2011; Anumol *et al.*, 2013; Stuart *et al.*, 2012; Robles *et al.*, 2014), además de presentar una revisión de las sustancias disruptoras endocrinas, como los estrógenos, los cuales son utilizados como anticonceptivos y para el tratamiento de desórdenes hormonales como la menopausia (Overturf *et al.*, 2014; Nasuhoglu *et al.*, 2012; Svensson *et al.*, 2014); asimismo, son los responsables en casos de fenómenos de feminización, hermafroditismo y disminución de la fertilidad de los organismos acuáticos (Gavrilescu *et al.*, 2014).

Metodología

La revisión de la bibliografía en las bases de datos *Scopus* y *ScienceDirect* se realizó ingresando en los campos de búsqueda las palabras *emerging contaminants and endocrine disruptors in water* y agregando palabras como *regulations y sustainable development*; la consulta se realizó únicamente para artículos entre el 2010 y el 2014, aunque para algunos casos específicos fue necesario agregar artículos anteriores debido a su relevancia. Se consultaron cerca de 120 artículos, de los cuales se tomaron alrededor de 70 para las referencias del presente artículo de revisión. En los artículos se buscó el impacto a nivel nacional e internacional de los contaminantes emergentes y en específico los compuestos disruptores endocrinos en los cuerpos de agua, las características de tales compuestos y la postura que ha tomado Colombia ante sus efectos. También se abordará un análisis de la relación que hay entre el desarrollo sostenible y las propuestas que se han planteado para la disminución de estos contaminantes utilizando diferentes métodos, desarrollo de planes de acción y sistemas de información sobre las consecuencias en el medio ambiente y la salud. Las tecnologías de tratamiento de agua fueron las basadas en los sistemas convencionales (cloro, dióxido de cloro, plantas de tratamiento de aguas residuales), la adsorción/bioadsorción sobre carbón activado y procesos de oxidación avanzada por medio de ozonización

(Nelson *et al.*, 2011), fotooxidación, foto-Fenton, radiólisis y procesos electroquímicos (electrooxidación sin y con cloro activo). En el desarrollo del texto será descrito el efecto de estos tratamientos sobre los compuestos farmacéuticos, las ventajas y desventajas de las diferentes metodologías utilizadas (Rivera *et al.*, 2013).

Desarrollo

Dadas la gran cantidad de sustancias químicas liberadas en el ambiente y las limitaciones de tiempo y presupuesto existentes, hay necesidad de priorizar los productos químicos para la evaluación de riesgos y su seguimiento en el contexto de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMAUE) (Huckele and Track, 2013). Según lo anterior, se deben clasificar los productos químicos en función de la información disponible (por ejemplo, la derivación de los Estándares de Calidad Ambiental (NCA) y la mejora de los métodos de análisis, etc.), (Carsten, *et al.*, 2011). Las aguas residuales generadas en hospitales contienen una gran variedad de sustancias tóxicas o persistentes, como productos farmacéuticos, disolventes y desinfectantes para uso médico en un amplio rango de concentraciones (Huckele and Track, 2013); estos contaminantes no se encuentran regulados y pueden ser candidatos para la futura regulación en función de la investigación sobre sus efectos potenciales para la salud (Qingwei *et al.*, 2013). La mayoría de estos productos farmacéuticos y productos para el cuidado personal también pueden estar presentes en las aguas residuales urbanas. Las concentraciones de estos contaminantes son extremadamente bajas, típicamente a niveles de partes por billón, lo que hace difícil su tratamiento (Verlicchi *et al.*, 2010). Sin embargo, varios estudios de laboratorio y de campo han demostrado que incluso a niveles muy bajos, estos compuestos pueden acumularse en organismos acuáticos y afectar adversamente su crecimiento y reproducción.

Se necesitan medidas urgentes para proteger la salud humana de los suministros de agua potable contaminada, que puede ser otra vía de exposición a los productos químicos no deseados. Estas medidas incluyen la evaluación cuantitativa del riesgo, los estudios toxicológicos, incluyendo los efectos crónicos, y el desarrollo de estrategias para proteger los recursos hídricos. Por otra parte, los avances tecnológicos en el tratamiento del agua y la producción de agua confiable serán requisitos para proteger nuestros suministros de agua. Para lograr estos objetivos es necesario entender qué son los productos químicos emergentes, así como los métodos analíticos que se requieren para su tratamiento y cuáles son las implicaciones que estos podrían tener (Birkholz *et al.*, 2014).

Productos farmacéuticos

La presencia de productos químicos farmacéuticos en el medio acuático ha sido reconocida como una preocupación para el medio ambiente

(Gil *et al.*, 2012). Las vías principales de los productos farmacéuticos para llegar al medio ambiente son la excreción humana (Daughton and Ruhoy, 2013), la eliminación de los productos no utilizados y el uso agrícola (Poynton and Vulpe, 2009). Una amplia gama de productos farmacéuticos se ha detectado en aguas superficiales y subterráneas, asociada con la eliminación de las aguas residuales (Barnes *et al.*, 2008; Watkinson *et al.*, 2009). Estos residuos farmacéuticos son transportados al ciclo del agua por diferentes rutas. Por ejemplo, las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una puerta de entrada de estos productos a los cuerpos de agua, porque muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en el proceso que allí se lleva a cabo. Por otro lado, muchos residuos farmacéuticos veterinarios son descargados directamente al ecosistema (Mohapatra *et al.*, 2014).

Compuestos disruptores endocrinos

La presencia de productos farmacéuticos y EDC en el medio ambiente ha recibido mucha atención en la última década. La cuestión se ha debatido desde hace casi medio siglo, ya que los científicos eran conscientes de que ciertos productos químicos tenían la capacidad de imitar los estrógenos endógenos y andrógenos. Las hormonas humanas son fisiológicamente activas en cantidades muy pequeñas (Snyder and Benotti, 2010).

No obstante estos primeros resultados, estudios sobre los esteroides y productos farmacéuticos en los emisarios de aguas residuales no ganaron atención significativa hasta la década de 1990, cuando la aparición de hormonas esteroides naturales y sintéticos en las aguas residuales fue vinculada a los impactos reproductivos en los peces que viven debajo de aguas de desagües (Desbrow *et al.*, 1998). Tras el descubrimiento de la relación entre la presencia de trazas de contaminantes en corrientes de aguas residuales y los efectos adversos ecológicos de las aguas receptoras, se han producido numerosos estudios de medición de concentraciones en trazas (ng/L) de los productos farmacéuticos y en los EDC en el entorno (González *et al.*, 2012; Nurmi and Pellinen, 2011; García C. *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2014). Estos estudios concluyen que el principal contribuyente de la tan extendida contaminación es la descarga de aguas residuales municipales.

Tratamientos de eliminación de contaminantes emergentes

Los tratamientos de aguas residuales empleando métodos convencionales no son del todo satisfactorios, al punto que se ha detectado que muchos compuestos persisten sin alteración alguna aun después de aplicar tratamientos terciarios. Por tal razón es importante identificar y evaluar la eficiencia de otras tecnologías para el tratamiento de aguas, con el fin de proponer alternativas que permitan minimizar la presencia de CE a un bajo costo económico, energético y ambiental (Gil, *et al.*, 2012). Para

analizar los contaminantes se utiliza Cromatografía Líquida acoplada a Espectrómetro de Masas LC-MS.

La filtración por membranas, procesos de oxidación avanzada (ozonización y oxidación) y la adsorción se han propuesto para retirar los productos farmacéuticos del medio acuoso. Aunque la oxidación avanzada puede ser eficaz para la eliminación de contaminantes emergentes, estos tratamientos pueden conducir a costos económicos altos y la formación de intermedios de oxidación, en su mayoría desconocidos (Songhu *et al.*, 2013). Por lo tanto, la adsorción es preferible para eliminar compuestos tóxicos debido a que produce efluentes de alta calidad, no se suman subproductos indeseables y presenta bajos costos. Como se ha informado extensamente en la literatura, la adsorción sobre carbón activado ha sido ampliamente considerada como una tecnología de tratamiento altamente efectivo para el agua subterránea contaminada, debido a que es el mayor absorbente natural que existe y es posible seleccionarlo con la mejor capacidad de absorción hacia los contaminantes (Sotelo *et al.*, 2014).

Otra técnica que se propone como una alternativa o tratamiento adicional que potencialmente podría reducir o eliminar tales subproductos es el ozono, pero al ser altamente reactivo es también un medio importante para la producción de una serie de subproductos. La ultrafiltración es una opción potencial para segregar esas partículas de su matriz, pero no es un proceso que sea de fácil realización (Sauvé and Desrosiers, 2014).

Análisis de las consecuencias de los contaminantes emergentes

La necesidad de mirar más allá de los contaminantes convencionales objetivo, al evaluar los riesgos de los productos químicos para la salud humana y para los ecosistemas, es hoy en día reconocida como un tema prioritario en todas las áreas de política ambiental, tanto a nivel europeo como a nivel nacional. También ha quedado claro que no es posible que por sí solos los países desarrollen los conocimientos y las metodologías necesarios para medir y evaluar los efectos y los riesgos asociados de un gran número de contaminantes emergentes (Brack *et al.*, 2012).

Actualmente existe un creciente interés por los contaminantes emergentes (CE), ya que son compuestos de distinto origen y naturaleza química cuya presencia en el medio ambiente, o las posibles consecuencias de la misma, han pasado en gran medida inadvertidos, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud. Estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e incluso en agua potable. Son compuestos de los que relativamente se conoce poco en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento; en la mayoría de los casos son contaminantes no regulados que pueden ser candidatos a regulación futura, dependiendo de investigaciones sobre sus efectos potenciales en la

salud y los datos de monitoreo con respecto a su incidencia; por lo tanto, son susceptibles de investigación (Gil *et al.*, 2012).

Los problemas en el medio ambiente derivados de la presencia de contaminantes emergentes siguen siendo estudiados debido a su persistencia, sus propiedades tóxicas y su bioamplificación junto a redes tróficas (Secondes *et al.*, 2014). Existen muchos tipos de estos contaminantes, entre los que se pueden encontrar pesticidas, productos farmacéuticos y de higiene personal, fragancias, plastificantes (Rodríguez *et al.*, 2012), hormonas (Escher *et al.*, 2011), retardantes de llama (Eggen *et al.*, 2013), nanopartículas, compuestos de perfluoro alquilo, clorados, parafinas, siloxanos, toxinas de algas, diversos elementos traza que incluyen tierras raras y radionúclidos, etc. Estos son solo unos pocos ejemplos de una larga lista de posibilidades de estos contaminantes (Sauvé and Desrosiers, 2014). Como ejemplo, se resumen algunos en la tabla 1, teniendo en cuenta su aplicación y los efectos sobre la salud. Entre las principales fuentes de entrada de estas sustancias al medio están las aguas residuales no tratadas y los efluentes procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales, los cuales no están actualmente diseñados para tratar este tipo de sustancias. Por lo tanto, una alta proporción de estos compuestos entra con una gran toxicidad al medio acuático, alterando acuíferos, sistemas fluviales y marinos, entre otros (Dougherty *et al.*, 2010).

Tabla 1

Aporte del gobierno y la educación en las personas con TEA, familias y especialistas.

PERSONAS VINCULADAS	GOBIERNO	EDUCACIÓN
Personas con TEA	➤ Promover y trabajar por los derechos y su calidad de vida ➤ Velar por la protección ➤ Proteger la dignidad ➤ Fomentar la igualdad ➤ Visibilizar la condición ➤ Generar nuevas oportunidades	➤ Uso de tecnologías ➤ Aprendizaje con abordajes específicos ➤ Intervención y apoyo ➤ Diagnóstico certero
Familia	➤ Apoyar las organizaciones y sus actividades ➤ Liderar y cooperar con otras organizaciones ➤ Apoyo a familias	➤ Uso de tecnologías ➤ Facilitadores y soportes en la atención de la persona ➤ Información oportuna ➤ Seguimiento en el tratamiento ➤ Estar atento a las necesidades de la persona ➤ Ser confidente y apoyo ➤ Responsabilizarse del proceso, compromiso
Especialistas	➤ Capacitación a profesionales ➤ Promover la investigación	➤ Uso de tecnologías ➤ Investigación de caso clínico ➤ Prácticas profesionales adaptables a los requerimientos y demandas

El Levonorgestrel

Hormonas esteroides, sintéticos de los productos farmacéuticos de anticoncepción, se han convertido en contaminantes acuáticos mundiales. Las progestinas, los análogos sintéticos de la progesterona, están recibiendo cada vez más atención como contaminantes, y se ha demostrado que pueden afectar la reproducción en peces y anfibios en concentraciones bajas (ng L-1). Algunas progestinas, como el Levonorgestrel (figura 1), tienen propiedades androgénicas y parecen ser varios órdenes de magnitud más potentes en términos de alteración de la reproducción en los peces que las progestinas no androgénicas y los progestágenos (Svensson *et al.*, 2014).

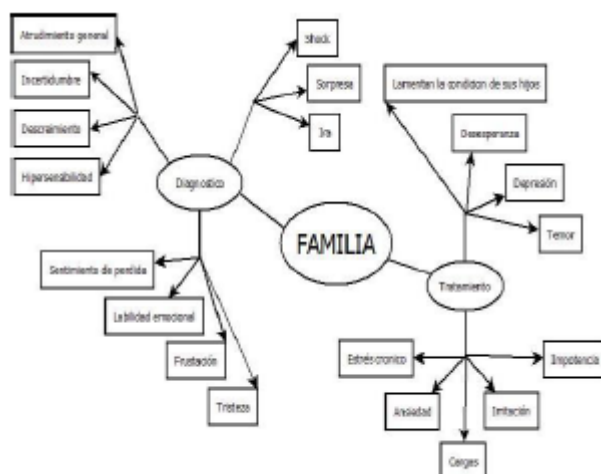


Figura 1.

Mapa mental de las necesidades en la familia de personas con TEA

Fuente: Elaboración propia.

Recientemente, los estudios han señalado el potencial de progestinas sintéticas para afectar la reproducción y crecimiento de organismos acuáticos. Para el caso específico, se planteó revisar las investigaciones realizadas sobre el impacto del levonorgestrel (LNG) y se ha encontrado que puede impactar negativamente en la supervivencia y el crecimiento de las larvas de la carpita cabezona (*Pimephales promelas*), con alteraciones significativas en las respuestas endocrinas relacionadas; después de 28 días de la eclosión, la supervivencia de las larvas fue impactada a 462 ng/L, mientras que el crecimiento se redujo significativamente a 86,9 ng/L; algunos efectos ocurren a una concentración de 16,3 ng/L (Overturf *et al.*, 2014; Nasuhoglu *et al.*, 2012). También se encontraron fuertes efectos androgénicos en los espinosos femeninos *tres spined .Gasterosteus aculeatus*), durante seis semanas, puede interrumpir el ciclo de reproducción en los peces espinosos; algunos efectos ocurren a una concentración de 6,5 ng/L (Svensson *et al.*, 2014).

Análisis de los contaminantes emergentes en Colombia

Colombia es un país que presenta gran biodiversidad. Actualmente se busca mejorar la economía nacional para proteger el medio ambiente. La geografía, la política y la pobreza, entre otros, hacen que la salud ambiental sea un tema complejo en este país. La mayoría de los habitantes dependen de la cuenca del río Magdalena como una fuente de agua, pero el río está contaminado con aguas residuales domésticas, los vertidos industriales y sedimentos provenientes de la deforestación, lo que afecta la calidad de la salud. Los cultivos ilícitos y la colonización están deteriorando los bosques y ponen la biodiversidad en peligro. Los plaguicidas, algunos prohibidos, son mal utilizados en la agricultura, lo que lleva a la exposición humana (Olivero, 2011). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los

contaminantes emergentes, como los compuestos perfluorados, se han encontrado en las muestras de las zonas industrializadas.

La importancia del Levonorgestrel radica en que es el principio activo de algunos métodos anticonceptivos hormonales, se utiliza como anticonceptivo oral en dosis de 100 a 250 µg, en dispositivos intrauterinos, anticonceptivos subdérmicos y anticonceptivo de emergencia en dosis de 1,5 mg. Para el caso de Colombia, en un año se venden alrededor de 499.369 dosis del anticonceptivo de emergencia, lo que equivale a que en 10 años que lleva el medicamento en el país se hayan vendido 4.912.517 dosis (Invima, 2012). Aunque en el país se exigió que estas píldoras se vendieran solo bajo receta médica, porque se pretendía que las mujeres recibieran orientación en métodos de planificación y no utilizaran este medicamento como tal, las farmacias las venden libremente y no ha habido control suficiente por parte de las autoridades.

Conclusiones

En la actualidad, existe un creciente interés por conocer el efecto de los denominados contaminantes emergentes, los cuales no habían sido objeto de investigaciones debido al desconocimiento de su presencia en el ambiente y a la falta de técnicas para su detección, dada su baja concentración en el aire, el suelo y el agua. Mientras que las concentraciones de los productos farmacéuticos y los EDC detectados en el agua potable son mínimos, y no se ha investigado el riesgo directo a la salud humana, sí se ha demostrado el riesgo en ecosistemas acuáticos. Los esfuerzos futuros deberían dirigirse a aumentar la eficacia de eliminación de los EDC y productos farmacéuticos en plantas de tratamiento de aguas residuales, que no solo va a proteger el medio ambiente, sino también a limitar la exposición humana a estos contaminantes emergentes a través del agua bebida.

Los estudios realizados sobre este tipo de sustancias en el ambiente, particularmente en las aguas de tipos residual, subterránea y potable, se han reportado en contextos muy generales y por fuera del entorno colombiano. Así, esta revisión, además de mostrar la importancia de conocer el efecto de los contaminantes emergentes sobre la salud humana, busca hacer un llamado a los entes reguladores de las normas de calidad de aguas para que lideren procesos de investigación encaminados a la construcción de un inventario de los contaminantes emergentes que puedan encontrarse en el contexto local. En general, considerando que el país dispone de recursos para la construcción de plantas y reactores de tratamientos de aguas residuales domésticas e industriales, la búsqueda de tratamientos eficaces para la remoción de los CE carece del conocimiento de mecanismos de ocurrencia y transformación de estas sustancias. Es por ello que las investigaciones que se planteen al respecto deben enfocarse en encontrar la manera de adecuar las tecnologías existentes de tratamientos de aguas en procesos avanzados de remoción de CE.

Referencias bibliográficas

- Aguinaco, A., Beltrán, F., García, J., and Oropesa, A. (2012). "Photocatalytic ozonation to remove the pharmaceutical diclofenac from water: Influence of variables", *Chemical Engineering Journal*, 189-190: 275-282, ISSN 1385-8947, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894712003051>.
- Anumol, T., Merel, S., Clarke, B., and Snyder, S. (2013). "Ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry for rapid analysis of trace organic contaminants in water". *Chemistry Central Journal*, 7(1). 1-14, recuperado de: <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1752-153X-7-104.pdf>.
- Ashby, J., Houthoff, E., Kennedy, S., Stevens, J., Bars, R., Jekat, F., Campbell, P., Van Miller, J., Carpanini, F., and Randall, G. (2011). "The challenge posed by endocrine-disrupting chemicals". *Environ Heal Perspect* 105(2): 164-69.
- Barber, L. (2014). "1.13 - Emerging Contaminants, In *Comprehensive Water Quality and Purification*". Edited by Satinder Ahuja, Elsevier, Waltham, ISBN 9780123821836, pp. 245-266, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123821829000153>.
- Barceló, D., y López, M. (2007). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Panel Científico-Técnico de seguimiento de la política de aguas. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. Barcelona.
- Barnes, K. et al. (2008). "A national reconnaissance of pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants in the United States - I) Groundwater". *Sci Total Environ* vol. 402. 192-200.
- Bhatnagar, A. and Sillanpaa, M. (2011). "A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water". *Chemical Engineering Journal*. 168(2): 493-504, ISSN 1385-8947, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711001689>.
- Birkholz, D., Stilson, S., and Elliott, H. (2014). "Analysis of Emerging Contaminants in Drinking Water". In *Comprehensive Water Quality and Purification*, vol. 2: 212-229, ISBN 9780123821836, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123821829000359>.
- Bolong, N. et al. (2009). "A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal". *Desalination* vol. 239: 229-246.
- Brack, W., Dulio, V., and Slobodnik, J. (2012). "The Norman Network and its activities on emerging environmental substances with a focus on effect-directed analysis of complex environmental contamination". *Environmental Sciences Europe*, 24(1): 1-5, recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1186/2190-4715-24-29>.
- Brooks, B., Berninger, J., Kristofco, L., Ramírez, A., Stanley, J., and Valenti, T. (2012). "Chapter Eight - Pharmaceuticals in the Environment: Lessons Learned for Reducing Uncertainties in Environmental Risk Assessment", *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, Academic Press, vol. 112: 231-258, ISSN 1877-1173, ISBN

- 9780124158139, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124158139000088>.
- Carsten, P., Dulio, V., Slobodnik, J., Deckere, E., Kühne, R., Ebert, R., Ginebreda, A., Cooman, W., Schüürmann, G., and Brack, W. (2011). "A new risk assessment approach for the prioritization of 500 classical and emerging organic microcontaminants as potential river basin specific pollutants under the European Water Framework Directive", *Science of the Total Environment*, vol. 409 (11): 2064-2077, ISSN 0048-9697, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711001136>.
- Chong, M., Jin, B., Laera, G., Saint, C. (2011). "Evaluating the photodegradation of carbamazepine in a sequential batch photoreactor system: impacts of effluent organic matter and inorganic ions". *ChemEng J.* 174:595-602.
- Daughton, C., and Ruhoy, I. (2013). "Lower-dose prescribing: Minimizing 'side effects' of pharmaceuticals on society and the environment". *Science of the total Environment*, vol. 443: 324-337, ISSN 0048-9697, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712013927>.
- Desbrow, C., Routledge, E., Brighty, G., Sumpter, J. & Waldock, M. (1998). "Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. Chemical fractionation and in vitro biological screening". *Environ. Sci. Technol.* 32(11), pp. 1549-1558.
- Dougherty, J., Swarzenski, P., Dinicola, R., and Reinhard, M. (2010). "Occurrence of herbicides and pharmaceutical and personal care products in surface water and groundwater around Liberty Bay, Puget Sound, Washington". *Journal of Environmental Quality*, vol. 39, pp. 1173-1180.
- Eggen, T., Heimstad, E., Stuanes, A., and Norli, H. (2013). "Uptake and translocation of organophosphates and other emerging contaminants in food and forage crops". *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 20(7), pp. 4520-4531, recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-012-1363-5>.
- Escher, B., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J., and McArdell, C. (2011). "Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater", *Water Research*, ISSN 0043-1354, Vol. 45(1), pp. 75-92, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313541000583X>.
- Fatta, D., and Michael, C. (2013). "Wastewater reuse applications and contaminants of emerging concern". *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 20, pp. 3493-3495, recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-013-1699-5>.
- García, N., Suárez, S., Sánchez, B., Coronado, J., Malato, S., and Maldonado, M. (2011). "Photocatalytic degradation of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plant effluents using immobilized TiO₂ in a solar pilot plant", *Applied Catalysis B: Environmental*, ISSN 0926-3373, 103(3-4), pp. 294-301, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337311000397>.
- García C., Gortáres P. y Drogui P. (2011). "Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción", *Revista Química Viva*, ISSN 1666-7948, No

- 2, pp. 96-115, recuperado de: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v10n2/garcia.pdf>.
- García, N., Suárez, S., Maldonado, M., Malato, S., and Sánchez, B. (2014). "Regeneration approaches for TiO₂ immobilized photocatalyst used in the elimination of emerging contaminants in water", *Catalysis Today*, ISSN 0920-5861, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092058611400025X>.
- Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., Fava, F. (2014). "Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation", *New Biotechnology*, ISSN 1871-6784, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678414000028>.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., and Gutiérrez, O. (2012). "Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments". *Revista Producción + Limpia*, 7(2), pp. 1-6, recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4333973>.
- González, S., López, R., and Cortina, J. (2012). "Presence and biological effects of emerging contaminants in Llobregat River basin: A review", *Environmental Pollution*, ISSN 0269-7491, Vol. 161, pp. 83-92, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111005604>.
- Helfman, G. (2007). "Fish conservation: a guide to understanding and restoring global aquatic biodiversity and fishery resources". Island Press, Washington.
- Huckele, S., and Track, T. (2013). "Risk management of emerging compounds and pathogens in the water cycle RiSKWa". *Environmental Sciences Europe*, Vol. 25(1), pp. 1-4. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1186/2190-4715-25-1>.
- Hutchinson, T., Lyons, B., Thain, J., and Law, R. (2013). "Evaluating legacy contaminants and emerging chemicals in marine environments using adverse outcome pathways and biological effects-directed analysis". *Marine Pollution Bulletin*. ISSN 0025-326X, 74(2), pp. 517-525, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13003032>.
- Jiang, J., Lee, C., and Fang, M. (2014). "Emerging organic contaminants in coastal waters: Anthropogenic impact, environmental release and ecological risk". *Marine Pollution Bulletin*, ISSN 0025-326X, Available online 16 January 2014, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13007935>.
- Martínez Lozano, J., Vergel Ortega, M., & Zafra Trisancho, S. (2015). Validez de instrumento para medir la calidad de vida en la juventud: VIHDA. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 7(1), 20-28. Recuperado de <http://revistalogos.policia.edu.co/index.php/rlct/article/view/206>.
- Miralles, S., Oller, I., Ruiz, A., Sánchez, J., Malato, S. (2014). "Removal of pharmaceuticals at microg L-1 by combined nanofiltration and mild solar photo-Fenton", *Chemical Engineering Journal*, ISSN 1385-8947, 239(1), pp. 68-74, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589471301365X>.
- Mohapatra, D., Brar, S., Tyagi, R., Picard, P. and Surampalli, R. (2014). "Analysis and advanced oxidation treatment of a persistent pharmaceutical

- compound in wastewater and wastewater sludge-carbamazepine", *Science of The Total Environment*, ISSN 0048-9697, 470-471(1), pp. 58-75, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713010723>.
- Murnyak, G., Vandenberg, J., Yaroschak, P., Williams, L., Prabhakaran, K., and Hinz, J. (2011). "Emerging contaminants: Presentations at the 2009 Toxicology and Risk Assessment Conference", *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol. 254(2), ISSN 0041-008X, pp. 167-169, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041008X1000414X>.
- Murray, K., Thomas, S., and Bodour, A. (2010). "Prioritizing research for trace pollutants and emerging contaminants in the freshwater environment", *Environmental Pollution*, Vol. 158[12], ISSN 0269-7491, pp. 3462-3471, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749110003477>.
- Murray, A., and Örmeci, B. (2012). "Application of molecularly imprinted and non-imprinted polymers for removal of emerging contaminants in water and wastewater treatment: a review". *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9), pp. 3820-3830, recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-012-1119-2>.
- Nasuhoglu, D., Berk, D., and Yargeau, V. (2012). "Photocatalytic removal of 17 α -ethinylestradiol (EE2) and levonorgestrel (LNG) from contraceptive pill manufacturing plant wastewater under UVC radiation", *Chemical Engineering Journal*, ISSN 1385-8947, Vol. 185-186, pp. 52-60, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894712000150>.
- Nelson, E., Do, H., Lewis, R., Carr, S. (2011). "Diurnal variability of pharmaceutical, personal care product, estrogen and alkylphenol concentrations in effluent from a tertiary wastewater treatment facility". *Environmental Science & Technology* 45, pp. 1228-1234.
- Nurmi, J., and Pellinen, J. (2011). "Multiresidue method for the analysis of emerging contaminants in wastewater by ultra performance liquid chromatography–time-of-flight mass spectrometry", *Journal of Chromatography A*, ISSN 0021-9673, 1218(38,23), pp. 6712-6719, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967311011101>.
- Olivero, J. (2011). "Colombia: Environmental Health Issues", In *Encyclopedia of Environmental Health*, ISBN 9780444522726, pp. 740-754, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444522726003950>.
- Overturf, M., Overturf, C., Carty, D., Hala, D., and Huggett, D. (2014). "Levonorgestrel exposure to fathead minnows (*Pimephales promelas*) alters survival, growth, steroidogenic gene expression and hormone production", *Aquatic Toxicology*, ISSN 0166-445X, Vol. 148, pp. 152-161, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166445X14000162>.
- Pal, A., Hoong, K., Chen, and A., Reinhard, M. (2010). "Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: Review of recent occurrences, sources, fate and effects", *Science of The Total Environment*, ISSN 0048-9697, Vol. 408(24), pp. 6062-6069, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969710009873>.

- Pedraza, E. et al. (2016). Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*. Volumen 7, numero 2. Pp 35-43.
- Pérez, S. y Barceló, D. (2007). "Fate and occurrence of X-ray contrast media in the environment". *Anal Bioanal Chem*. Vol. 387, pp. 1235-1246.
- Poynton, H. y Vulpe, C. (2009). "Ecotoxicogenomics: Emerging Technologies for Emerging Contaminants". *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 45, pp. 83-96.
- Prieto, L., Miralles, S., Oller, I., Agüera, A., Li Puma, G., and Malato, S. (2012). "Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO₂ concentrations". *Journal of Hazardous Materials*. ISSN 0304-3894, 211-212(15), pp. 131-137, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411011083>.
- Qingwei, B., Wang, B., Huang, J., Deng, S., and Gang, Y. (2013). "Pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China: A review", *Journal of Hazardous Materials*, ISSN 0304-3894, Vol. 262, pp. 189-211, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389413006067>.
- Rivera, J., Sánchez, M., Ferro, M., Prados, G., Ocampo, R. (2013). "Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review", *Chemosphere*, ISSN 0045-6535, Vol. 93(7), pp. 1268-1287, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513010436>.
- Robles, J., Gilbert, B., García, J., and Molina, A. (2014). "Monitoring of selected priority and emerging contaminants in the Guadalquivir River and other related surface waters in the province of Jaén, South East Spain". *Science of The Total Environment*, ISSN 0048-9697, 479-480(1), pp. 247-257, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714001508>.
- Rodríguez, E., Fernández, G., Álvarez, P., and Beltrán, F. (2012). "TiO₂ and Fe (III). Photocatalytic ozonation processes of a mixture of emergent contaminants of water", *Water Research*, ISSN 0043-1354, 46(1), pp. 152-166, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411006361>.
- Rubio, A., Chica, E., and Peñuela, G. (2013). "Wastewater Treatment Processes For The Removal of emerging organic pollutants [Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes]". *Revista Ambiente y Agua*, 8(3), pp. 93-103. recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84891062159&partnerID=40&md5=c597d8ba682717986119847abe814914>.
- Sauvé, S. and Desrosiers M. (2014). "A review of what is an emerging contaminant". *Chemistry Central Journal*, 8:15. pp. 1-7. Recuperado de: <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1752-153X-8-15.pdf>.
- Secondes, F., Naddeo, V., Belgiorno, V., and Ballesteros, F. (2014). "Removal of emerging contaminants by simultaneous application of membrane ultrafiltration, activated carbon adsorption, and ultrasound irradiation", *Journal of Hazardous Materials*, ISSN 0304-3894, 264(15), pp. 342-349, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438941300890X>.

- Silveira, M., Caldas, S., Guilherme, J., Costa, F., Guimarães, B., Cerqueira, M., Soares, B., and Primel, E. (2013). "Quantification of pharmaceuticals and personal care product residues in surface and drinking water samples by SPE and LC-ESI-MS/MS". *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 24 (9), pp. 1385-1395, recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883765789&partnerID=40&md5=48be68fd779ae8dd8026b61e8f421f4>.
- Snyder, S., and Benotti, M. (2010). "Endocrine disruptors and pharmaceuticals: implications for water sustainability". *Water Science & Technology-WST*, Vol. 61(1), pp. 145-154, recuperado de: <http://www.iwaponline.com/wst/06101/0145/061010145.pdf>.
- Songhu Yuan, Na Gou, Alshawabkeh, A., and April Gu. (2013). "Efficient degradation of contaminants of emerging concerns by a new electro-Fenton process with Ti/MMO cathode", *Chemosphere*, ISSN 0045-6535, 93(11), pp. 2796-2804, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513012915>.
- Sotelo, J., Ovejero, G., Rodríguez, A., Álvarez, S., Galán, J. and García, J. (2014). "Competitive adsorption studies of caffeine and diclofenac aqueous solutions by activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, ISSN 1385-8947, 240(15), pp. 443-453, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713015738>.
- Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E., and Hart, A. (2012). "Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater". *Science of The Total Environment*, ISSN 0048-9697, 416(1). pp. 1-21, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711013908>.
- Svensson, J., Fick, J., Brandt, I., and Brunström, B. (2014). "Environmental concentrations of an androgenic progestin disrupts the seasonal breeding cycle in male three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*)", *Aquatic Toxicology*, ISSN 0166-445X, Vol. 147, pp. 84-91, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166445X13003548>.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., and Barceló, D. (2010). "Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options", *Journal of Hydrology*, ISSN 0022-1694, Vol. 389(3-4), pp. 416-428, recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410003409>.
- Watkinson, A., et ál. (2009). The occurrence of antibiotics in an urban water shed: From waste water to drinking water. *Sci Total Environ.* 407, 2711-2723.
- Yang, M., Park, M., and Lee, H. (2006). "Endocrine disrupting chemicals: human exposure and health risks". *J. Environ Sci Health C. Environ Carcinog Ecotoxicol. Rev* 24, pp. 183-224.