



Química Viva

E-ISSN: 1666-7948

quimicaviva@qb.fcen.uba.ar

Universidad de Buenos Aires

Argentina

García-Gómez, C.; Gortáres-Moroyoqui, P.; Drogui, P.
Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción
Química Viva, vol. 10, núm. 2, agosto, 2011, pp. 96-105
Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86319141004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción

Emerging contaminants: effects and removal treatments

García-Gómez C.^{1*}, Gortáres-Moroyoqui P.¹ y Drogui P.²

¹*Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Colonia Centro, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85000, México*

²*Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau Terre et Environnement), Université du Québec, 490 rue de la Couronne, Québec, QC, G1K 9A9, Canada*

*Autor de correspondencia. E-mail: celestino.garcia@itson.edu.mx

Recibido el 06/07/2011

Aceptado el 12/07/2011

Resumen

La presencia de contaminantes emergentes o recientemente identificados en nuestros recursos hídricos es motivo de preocupación para la salud y seguridad en el ambiente. Las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales o para uso potable no están diseñadas para eliminar estos tipos de contaminantes. Estos contaminantes emergentes comprenden los productos farmacéuticos, del cuidado personal, surfactantes, aditivos industriales, plastificantes, plaguicidas y una gran variedad de compuestos químicos que aunque se encuentran en bajas concentraciones son capaces de alterar las funciones endocrinas, es por esa razón que han llegado a ser en la actualidad un serio problema. El uso de carbón activado, oxidación y reactores membranales se postulan como los tratamientos más eficientes para la remoción de los contaminantes emergentes los cuales siguen sin estar regulados y monitoreados por la mayoría de los países. Este artículo revisa los efectos que generan los contaminantes emergentes y además se discute los tratamientos para removerlos del medio acuático y contribuir a la solución de esta problemática medioambiental.

Palabras clave: contaminantes emergentes, tratamiento de aguas, procesos convencionales, procesos avanzados, procesos combinados.

Abstract

The presence of emerging or newly identified contaminants in our water resources is a concern for the health and safety in the environment. Conventional wastewater treatment plants or for potable use are not designed to eliminate these types of contaminants. These emerging contaminants include pharmaceuticals, personal care, surfactants, industrial additives, plasticizers, pesticides and a variety of chemical compounds that are even in low concentrations can alter endocrine functions, it is for this reason they have come to currently be a serious problem. The use of activated carbon, oxidation and membrane reactors are postulated as the most effective treatments for the removal of emerging contaminants which are still not regulated and monitored by most countries. This article reviews the effects generated by emerging

contaminants and also discusses the treatments to remove these contaminants from the aquatic environment and thus contribute to the solution of this environmental problem.

Keywords: *emerging contaminants, water treatment, conventional processes, advanced processes, combined processes.*

Introducción

Con el desarrollo de la tecnología se han producido muchos compuestos químicos sintéticos, lo que ha generado un incremento en el número de contaminantes que son considerados un potencial amenazador para el ambiente y todo organismo vivo. Hoy en día se habla de contaminantes emergentes y se refiere a productos farmacéuticos, del cuidado personal, surfactantes, aditivos industriales, plastificantes, plaguicidas y una gran variedad de compuestos químicos que alteran las funciones endocrinas. Estos compuestos se encuentran en bajas concentraciones (generalmente en partes por millón o partes por trillón) y la mayoría siguen sin estar regulados o reglamentados por la mayoría de los países (Kuster *et al.*, 2008).

Una de las principales fuentes de contaminantes emergentes son las aguas residuales que no reciben ningún tratamiento y los efluentes de plantas tratadoras de aguas, las cuales no están diseñadas para tratar este tipo de sustancias, por lo que una alta proporción de estos compuestos y sus metabolitos no sufren ningún cambio y entran con una gran toxicidad al medio acuático, como acuíferos y sistemas marinos entre otros (Dougherty *et al.*, 2010).

Los contaminantes emergentes son de gran interés científico, ya que sus emisiones en el medio ambiente puede aumentar la presencia de bacterias resistentes (Daughton *et al.*, 1999), además debido a sus propiedades físico-químicas (alta solubilidad en agua y poco biodegradable) son capaces de llegar a cualquier medio natural y representar un grave riesgo para el consumo de agua potable (Janssens *et al.*, 1997; Knepper *et al.*, 1999).

En este artículo se revisan los efectos en la salud que pueden generar los contaminantes emergentes y de igual manera se discuten las alternativas propuestas para la eliminación de estos compuestos contenidos en aguas residuales.

Efectos de los contaminantes emergentes

Los compuestos emergentes presentan efectos significativos alterando al sistema endocrino y bloqueando o perturbando las funciones hormonales, afectan a la salud de los seres humanos y de especies animales aun cuando se encuentran en tan bajas concentraciones. Para el caso del compuesto bisfenol A el cual es utilizado en la fabricación de resinas epoxicas y plásticos policarbonatos (para empaques de alimentos y agua) ha manifestado efectos estrogénicos en ratas (Dodds *et al.*, 1998) y hormonales que aumentan el riesgo de cáncer de mama en humanos (Krishnan *et al.*, 1993), además se ha reportado que actúa como un antiandrógeno causando efectos secundarios feminizadores en hombres (Sohoni *et al.*, 1998). Los ftalatos o ésteres de ftalato utilizados como plasticidas en plásticos como PVC, han provocado complicaciones en embarazos (IEH, 2005). De igual manera se ha

reportado que el diclofenaco afecta a los tejidos de las branquias y de riñones en peces de agua dulce, lo que sugiere un posible riesgo para este tipo de poblaciones (Hoeger *et al.*, 2005). Asimismo pesticidas como Dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) ha causado efectos hormonales provocando adelgazamiento en la cascara de huevo de diferentes especies, daños en la función reproductiva en el hombre y cambios de comportamiento en humanos (Colborn *et al.*, 1995). Otro pesticida como el Penconazol es un fungicida que puede afectar la tiroides, próstata y tamaño de testículos (McKinney *et al.*, 1994). También la exposición a compuestos organoclorados como DDT y bifenilos policlorados (PCBs) ha impactado en la reproducción y la función inmune de focas causando disminución de la población (Damstra *et al.*, 2002). Por su lado, antibióticos como penicilina, sulfonamidas y tetraciclinas causan resistencia en patógenos bacterianos (Witte *et al.*, 1998). Aunque estos contaminantes los encontramos en muy bajas concentraciones sus efectos son significativos, por lo que es necesario implementar adecuados diseños de tratamientos de aguas para su eficiente remoción.

Remoción de contaminantes emergentes

A lo largo de la historia las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido diseñadas para la eliminación de materia orgánica y ciertos tipos de contaminantes, especialmente los que se especifican en las normas oficiales. Sin embargo, el estudio de nuevos contaminantes como los emergentes, los cuales poseen una amplia gama de propiedades químicas, requieren de tratamientos avanzados para una segura incorporación de las aguas residuales al medio ambiente.

Tratamientos fisicoquímicos

Diferentes tratamientos fisicoquímicos como coagulación, flotación y cloración se han utilizado para eliminar contaminantes emergentes en aguas residuales. En un estudio realizado a nivel laboratorio utilizando diversos tratamientos (coagulación/flotación, suavización con cal, ozonación, cloración y adsorción con carbón activado granular (CAG)) se analizó la eliminación de 30 diferentes compuestos farmacéuticos, no se obtuvo una remoción significante (<20%) con los procesos de coagulación/flotación ni suavización con cal, pero si un buen resultado con carbón activado granular y oxidación por ozono y cloración (>90%) (Westerhoff *et al.*, 2005). Estos resultados concuerdan con Adams *et al.* (2002), donde compuestos farmacéuticos (carbadox, salfadimetoxina, trimetroprim) no fueron removidos utilizando coagulantes como sulfato de aluminio y sulfato férrico. De igual manera en otros estudios, la coagulación resultó ineficiente para la eliminación de diclofenaco, carba, azepina, ibuprofeno y ketoprofeno (Petrovic *et al.*, 2003; Vieno *et al.*, 2006).

Otras investigaciones concuerdan que procesos de adsorción por carbón activado y tratamientos de oxidación son efectivos para remover contaminantes emergentes (Filale *et al.*, 2004; Westerhoff *et al.*, 2005) y esto se debe a las interacciones hidrofóbicas con los compuestos orgánicos polares (Ying *et al.*, 2004), aunque diversas causas reducen el alcance de la separación por carbón activado, como la competencia por sitios activos en la superficie

y/o el bloqueo de los poros con otras partículas, sin embargo, resulta ser el adsorbente más eficaz, especialmente para aguas residuales que contienen materia orgánica refractaria y compuestos no biodegradables. Schafer et al. (2003) utilizó CAG y obtuvo la remoción de más del 90 % con varios compuestos emergentes. Otro estudio comparó coagulación y adsorción por carbón activado para eliminar estrógenos donde se afirma que este último proceso resultó el más eficiente logrando una remoción mayor al 90%, incluso mejor que un sistema de nanofiltración por membranas (Bodzek *et al.*, 2006)

Por otro lado los procesos de oxidación por ozono y cloración resultan ser una buena alternativa, sin embargo, al reaccionar con diferentes químicos se pueden generar subproductos de efectos desconocidos. Estos procesos se recomiendan para una baja carga de carbono orgánico disuelto (COD) ya que este parámetro representa una fuerte influencia en el proceso (Huber *et al.*, 2006). Los procesos de oxidación por ozono se caracterizan por el ataque directo de ozono sobre los compuestos e/o indirectamente por la generación de radicales hidroxilo (OH^\bullet), los cuales se caracterizan por un gran potencial de oxidación lo que representa una buena alternativa para el tratamiento de contaminantes (Trujillo *et al.*, 2010). Aunque los sólidos suspendidos (SS) incrementan la demanda de ozono, la influencia en general es menor, ya que en un tratamiento dado, una dosis de 5 mg/l es suficiente para altas concentraciones de SS (Huber *et al.*, 2005).

Procesos biológicos

Tratamientos convencionales como sistemas de lodos activados o filtros biológicos percoladores pueden rápidamente convertir diversos compuestos orgánicos en biomasa que posteriormente por medio de clarificadores pueden ser separados. Sin embargo no sucede lo mismo con moléculas como los emergentes. En un agua residual de una planta tratadora en Suiza se encontraron compuestos como diclofenaco, naproxeno y Carbamazepina, con una eficiencia de remoción de un 69, 45 y 7% respectivamente (Tixier *et al.*, 2003). También se realizó la degradación de pesticidas (isoproturon, terbutilazina, mecoprop y metamitrona) a nivel laboratorio, donde se alcanzó casi el 100% de remoción, pero con un largo tiempo de adaptación de los lodos activados. En una planta de tratamiento de aguas residuales convencional esto representa una desventaja ya que la utilización de plaguicidas es realizada durante un corto periodo y cuando el lodo activado recibe una carga de estos contaminantes no se encuentra aclimatado para una remoción satisfactoria (Nitscheke *et al.*, 1999). Un largo período de aclimatación (alrededor de 4 meses) se observó a nivel laboratorio en reactores batch para la eliminación del plaguicida 2,4-D, donde se obtuvo prácticamente una completa eliminación (>99%) (Mangat *et al.*, 1999). En otro estudio se estimó que cerca del 60-65% de compuestos nonilfenolicos, que contenía un efluente de una planta tratadora de agua, no sufrieron transformación y fueron descargados al ambiente, donde 19% representaban derivados caboxilatados, 11% de nonilfenol etoxilado lipofílico (NP_1EO) y Nonilfenol dietoxilado (NP_2EO), 25% de nonilfenol (NP) y 8% como nonilfenol etoxilado (NPEO) (Ahel *et al.*, 1994).

Procesos avanzados

Los tratamientos biológicos se han catalogado como la tecnología más viable en el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, solo generan una remoción parcial de contaminantes emergentes los cuales en la mayoría son descargados en los efluentes de las plantas tratadoras. Es por esta razón que hoy en día se busca tecnología más eficiente no solo para el tratamiento de aguas residuales, sino también para agua de consumo. En los últimos años se han estudiado sistemas membranales ya sea biológicos (MBRs) o no biológicos (osmosis inversa, ultrafiltración y nanofiltración) y procesos de oxidación avanzada (POA), estos sistemas son considerados como los más apropiados para remover concentraciones traza de contaminantes emergentes.

Los reactores biológicos de membrana (MBR) son considerados como una mejora al tratamiento microbiológico de aguas residuales, sin embargo debido a cuestiones económicas es limitada su aplicación como en plantas tratadoras de aguas industriales o municipales. Estos sistemas presentan considerables ventajas a los tratamientos biológicos convencionales debido a que se genera una baja carga de lodo en términos de DBO, lo que hace que las bacterias se vean obligadas a mineralizar los compuestos orgánicos de poca biodegradabilidad, además el largo tiempo de vida del lodo da a las bacterias tiempo suficiente para adaptarse al tratamiento de sustancias resistentes (Cote *et al.*, 1997). En un estudio se logró remover más del 90% de nonifenol y bisfenol utilizando tres unidades de MBRs y una unidad externa de ultrafiltración seguida de una absorción por medio de carbón activado granular (CAG), este sistema fue implementado para un agua residual proveniente de una planta de lixiviados de residuos vegetales (Wintgens *et al.*, 2002), en este mismo trabajo también se sugirió como alternativa, un módulo de membrana de nanofiltración seguido del tratamiento de MBRs donde se logró la retención del 70% de estos compuestos emergentes.

Por otro lado se han utilizado procesos de oxidación avanzados (POA) como ozono con peróxido de hidrogeno (O_3/H_2O_2) para tratar ibuprofeno y diclofenaco, aquí se logró la eliminación de más del 90% de estos compuestos (Zwiener *et al.*, 2000). También carbamazepina fue eliminada por completo por un sistema solar combinado de fotocatálisis con TiO_2/H_2O_2 y O_3 (Andreozzi *et al.*, 2002). De igual manera se ha utilizado O_3 con UV para tratar fragancias, metabolitos reguladores líquidos, bloqueadores y estrógenos (Ternes *et al.*, 2003). Usando un reactor a nivel laboratorio se evaluó la eficiencia de un tratamiento con ozono en la degradación de metabolitos NPEO donde el ácido acético nonilfenol (NPE_1C) fue completamente mineralizado, NP en un 80% y en un 50% el NP_1EO en tan solo 6 minutos de tratamiento en todos los casos (Ike *et al.*, 2003).

Tratamientos combinados

Los procesos avanzados se postulan como buena opción para el tratamiento de contaminantes emergentes sin embargo la desventaja se presenta en cuanto a un alto costo comparado con los procesos biológicos, sin embargo, el uso de un proceso avanzado utilizándolo como pre-tratamiento o post-tratamiento puede mejorar la biodegradabilidad de

aguas residuales o lograr una casi completa remoción respectivamente. Se han reportado diversas investigaciones que contemplan la combinación de procesos de oxidación con biológicos, resaltando su gran potencial ante el problema del tratamiento de aguas contaminadas difíciles o imposibles de remover por procesos convencionales fisicoquímicos/biológicos y con el prometedor objetivo de reutilizar esa agua y contribuir con el cuidado medioambiental (Gogate y Pandit, 2004; Mantzavinos y Psillakis, 2004).

Para el tratamiento de penicilina se ha implementado ozonación y perozonación ($O_3+H_2O_2$) a diferentes concentraciones antes de someter un efluente a un tratamiento biológico de lodos activados, el resultado de esta investigación ha sido la remoción del 83% de DQO no biodegradable (Arslan *et al.*, 2004). De igual manera se realizó un tratamiento satisfactorio de sustancias estrógenas en un proceso combinado de ozonación y reactor de lecho móvil después de haberse sometido a un tratamiento convencional de lodos activados (Gunnarsson *et al.*, 2009). Para el tratamiento de un común precursor farmacéutico como es el α-metilfenilglicina se ha utilizado un proceso de foto-fenton adicionado con H_2O_2 como pre-tratamiento a un reactor de biomasa inmovilizada (IBR) lográndose eliminar hasta el 95% del COT del cual el 33% corresponde al sistema de oxidación avanzada y el 62% al tratamiento biológico. En este mismo sistema combinado también se estudió la remoción de ácido nalidíxico (pertenece al grupo de los Quinolonas) lográndolo remover totalmente en tan solo 190 minutos (Sirtori *et al.*, 2009).

La degradación de 4-clorofenol a una concentración inicial de 400 mg/l se realizó en un sistema de fotocatálisis heterogénea utilizando TiO_2 en suspensión como pre-tratamiento a un sistema biológico anaerobio de lodos activados realizado en matraces Erlenmeyer de 250 ml. Al final del tratamiento combinado se logró una completa mineralización del contaminante (Goel *et al.*, 2010). Una mezcla de cinco pesticidas: metomil, dimetoato, oxamil, cimoxalin y pirimetanil fue mineralizada en un sistema combinado de oxidación avanzada y biológico. Se utilizó un sistema solar de oxidación por fotocatálisis con TiO_2 y foto-fenton en reactores parabólicos compuestos para alcanzar la biodegradabilidad de un agua residual en un reactor de biomasa inmovilizada (IBR), aquí se logró una mineralización de más del 90 % de cada pesticida y una completa nitrificación (Oller *et al.*, 2007). Recientemente se ha integrado a nivel laboratorio un MBR y un fotoreactor con TiO_2 para degradar carbamazepina (CBZ) en donde la mayor parte de la demanda química de oxígeno (DQO) fue eliminada por el MBR y la oxidación photocatalítica fue capaz de degradar por completo el CBZ (Laera *et al.*, 2011).

Conclusión

Hoy en día los contaminantes emergentes siguen siendo ignorados y además de no ser monitoreados. Sus efectos adversos en la vida acuática y humana han sido reportados en diversas investigaciones, es por eso que el impacto sobre la salud y medio ambiente ha promovido el estudio de estos contaminantes y sus posibles opciones de remoción con nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales. Diversos tratamientos han sido aplicados para la eliminación de estos contaminantes; como adsorción por carbón activado, procesos de

oxidación (ozono y peróxido de hidrógeno), coagulación/flotación, procesos biológicos como lodos activados y filtración por membranas. Los procesos por medio de carbón activado y membranales han demostrado ser los más eficientes para la remoción de contaminantes emergentes. Así también son varias las investigaciones que demuestran el gran potencial de los sistemas avanzados para la remoción de contaminantes emergentes, los cuales son principalmente utilizados como un pre y/o post tratamiento para obtener un agua con mayor biodegradabilidad. Desafortunadamente la mayoría de las plantas tratadoras de aguas no cuentan con estos tipos de sistemas por lo que estos contaminantes emergentes están siendo arrojados al ambiente, es por eso la importancia de implementar diversas tecnologías para lograr un buen tratamiento de estos compuesto y una mejora al medio ambiente.

Referencias

- Adams C, Wang Y, Loftin K y Meyer M, 2002. Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment process. *J. Env. Eng.* 128: 253-260.
- Andreozzi R, Marotta R, Pinto G y Pollio A, 2002. Carbamazepine in water: persistence in the environment, ozonation treatment and preliminary assessment on algal toxicity. *Water Res.* 36: 2869.
- Ahel M, Giger W y Koch M, 1994. Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment-I. Occurrence and transformation in sewage treatment. *Water Res.* 28: 1131-1142.
- Arslan I, Dogruel S, Baykal E y Gerone G, 2004. Combined chemical and biological oxidation of penicillin formulation effluent. *Journal of Environment Manager* 73 (2):155-163.
- Bodzek M y Dudziak M, 2006. Elimination of steroid sex hormones by conventional water treatment and membrane processes, *Desalination*, 198: 24-32.
- Colborn T, 2002. Pesticides-how research has succeeded and failed to translate science into policy: endocrinological effects of wildlife. *Env. Health Perspective* 103: 81-86.
- Cote P., Buisson H., C. Pound, G. Arakaki, 1997. Immersed membrane activated sludge for the reuse of municipal wastewater *Desalination* 113: 189-196.
- Damstra T, Barlow S, Kavlock R y Van Der Kraak G, 2005. Global assessment of the state-of-the-science of endocrine disruptors, An assessment prepared by an expert group on behalf of the World Health Organization, the International Labour Organisation, and the United Nations Environment Programme, International Programme on Chemical Safety.
- Daughton C. y Ternes A., 1999. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environ. Health Perspect.* 107: 907-937.
- Dodds E y Lawson W, 1938. Molecular structure in relation to estrogenic activity compounds without a phenanthrene nucleus. *Proc., Royal Society London B*, 125: 222-232.
- Dougherty J, Swarzenski P, Dinicola R, Reinhard M, 2010. Occurrence of herbicides and pharmaceutical and personal care products in surface water and groundwater around Liberty Bay, Puget Sound, Washington. *J Environ Qual.* 39: 1173-80.

- Filale Y, TyagiR, Surampalli R, Barata C y Riva M, 2004. Endocrine-disrupting compounds in wastewater, sludge-treatment processes, and receiving waters: Overview, Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management ASCE, 8(1): 39-56.
- Goel M, Chovelon M, Ferronato C, Bayard R y Steekrishnan T, 2010. The remediation of wastewater containing 4-chlorophenol using integrated photocatalytic and biological treatment. *Journal of Photochemical Photobiology B*, 98 (1): 1-6.
- Gogate P. y A. Pandit (2004), A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. *Advances Environmental Reserch* 8 (3-4): 553-97.
- Gunnarsson L, Adolfsson M, Björlenius B, Rutgersson C, Förlin L y Larsson D, 2009. Comparison of six different sewage treatment processes - reduction of estrogenic substances and effects on gene expression in exposed male fish. *Science Total Environmental*. 407 (19): 5235-5242.
- Hoeger B, Kollner B, Dietrich D y Hitzfeld B, 2005. Water-borne diclofenac affects kidney and gill integrity and selected immune parameters in brown trout (*Salmo trutta f. fario*). *Aquat Toxicol* 75:53-64.
- Huber M, Gobel A, Joss A, Hermann N, Loffler D, Mcardell A, Siegrist H, Ternes T y Gunten U, 2005. Oxidation of pharmaceuticals during ozonation of municipal wastewater effluents: A pilot study. *Environ. Sci. Techol.* 39 4290-4299.
- IEH, 2005. Environmental oestrogens: consequences to human health and wildlife, Inst. Env. Health, Leicester, UK.
- Ike F, Asano M, Belkada F, Tsunoi S, Tanakas M y Fujita M, 2002. Degradation of biotransformation products of nonylphenol ethoxylates by ozonation and UV/TiO₂ treatment. *Water Sci. Technol.* 46: 127-132.
- Janssens I, Tanghe T, Verstraete W, 1997. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Water Sci. Technol.* 35: 12.
- Knepper T, Sacher F, Lange F, Brauch H, Karrenbrock F, Roeden O, Linder K, 1999. Detection of polar organic substances relevant for drinking water. *Waste Management* 19 (2): 77-99.
- Krishnan A, Starhis P, Permuth S, Tokes L y Feldman D.,1993. Bisphenol A: an estrogenic substance is released from polycarbonate flask during autoclaving. *Endocrine* 132: 2279-2286.
- Kuster M, Alda M, Hernando M, Petrovic M, Martín A, Barceló D, 2008. Analysis and occurrence of pharmaceuticals, estrogens, progestogens and polar pesticides in sewage treatment plant effluents, river water and drinking water in the Llobregat river basin (Barcelona, Spain). *J Hydrol.* 358:112-23.
- Laera G, Chong M, Jin B y Lopez A, 2011. An integrated MBR-TiO₂ photocatalysis process for the removal of Carbamazepine from simulated pharmaceutical industrial effluent. *Bioresource Technology*. 102: 7012-7015.
- Mangat S y Elefsiniotis P, 1999. Biodegradation of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in sequencing batch reactors. *Water Res.* 33: 861-867.

- Mantzavinos D y E Psillakis, 2004. Enhancement of biodegradability of industrial wastewaters by chemical oxidation pre-treatment. *Chemical Technology Biotechnology* 79: 431-454.
- McKinney J y Waller C, 1994. Polychlorinated biphenyls as hormonally active structural analogues. *Env. Health Perspective* 102: 290-297.
- Nitscheke L, Wilk A, Schussler W, Metzner G y Lind G, 1999. Biodegradation in laboratory activated sludge plants and aquatic toxicity of herbicides. *Chemosphere* 39: 2313-2323.
- Oller I, Malato S, Sánchez J, Maldonado M y Gassó R, 2007. Detoxification of wastewater containing five common pesticides by solar AOPs-biological coupled system. *Catalysis Today* 129: 69-78.
- Petrovic M, Diaz A, Ventura F y Barcelo D, 2003. Occurrence and removal of estrogenic short chain ethoxy nonylphenolic compound and their halogenated derivatives during drinking water production. *Env. Sci. Technol.* 27: 4442-4448.
- Petrovic M, Gonzales S y Barcelo D, 2003. Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water, *Trends Anal. Chem.*, 22 (10): 685-696.
- Schafer A, Nghiem L y Waite T, 2003. Removal of the natural hormone estrone from solution using nanofiltration and reverse osmosis. *Environ. Sci. Technol.* 37: 182-188.
- Sirtori C, Zapata A, Oller I, Gernjak W, Agüera A y Malato S, 2009. Decontamination industrial pharmaceutical wastewater by combining solar photo-Fenton and biological treatment. *Water Reserch* 43: 661-668.
- Sohni P y Sumpter J, 1998. Several environmental estrogen are also endogens. *J. Endocrinol.* 158: 327-339.
- Ternes T., Stuber J., Herrmann N., McDowell D., Ried A., Kampmann M. y Teiser B., 2003. Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater? *Water Res.* 37: 1976-1983.
- Tixier C, Singer H, Ollers S, Muller S, 2003. Occurrence and Fate of Carbamazepine, Clofibric Acid, Diclofenac, Ibuprofen, Ketoprofen, and Naproxen in Surface Waters. *Environ. Sci. Technol.* 37: 1061-1068.
- Trujillo M, García C, Hinojosa J y Castillón Barraza F, 2010. Evaluación de compositos TiO₂/clinoptilolita en la fotodegradación del tinte MV-2B en un reactor-concentrador solar cpc. *Revista mexicana de ingeniería química* 9(2): 139-149.
- Vieno N, Tuukanen T y Kronberg L, 2006. Removal of pharmacuticals in drinking water treatment: effect of chemical coagulation. *Env. Technol.*, 27:183-192.
- Ying G, Kookana R y Waite T, 2004. Endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in reclaimed water in Australia, Australian Water Conservation Reuse Research Program.
- Westerhoff P, Yoon Y, Snyder S. y Wert E, 2005. Fate of endocrine-disrupter, pharmaceuticals and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment process, *Env. Sci. Technol.* 39: 6649-6663.
- Wintgens T., Gellenkemper M. y Melin T, 2002. Endocrine disrupter removal from wastewater using membrane bioreactor and nanofiltration technology. *Desalination* 146: 387-391.

Revista QuímicaViva - Número 2, año 10, agosto 2011 - quimicaviva@qb.fcen.uba.ar

- Witte W, 1998. Medical consequences of antibiotic use in agriculture. *Science*, 279: 966-997.
Zwiener C y Frimmel F, 2000. Oxidative treatment of pharmaceuticals in water. *Water Res.* 34: 1881-1897.



*Revista QuímicaViva
Número 2, año 10, Agosto 2011
quimicaviva@qb.fcen.uba.ar*