

Soluciones tecnológicas para la gestión y desactivación de residuos farmacéuticos

Uno de los principales retos que enfrenta la industria farmacéutica es la gestión de residuos generados durante la producción de medicamentos. Normalmente, estos efluentes contienen sustancias químicas activas conocidas como APIs (Active Pharmaceutical Ingredients), que deben ser tratadas de forma correcta, para evitar un posible impacto en el medio ambiente y la salud pública. Estos compuestos no siempre se eliminan por completo en las plantas de tratamiento de aguas convencionales, por lo que es necesario aplicar soluciones más especializadas.



PATRICIA BELTRÁN
INGENIERA DE PROYECTOS DE KLINEA BIOTECH & PHARMA ENGINEERING

Actualmente, algunos estudios han detectado la presencia de compuestos hormonales, antibióticos y otros productos farmacéuticos en las aguas residuales, lo que refuerza la necesidad de neutralizarlos de forma adecuada para evitar que sean un riesgo para el entorno.

Existen distintas tecnologías para la inactivación de estos residuos, que tienen como principal objetivo garantizar que pierdan su actividad farmacológica. Estos métodos no solo permiten cumplir con las estrictas regulaciones ambientales, sino que también protegen el ecosistema y aseguran la reutilización segura del agua tratada para otros usos.

Tratamiento térmico

Se trata del método más sencillo, ya que solo requiere del uso del calor como herramienta para la inactivación. Este proceso consiste en exponer el efluente a altas temperaturas haciendo que sus estructuras se descompongan durante un largo periodo de tiempo y pierdan su función. Sin embargo, este sistema requiere de equipos más complejos y costosos, implicando

mayor consumo de vapor o agua de refrigeración (figura 1).

Cambio de pH

En este caso, se utilizan ácidos o bases que, reaccionando con el compuesto, generan sales o compuestos inactivos. Este proceso es muy útil cuando los APIs son sensibles a los cambios de pH, ya que permite controlar cómo se descomponen. De esta forma, se garantiza que no cause problemas al ser liberado en el medio ambiente (figura 2).

Procesos de oxidación avanzada (AOP)

La oxidación es otro de los métodos más utilizados. Consiste en usar agentes oxidantes, como el peróxido de hidrógeno o el ozono, que ayudan a descomponer las moléculas activas. En el caso del ozono, se ha observado que es un gran oxidante, ya que permite la desinfección, decoloración, control del sabor y olor en el tratamiento del agua potable y de las aguas residuales (figura 3).

Fotodegradación

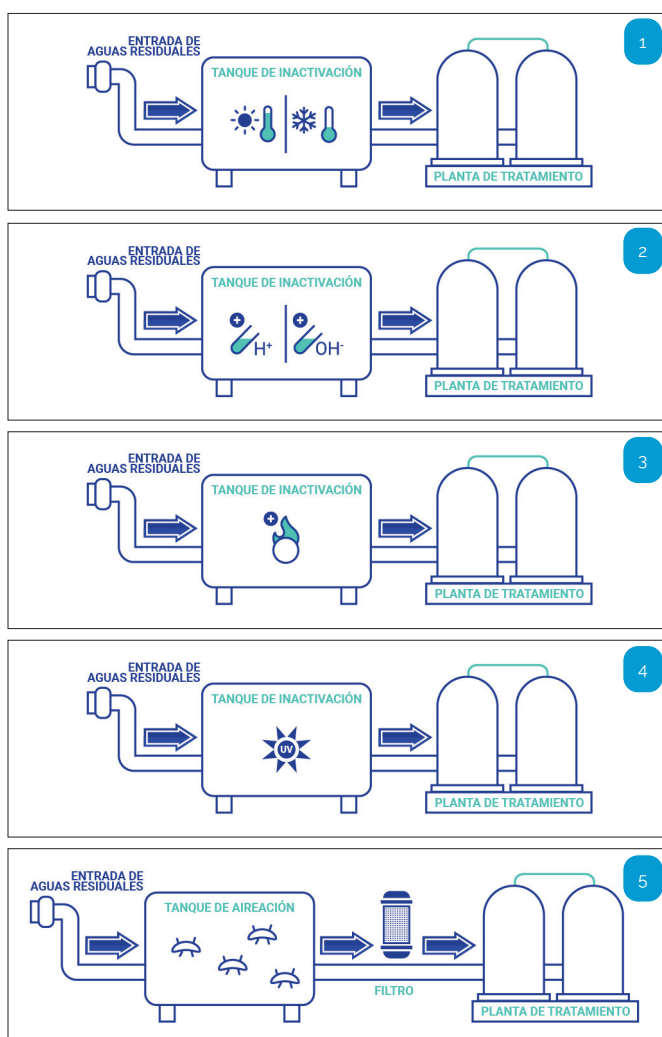
Es un proceso en el cual los APIs se exponen a luz ultravioleta (UV), lo que provoca su descomposición. Es particularmente eficaz para fármacos que son sensibles a la luz, ya que la energía de la luz UV altera las estructuras moleculares de los compuestos, reduciendo su actividad (figura 4).

Biodegradación

En este método, los compuestos activos son descompuestos por microorganismos como bacterias y hongos, que metabolizan los productos farmacéuticos y los inactivan. Estos microorganismos adaptan sus meca-

nismos en función de las características del contaminante, maximizando así la descomposición en entornos controlados.

La eficacia de la biodegradación varía según el tipo de contaminante y depende de factores ambientales, como el pH, la tem-



TRUST THE PROCESS

Biopharmaceutical Process
Digital Transformation
Sustainability
Facilities



klinea
Biotech & Pharma Engineering

BARCELONA | MADRID | COPENHAGEN

WWW.KLINEA.EU

peratura, la disponibilidad del oxígeno... (figura 5).

En resumen, la inactivación de residuos con principios activos en la industria farmacéu-

tica es fundamental para evitar la contaminación del medio ambiente y proteger la salud pública. Es muy importante estudiar cada caso al detalle y ver

cuál es la tecnología que mejor se ajusta según el compuesto que se esté formulando. De este modo, no solo se asegura el cumplimiento de las nor-

mativas ambientales, sino que también se promueve la sostenibilidad, al evitar la liberación de contaminantes persistentes (Tabla 1) ●

MÉTODO	INVERSIÓN	OPERACIÓN	UTILITIES	COMPLEJIDAD	TIPO DE SUSTANCIAS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MÉTODO TÉRMICO	Alta	Alto €€€	Vapor industrial Agua de refrigeración	Baja	Productos termosensibles Antibióticos Analgésicos	Eficiencia	Alto coste Equipos especializados
INACTIVACIÓN POR CAMBIO DE PH	Baja €	Bajo €	Ácido/base	Media	Antiinflamatorios Fármacos anticancerígenos	Sencillez Bajo coste Solo se requiere controlar el PH	Riesgo sobre acidificación Corrosión
AOP	Alta €€€	Medio €€	Electricidad Reactivos químicos	Media	Antibióticos Antiepilépticos Antiinflamatorios	Flexibilidad Alta eficiencia debido a la degradación de compuestos complejos	Coste elevado Procesos con múltiples pasos Control sobre reacciones químicas
FOTODEGRADACIÓN	Media €€	Medio €€	Electricidad	Baja	Antibióticos Paracetamol Antihistamínicos	Sencillez	Eficiencia limitada en aguas turbias Mayoritariamente se necesita combinar con otros procesos (AOP..)
BIODEGRADACIÓN	Alta €€€	Alto €€€	Vapor industrial Agua Aire comprimido	Alta	Antibióticos Ibuprofeno Antígenos	Ecológico	Lento Necesidad de control preciso

Tabla 1.

Bibliografía

- Veolia (2020). Pharma Guide: Wastewater Management in the Pharmaceutical Industry. [Veolia_Pharma_Guide_Wastewater_2020_HR_With_Links_0.pdf](https://www.veolia.com/na/industry/Pharma-Guide-Wastewater-2020-HTML-Links-0.pdf).
- Rhone, J (2020, 19 de Febrero). Treating active pharmaceutical ingredients in manufacturing wastewater. Water Technology. Recuperado de: <https://www.watertechnology.com/wastewater/article/14167403/treating-active-pharmaceutical-ingredients-in-manufacturing-wastewater>.
- Fakhri B., M. S., Ghassemi Barghi, N., Moradnia Mehdikhani Mahaleh, M., Raeis Zadeh, S. M. M., Mousavi, T., Rezaee, R., Abdollahi, M. (2024). Pharmaceutical wastewater toxicity: An ignored threat to the public health. *Sustainable Environment*, 10 (1). <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2322821>
- Guo, Y & Qi, P & Liu, Y. (2017). A Review on Advanced Treatment of Pharmaceutical Wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 63. 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/63/1/012025>.
- (n.d). Who Guidance on waste and wastewater management in pharmaceutical manufacturing with emphasis on antibiotic production. [waste-and-wastewater-management-in-pharma-manufacturing---pub-consult-231214.pdf](https://www.who.int/publications/m/item/waste-and-wastewater-management-in-pharma-manufacturing---pub-consult-231214.pdf)
- Das, M., Bhattacharyya, I., Chattopadhyay, S., Sengupta, S., Chowdhury, A. S., Sikdar, P., Mishra, D., Chakraborty, S., Biswas, S., Dasgupta, D., & Nag, M. (2024). Pharmaceutical waste water treatment methods for small-scale industries. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. <https://doi.org/10.47583/ijpsrr.2024.v8i407.018>.
- (n.d). Non-Incineration Treatment and Disposal of Healthcare Waste. Module 2: The Healthcare Waste Management System
- Canga-Rodríguez, J (n.d.). Modern wastewater treatment solutions in a state-of-the-art pharmaceutical production environment. *EnviroChemie GmbH*. Recuperado de: [Microsoft Word - EnviroChemie_EWA 2012_Artikel.docx](https://www.envirochemie.com/word-EnviroChemie-EWA-2012-Artikel.docx)
- Kundan Samal, Saswat Mahapatra, Md Hibzur Ali, Pharmaceutical wastewater as Emerging Contaminants (EC): Treatment technologies, impact on environment and human health, *Energy Nexus*, Volume 6, 2022, Volume 6, 2022, 10076. ISSN 2772-4271. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100076>.
- Reddy, B. V., Sandeep, P., Ujwala, P., Navaneetha, K., & Ramana Reddy, K. V. (2014). Water treatment process in pharma industry: A review. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 4(2), 7-18. Recuperado de https://ijpbs.com/ijpbsadmin/upload/ijpbs_536f2f44ced28.pdf.
- Process at a wastewater treatment plant (HHE Report No. 2014-0052-3320). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2014-0052-3320.pdf>
- Van Vaerenbergh, B., Willemarck, N., Brosius, B., Leunda, A., Baldo, A., & Do Thi, C. D. (2012). Effluent decontamination systems: An overview. SBB. Recuperado de https://www.biosafety.be/sites/default/files/2012_effluent-deconsystems_sbb_2505_58.pdf.
- Niu, X., Song, X., Li, P., & Wang, Z. (2020). A review of the application of renewable energy in the treatment of pharmaceutical wastewater. *Energies*, 17(17), 4447. <https://doi.org/10.3390/en17174447>.
- Pharmaceutical Networking. (n.d.). Thermal wastewater inactivation and sterilisation. Recuperado de <https://www.pharmaceutical-networking.com/thermal-wastewater-inactivation-and-sterilisation/>.
- Neutralization Process In Wastewater Treatment - Water & Wastewater: Your Source for Water Clarity
- Water & Wastewater. (n.d.). Neutralization process in wastewater treatment. Recuperado de <https://www.waterandwastewater.com/neutralization-process-in-wastewater-treatment/>.
- Aldeguer Esquerdo, A., Varo Galvañ, P. J., Sentana Gadea, I., & Prats Rico, D. (2021). Tratamiento de fármacos presentes en aguas mediante ozono. *En Congreso Digital de AEDyR - 2021 (Ref. AedyrDIG21-25, ISBN 978-84-09-27519-9)*. Recuperado de <https://aedyr.com/wp-content/uploads/2021/04/DIG21-25.pdf>
- Navidpour, A.H.; Ahmed, M.B.; Zhou, J.L. (2024). Photocatalytic Degradation of Pharmaceutical Residues from Water and Sewage Effluent Using Different TiO2 Nanomaterials. *Nanomaterials*, 14 (2), 135. <https://doi.org/10.3390/nano14020135>
- Gonzaga, I.M.D.; Almeida, C.V.S.; Mascaro, L.H. (2023). A critical review of photo-based advanced oxidation processes for pharmaceutical degradation. *Catalysts*, 13 (2), 221. <https://doi.org/10.3390/catal13020221>.
- Alvarenga Junior, R. de, & Lajaram Carneiro, L. (2019). Chemometrics Approaches in Forced Degradation Studies of Pharmaceutical Drugs. *Molecules*, 24 (20), 3804. <https://doi.org/10.3390/molecules24203804>
- Bamosos, G.; Petala, A., & Frontistis, Z. (2021). Recent Trends in Pharmaceuticals Removal from Water Using Electrochemical Oxidation Processes. *Environments*, 8 (8), 85. <https://doi.org/10.3390/environments8080085>
- ISPE. (2020). Industry perspective: Bioremediation of pharmaceuticals. *Pharmaceutical Engineering*, March-April 2020. Recuperado de <https://ispe.org/pharmaceutical-engineering/march-april-2020/industry-perspective-bioremediation-pharmaceuticals>.
- Yisau, Y. S., Al-Makishah, N. H., & Barakat, M. A. E. F. (2024). Microbial degradation of paracetamol in pharmaceutical wastewater: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 31, 47-56. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2024.31.47>.
- Wastech Engineering. (n.d.). BioKill. Recuperado de <https://wastechengineering.com/biokill.html>
- Mishra, R., Singh, R. K., & Yadav, S. (2023). Sustainable removal of pharmaceutical contaminants from wastewater using advanced treatment technologies. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04880-2>.

Your Pharmacovigilance
service provider

PVpharm

-  Pharmacovigilance Services
-  Audit Services
-  Clinical Safety
-  Medical Services
-  Quality Management
-  Training Services



www.pvpharm.com