

**Nombre del seminario:** Tecnologías avanzadas de oxidación.

**Docentes responsables:** Dra. Cecilia Morgade, Dra. Silvia Fuente

**Duración:** 30 horas

**Fundamentos del recorte del campo temático:**

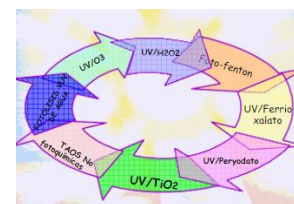
En el seminario tratamiento de aguas de la Especialización y maestría en ingeniería ambiental se hace profundo hincapié en tecnologías de tratamiento de órdenes primario y secundario y se mencionan a título informativo tecnologías menos utilizadas de orden terciario. En la presente propuesta, por su parte se pretende ahondar en dichas tecnologías de orden terciario no sólo aplicables a contaminación de aguas sino también a sistemas gaseosos y sólidos.

La oxidación avanzada es una tecnología de avanzada como su nombre lo indica que puede aplicarse sólo o como un complemento valiosísimo de las anteriormente mencionadas. Esta tecnología de menor utilización en países como Argentina, está aún poco difundida y desarrollada pero presenta un campo promisorio de aplicaciones. El adecuado diseño de reactores de tecnologías de tercer orden promete gran versatilidad y aplicabilidad para la remediación ambiental tanto orgánica como inorgánica.

**Justificación:**

Históricamente la contaminación antropogénica de las aguas se ha tratado con métodos convencionales como floculación-precipitación, cloración o adsorción en carbón activo, procesos biológicos, por citar algunas tecnologías de uso común. Sin embargo, en ciertas ocasiones este tipo de tecnologías no son eficaces bien sea por la alta toxicidad del efluente a tratar o porque con las tecnologías disponibles no es posible alcanzar los requerimientos de vertido requeridos. Cada vez es más común la presencia de compuestos persistentes en las aguas de consumo, aguas superficiales o en los efluentes de las depuradoras, siendo esta una prueba fehaciente de la necesidad de procesos más intensivos en la destrucción de sustancias contaminantes.

En los países industrializados, con el fin de subsanar lo anteriormente expuesto, se está recurriendo al uso de las llamadas Tecnologías o Procesos Avanzados de Oxidación



(TAOs, PAOs), muy poco aplicados y difundidos en los países de economías emergentes. En general en el tratamiento de aguas las tecnologías de oxidación avanzada se utilizan cuando los efluentes contaminados tienen una alta estabilidad química y/o una baja biodegradabilidad. Los métodos basados en tecnologías TAOs pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales, pudiendo ser aplicados también a contaminantes de aire y suelos. Permiten incluso la desinfección por inactivación de bacterias y virus. Estas tecnologías se basan en procesos fisicoquímicos oxidoreductores capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Algunas TAOs, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras tecnologías avanzadas, recurren, además, a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados.

La oxidación avanzada la componen una variada y amplia relación de tecnologías basadas en gran parte en la generación de radicales hidroxilo o aporte de energía para la destrucción de contaminantes. Estos radicales tienen un alto potencial redox y son capaces de destruir e incluso de mineralizar cualquier contaminante orgánico. Este tipo de reacciones se caracterizan por su no-selectividad y por las altas velocidades de reacción. Se ha probado la eficacia de la oxidación avanzada en la destrucción de contaminantes como los hidrocarburos halogenados, compuestos aromáticos, benceno, fenol, tolueno, compuestos orgánicos volátiles, detergentes, tintas o pesticidas, así como en contaminantes inorgánicos. Los radicales hidroxilo se generan in situ por la aplicación directa o por la combinación de agentes oxidantes como el ozono, el peróxido de hidrogeno, la radiación ultravioleta o las sales férrico/ferrosas, entre otras. Entre la gran variedad de tecnologías disponibles las más comunes son la combinación UV y peróxido (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el reactivo Fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), y dos de sus variantes como el foto-Fenton y el hierro cero-valente (Fe<sup>0</sup>), que es una combinación de las anteriores, o la fotocatalisis (UV/TiO<sub>2</sub>). La continua innovación de estas tecnologías está propiciando desarrollos de nuevos catalizadores. Las tecnologías de oxidación avanzada se están consolidando como la opción más eficaz en el tratamiento de efluentes contaminados por sustancias recalcitrantes o tóxicas.

**Objetivos:** Contribuir al conocimiento y formación de profesionales en Ingeniería ambiental, con las herramientas de tecnología más avanzadas a nivel mundial que posibiliten el desarrollo de tecnologías incipientes, prometedoras y aplicables a la

resolución económica y factible de problemáticas de contaminantes, tanto orgánicos, inorgánicos como también biológicos, presentes en diferentes fases físicas de nuestros recursos naturales.

#### **Unidades temáticas:**

- ✓ Conceptos básicos de electroquímica, Teoría de semiconductores y acción de la luz. Generación de pares electrón/hueco. Generación de radicales.
- ✓ Oxidación de compuestos orgánicos. Reducción de metales.
- ✓ Factores que influyen sobre la actividad fotocatalítica. Papel de la adsorción. Leyes cinéticas.
- ✓ Modificación de semiconductores
- ✓ Fotólisis y fotooxidación directa.
- ✓ Reacciones Foto-Fenton.
- ✓ Hierro cerovalente.
- ✓ Fotocatálisis heterogénea-TiO<sub>2</sub>.
- ✓ Radiólisis gamma
- ✓ Reacciones en agua y en fase gaseosa. Tratamiento de sólidos contaminados. Suelos, sedimentos y cenizas.
- ✓ Acción desinfectante y bactericida. Inactivación de virus.
- ✓ Otros usos de la fotocatalisis.

#### **Metodología didáctica:**

- ✓ Inmersión en la temática: Exposición dialogada con material visual tipo presentación pp. Experiencia de Laboratorio de TiO<sub>2</sub> en la remediación de arsenitos y arseniatos en agua.
- ✓ Motivación: Búsqueda bibliográfica actualizada por parte de los alumnos
- ✓ Fijación: Talleres de discusión y debate post lectura de bibliografía sugerida y aportada por el alumno.

#### **Criterios y procedimientos de evaluación:**

Exposición en grupos interdisciplinarios y participación en debate de una situación problemática posible.

### **Infraestructura y equipamiento:**

- ✓ Aula, tiza y pizarrón.
- ✓ Cañón y pc
- ✓ Laboratorio de química de UTN frBB

**Se propone que el curso aporte créditos académicos a la especialización y maestría en ingeniería ambiental como así también a posgrados relacionados.**

### **Bibliografía:**

1. PNUD, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 'Informe sobre Desarrollo Humano 2006, Mas allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua' , Nueva York, 2006.
2. WWAP-UNESCO, United Nations World Water Assessment Programme, ' The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World' , Paris, 2009.
3. UN Habitat-UNEP-GRID Arendal, 'Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development, A Rapid Response Assessment' , Nairobi, 2010.
4. UNIDO, United Nations Industrial Development Organization, Symposium Report in water productivity in the industry of the future for the Technology Foresight Summit, Budapest, 2007.
5. USEPA, United States Environmental Protection Agency, 'Handbook of Advanced Photochemical Oxidation Processes' , Washington, DC, 1998.
6. Blesa, Miguel A. Eliminación De Contaminantes Por Fotocatálisis Heterogénea: Usos De óxidos Semiconductores Y Materiales Relacionados Para Aplicaciones Ambientales Y ópticas. CYTED. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. La Plata, 2001.
7. M. I. Litter, Introduction to photochemical advanced oxidation processes for water treatment, The Handbook of Environmental Chemistry, 2, L: Environmental Photochemistry Part II. Springer-Verlag, D. Bahnemann and P. Boule (Eds.) 2005.
8. Vidal, A. et al. Oxidación solar fotocatalítica: Aplicación al tratamiento de afluentes cianurados. En: Ingeniería Química. Madrid. No 375; p.161-165., 2001.

9. Coz, A. y Villaseñor, J. Tratamiento de efluentes fenólicos de la industria de la celulosa: procesos de oxidación avanzada. En: Ingeniería Química. Madrid. No 358, p. 104-114, 2003.
10. Gómez, L. et al. Fotooxidación de vertidos químicos: Revisión y experiencias de procesos de oxidación avanzada. En: Ingeniería Química. Madrid. No. 371; p. 211-216. 2000.
11. Márquez L., y Tiscareño L., La foto-oxidación en el tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Química. Madrid. Vol. 31. No 358 p. 101-107, 1999.
12. Hincapié Pérez, Margarita y Sepúlveda Marín, Juan M. La fotocatalisis en el tratamiento de aguas contaminadas. Revista Ingeniería. Universidad de Medellín. Medellín. No 602; p. 83-91, 2002.
13. Malato Rodriguez, Sixto et al. Descontaminación de aguas de lavado de envases de plaguicidas mediante Fotocatalisis solar. Madrid: Ciemat, 189 p., 2001.
14. Gil Pavas, Edison et al. Foto-oxidación del sistema cromo hexavalente-4-clorofenol. Revista Universidad EAFIT. Medellín. Vol. 39, No. 131; ( 2003); p 60-74.
15. Garces Giraldo, Luis F. Fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  de los colorantes azul de metileno y naranja reactivo 84 utilizando colector solar. Medellín, 2003; 208 p. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería.
16. Porras, Paula et al. Tratamiento de los desechos líquidos de la facultad de ingeniería por medio de Fotocatalisis. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín. No. 21, p.11-18, 2000.
17. Franco C., Alexander y Ortiz, Natalia. Manejo y tratamiento de los residuos líquidos de la facultad de ingeniería. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín, departamento de Ingeniería Química. p.226 2000.
18. Liu, G., et al. Photooxidation pathway of sulforhodamine-B. dependence on the adsorption mode on  $\text{TiO}_2$  exposed to visible light radiation. Environmental Science & Technology. Vol. 34 p. 3982-3990, 2000.
19. Marin S., Juan M. fotodegradación sensibilizada con  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}^{3+}$  de los pesticidas malation y metomil en aguas. Medellín, 96 p. Trabajo de grado. (Maestría en ingeniería ambiental). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería, 2002.
20. Grela M., et al. Eliminación de contaminantes por Fotocatalisis heterogénea: los mecanismos de destrucción de contaminantes orgánicos. Red CTYED VIII-G p 102-119, 2001.

21. Vidal, A. et al. Procesos solares fotocatalíticos en el tratamiento de afluentes: aplicaciones al tratamiento de aguas de lavado conteniendo plaguicidas. Ingeniería Química. Madrid. No 386 p106-111, 2002.
22. Hincapié P., Margarita y Marin S., Juan M. Reacciones de fenton y foto-fenton en la descontaminación de aguas residuales. Revista Ingeniería. Universidad de Medellín. Medellín. No 14 p. 53-63, 2003.
23. Gil Pavas, Edison. Fotocatálisis: una alternativa viable para la eliminación de compuestos orgánicos. Revista Universidad de EAFIT. Medellín. No 127 p. 59-64, 2002.
24. Peñuela M., Gustavo. Destoxificación solar de aguas mediante Fotocatálisis o fotosensibilización. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín. No 19, 1999.
25. Lazlo, Joseph. Regeneration of azo-dye. Saturated sellulosic anion exchange resin by burkholdeara cepacia anaerobic dye reduction. Environmental Science & Technology. No.34; p. 167-172, 2000.
26. Li, X.Z. y Li, F.B. Study of Au/Au<sup>3+</sup>-TiO<sub>2</sub> photocatalysis toward visible Photooxidation for water and wasterwater treatment. Environmental Science & Technology. No. 35 p. 2381-2387, 2001.
27. Chen N, Chuncheng et al. Photocatalysis by Titanium Dioxide and olyoxometalate/TiO<sub>2</sub> Cocatalysts. Intermediates and Mechanistic Study. Enviromental Science & Technology. Vol. 38, No 1 p. 329-337, 2004.
28. Jinag, Dianlu et al. Characterization of Photoelectrocatalytic Processes at Nanoporous TiO<sub>2</sub> Film Electrodes: Photocatalytic Oxidation of Glucose. The Journal of Physical Chemistry. Vol. 107, No 46 p. 12774-12780, 2003.
29. Pliego G., Zazo J.A., Blasco S., Casas J.A., Rodriguez J.J., 'Treatment of highly polluted hazardous industrial wastewaters by combined coagulation-adsorption and high-temperature Fenton oxidation', Ind. Eng. Chem. Res., 51(7), pp.2888-2896, 2012.
30. Ikehata K., El-Din M.G., Snyder S.A., 'Ozonation and advanced oxidation treatment of emerging organic pollutants in water and wastewater', Ozone: Sci. Eng., 30, pp.21-26, 2008.
31. Poyatos J. M., Munio M. M., Almecija M. C., Torres J. C., Hontoria E., Osorio F., 'Advanced oxidation processes for wastewater treatment: state of the art', Water, Air, Soil Pollut., 205, pp.187-204, 2010.
32. Gogate P.R., Pandit A.B., 'A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions', Adv. Environ. Res., 8, pp.501-551, 2004.

33. Comninellis C., Kapalka A., Malato S., Parsons S.A., Poullos I., Mantzavinos D., 'Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D', *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 83, pp.769-776, 2008.
34. Sirtori C., Zapata A., Oller I., Gernjak W., Aguera A., Malato S., 'Decontamination industrial pharmaceutical wastewater by combining solar photo-Fenton and biological treatment', *Water Res.*, 43, pp.661-668, 2009.
35. Arslan-Alaton I., 'A review of the effects of dye-assisting chemicals on advanced oxidation of reactive dyes in wastewater', *Color. Technol.*, 119, pp.345-353, 2003.
36. Munter R., 'Advanced oxidation processes-current status and prospects', *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 50 (2), pp.59-80, 2001.
37. De Luis A.M., Lombrana J.I., Menendez A., Sanz J., 'Analysis of the toxicity of phenol solutions treated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe oxidative systems', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50(4), pp.1928-1937, 2011.
38. Biard P.F., Couvert A., Renner C., Levasseur J.P., 'Intensification of volatile organic compounds mass transfer in a compact scrubber using the O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation process: Kinetic study and hydroxyl radical tracking', *Chemosphere*, 85(7), pp.1122-1129, 2011.
39. Kos L., Perkowski J., Zylla R., 'Decomposition of detergents in industrial wastewater by AOP in flow systems', *Ozone: Sci. Eng.*, 33(4), pp.301-307, 2011.
40. Samadi M.T., Khodadai M., Rahmani A.R., 'The comparison of advanced oxidation process and chemical coagulation for the removal of residual pesticides from water', *Res. J. Environ. Sci.*, 5(11), pp.817-826, 2011.
41. Daskalaki V.M., Antoniadou M., Li Puma G., Kondarides D.I., Lianos P., 'Solar Light-Responsive Pt/CdS/ TiO<sub>2</sub> Photocatalysts for hydrogen production and simultaneous degradation of inorganic or organic sacrificial agents in wastewater', *Environ. Sci. Technol.*, 44(19), pp.7200-7205, 2010.
42. Li C., Gao N., Li W., 'Photochemical degradation of typical herbicides simazine by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in aqueous solution', *Desalin. Water Treat.*, 36(1-3), pp.197-202, 2011.
43. Gogate P.R., 'Industrial wastewater treatment using a combination of cavitation reactors and Fenton processes: current status', *Adv. Chem. Res.*, 9, pp.139-163, 2011.

44. Saatci Y., 'Decolorization and Mineralization of Remazol Red F3B by Fenton and Photo-Fenton Processes' , J. Environ. Eng., 136(9), pp.1000-1005, 2010.
45. Kallel M., Belaid C., Mechichi T., Ksibi M., Elleuch B., Removal of organic load and phenolic compounds from olive mill wastewater by Fenton oxidation with zero-valent iron, Chem. Eng. J., 150, 391-395, 2009.
46. Ovhal S.D., Sheetal D., Thakur P., 'Kinetics of photocatalytic degradation of methylene blue in a TiO<sub>2</sub> slurry reactor' , Res. J. Chem. Environ., 14(4), pp.9-13, 2010.
47. Zhao D., Cheng J., Hoffmann M.R., 'Kinetics of microwave- enhanced oxidation of phenol by hydrogen peroxide' , Front. Environ. Sci. Eng. China, 5(1), pp.57-64, 2011.
48. Khatri P.K., Jain S.L., Sain B., 'Ultrasound-Promoted Oxidation of Sulfides with Hydrogen Peroxide under Catalyst-Free Conditions, Ind. Eng. Chem. Res.,50(2), pp.701-704, 2011.
49. Mahamuni N.N., Adewuyi Y.G., 'Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: A review with emphasis on cost estimation, Ultrason. Sonochem., 17, pp.990-1003, 2010.
50. Litter M.I., 'Tecnologías Avanzadas de Oxidación: Tecnologías Solares, Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación de agua' , Blesa M.A. y Blanco Galvez J., Editores, Editorial Escuela de Posgrado UNSAM, San Martin, Prov. de Buenos Aires, Argentina, Cap. 5, pp.67-83, 2005.
51. Domenech X., Jardim W., Litter M., 'Tecnologías avanzadas de oxidación para la eliminación de contaminantes, en 'Eliminación de contaminantes por fotocátalisis heterogenea' , Texto colectivo elaborado por la Red CYTED VIII-G, Blesa M.A. y Sanchez Cabrero B., Editores, Ediciones CIEMAT, Madrid, pp.7-34, 2004.
52. Krichevskaya M., Klauson D., Portjanskaja E., Preis S., 'The cost evaluation of advanced oxidation processes in laboratory and pilot-scale experiments, Ozone Sci. Eng., 33, pp.211-223, 2011.
53. Chen X.M., Ribeiro da Silva D. , Martinez-Huitle C. A., 'Application of advanced oxidation processes for removing salicylic acid from synthetic wastewaters, Chin. Chem. Lett., 21, pp.101-104, 2010.
54. Kos L., Michalska K., Perkowski J., 'Textile wastewater treatment by the Fenton method' , Fibres Text. East. Eur., 18 (4-81), pp.105-109, 2010.



55. Mandal T., Sudakshina M., Dalia D., Siddhartha D., 'Advanced oxidation process and biotreatment: Their roles in combined industrial wastewater treatment, *Desalination*, 250, pp.87-94, 2010.
56. Rizzo L., Lofrano G., Grassi M., Belgiorno V., 'Pre-treatment of olive mill wastewater by chitosan coagulation and advanced oxidation processes' , *Sep. Purif. Technol.*, 63, pp.648-653, 2008.
57. Zapata A., Oller I., Rizzo L., Hilgert S., Maldonado M.I., Sanchez-Perez J.A., Malato S., 'Evaluation of operating parameters involved in solar photo-Fenton treatment of wastewater: Interdependence of initial pollutant concentration, temperature and iron concentration' , *Appl.Catal. B*, 97, pp.292-298, 2010.
58. Saritha P., Raj S.S., Aparna C. Nalini P., Himabindu V., Anjaneyulu Y., 'Degradative oxidation of 2,4,6 trichlorophenol using advanced oxidation processes. A comparative study' , *Water, Air, Soil Pollut.*, 200, pp.169-179, 2009.
59. Malato S., Blanco J., Maldonado M.I., Oller I., Gernjak W., Perez-Estrada L., 'Coupling solar photo-Fenton and biotreatment at industrial scale: Main results of a demonstration plant' , *J. Hazard. Mater.*, 146, pp.440- 446, 2007.
60. Kavitha V., Palanivelu K., 'The role of ferrous ion in Fenton and photo-Fenton processes for the degradation of phenol' , *Chemosphere*, 55, pp.1235-1243, 2004.
61. Chin W.H., Roddick F.A., Harris J.L., 'Greywater treatment by UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>' , *Water Res.*, 43, pp.3940-3947, 2009.
62. Christensen A., Gurol M.D., Garoma T., 'Treatment of persistent organic compounds by integrated advanced oxidation processes and sequential batch reactor' , *Water Res.*, 43, pp.3910-3921, 2009.
63. Makhotkina O.A., Preis S.V., Parkhomchuk E.V., 'Water delignification by advanced oxidation processes: Homogeneous and heterogeneous Fenton and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photo-assisted reactions' , *Appl. Catal. B*, 84, pp.821- 826, 2008.
64. Arslan-Alaton I., 'Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozone' , *J. Environ. Manage.*, 82, pp.145-154, 2007.
65. Pocostales J.P., Alvarez P., Beltran F.J., 'Kinetic modeling of granular activated carbon promoted ozonation of a food-processing secondary effluent' , *Chem. Eng. J.*, 3, pp.395-401, 2012.
66. Konsowa A.H., Ossman M.E., Chen Y., Crittenden J.C., 'Decolorization of industrial wastewater by ozonation followed by adsorption on activated carbon, *J.Hazard. Mater.*, 176, pp.181-185, 2010.

67. Benitez F.J., Acero J.L., Leal A.I., Real F.J., 'Ozone and membrane filtration based strategies for the treatment of cork processing wastewaters' , J. Hazard. Mater. , 152, pp.373-380, 2008.
68. Maldonado M.I., Malato S., Perez-Estrada L.A., Gernjak W., Oller I., Domenech X., Peral J., 'Partial degradation of five pesticides and an industrial pollutant by ozonation in a pilot-plant scale reactor' , J. Hazard. Mater., 138, pp.363-369, 2006.
69. Fatta-Kassinos D. (eds.), 'Xenobiotics in the urbanwater cycle: mass flows, environmental processes, mitigation and treatment strategies' , Environ. Pollut., 16, 2010.
70. Mascolo G., Balest L., Cassano D., Laera G., Lopez A., Pollice A., Salerno C., 'Biodegradability of pharmaceutical industrial wastewater and formation of recalcitrant organic compounds during aerobic biological treatment' , Bioresour. Technol., 10, pp.2585-259,2010.
71. Blanco J., Fernandez P., Malato Sixto, 'Solar photocatalytic detoxification and disinfection of water: recent overview' , J. Solar Energy Eng., 129, pp.4-15, 2007.
72. Rivera-Utrilla J., Sanchez-Polo M., Gomez-Serrano V., Alvarez P.M., Alvim-Ferraz M.C., Dias J.M., 'Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications' , J. Hazard. Mater., 187, pp.1-23 (2011).
73. Kenfack S., Sarria V., Wethe J., Cisse G., Maiga A.H., Klutse A., Pulgarin C., 'From laboratory studies to the field applications of advanced oxidation processes: a case study of technology transfer from Switzerland to Burkina Faso on the field of photochemical detoxification of biorecalcitrant chemical pollutants in water' , Int. J. Photoenergy, Article ID 104281, 2009.
74. Oller I., Malato S., Sanchez-Perez J.A., 'Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination' , Sci. Total Environ., 409, pp.4141-4166, 2011.
75. Vilhunen S., Sillanpa M., 'Recent developments in photochemical and chemical AOPs in water treatment: a mini-review' , Reviews in Environ. Sci. Biotechnol., 9, pp.323-330, 2010.
76. Wiley' s Remediation Technologies Handbook, coord. Jay H. Lehr, publicado por John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Estados Unidos, 2004.
77. Litter M.I., Quici N., 'Photochemical advanced oxidation processes for water and wastewater treatment' , Recent Pat. Eng., 4, pp.217-241, 2010.

