

# **Análisis del ciclo de vida en una planta de tratamiento de aguas residuales en San Luis Potosí, México**

## **Life cycle assessment in a wastewater treatment plant in San Luis Potosí, México**

**Sanjuana-Rodríguez-Gómez<sup>1</sup>, Nahúm Andrés Medellín Castillo<sup>2</sup>, Israel Herrera Orozco<sup>3</sup>, Alfredo Ávila Galarza<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Dr. Manuel Nava No. 8, Col. Universitaria Poniente, C.P. 78290. San Luis Potosí, S.L.P., México, 3315690973, sjrg.uaslp@gmail.com.

<sup>2</sup>Centro de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Dr. Manuel Nava No. 8, Col. Universitaria Poniente, C.P. 78290. San Luis Potosí, S.L.P., México, 8262300, nahum.medellin@uaslp.mx.

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones Medioambientales y Tecnológicas, Av. Complutense No. 40, C.P. 2840. Madrid, España., Israel.herrera@ciemat.es

<sup>4</sup>Centro de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Dr. Manuel Nava No. 8, Col. Universitaria Poniente, C.P. 78290. San Luis Potosí, S.L.P., México, 8262300, galarza@uaslp.mx

**Palabras clave:** ACV, huella ambiental, tratamiento de aguas

**Key words:** LCA, environmental footprint, wastewater treatment

## **INTRODUCCIÓN**

En general, la elección del mejor sistema de tratamiento de aguas se basa principalmente en las limitaciones técnicas y económicas (Bonton y col., 2012) dejando de lado un verdadero análisis en cuanto a los impactos ambientales y económicos de estos sistemas de tratamiento. Por lo que se requiere la implementación de nuevas metodologías de evaluación que den paso a sistemas eficientes, buscando reducir al máximo el efecto de las descargas de contaminantes durante su periodo de vida útil. En este sentido, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se define como la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida (ISO 14040, 2006). Es esta característica la que permite una evaluación holística y lo convierte en un método óptimo para la evaluación ambiental de todos los procesos unitarios de una PTAR. El desarrollo del ACV es establecido por la ISO 14040:2006 (ISO 14040, 2006) y comprende las siguientes etapas: Definición de objetivos y límites del sistema; análisis del inventario del ciclo de vida (AICV); evaluación de impactos del ciclo de vida (EICV) e interpretación de resultados. Larsen, (2018) reportó la existencia de más de sesenta estudios de ACV enfocados al tratamiento de aguas residuales. Entre los que destacan los estudios de Li y col, (2013); Machado y col, (2007); Polruang y col, (2018); Resende y col, (2019) lo que ha permitido evaluar y comparar el desempeño de diversas tecnologías en cuanto al consumo energético, consumo de recursos, gestión de lodos, caudales, etc. Respecto al proceso de lodos activados se encuentran los aportes de Amores y col, (2013); Godin y col., (2012); Heimersson y col., (2014); Risch y col, (2014); quienes consideraron los procesos: primario, secundario,

terciario, tratamiento de lodos, transporte y disposición, cabe resaltar que ninguna de estas valoraciones reflejó un contexto mexicano.

De acuerdo a las revisiones y antecedentes considerados, el objetivo de este estudio fue evaluar un sistema de tratamiento de lodos activados- modificado para un escenario centralizado en San Luis Potosí, México donde se consideraron los impactos asociados a los procesos: primario, secundario, terciario, tratamiento, transporte y disposición de lodos, considerando las etapas de infraestructura civil, operación, mantenimiento y disposición final de materiales al término de la vida útil de la PTAR.

## **METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de este estudio se definieron las etapas siguientes: 1. Descripción del servicio y toma de decisiones del sistema. 2. Recopilación de datos 3. Análisis del inventario. 4. Modelado del escenario actual de la PTAR. 5. Evaluación de impactos del Ciclo de Vida.

### *1. Descripción del servicio y toma de decisiones del sistema*

La PTAR inició operaciones en el año 2009, ocupa un área de 1,583 m<sup>2</sup>, fue diseñada para tratar un influente de 4,320 m<sup>3</sup>/d de aguas residuales municipales de la zona urbana de la capital potosina. Los sistemas de tratamiento involucrados son: Primario (tamizados de rejillas, desarenador, tanque de igualación); Secundario (cámara aerobia, cámara anóxica, reactor de membranas de ultrafiltración); Terciario (sistema de ósmosis inversa) y Tratamiento de lodos (floculación y filtros prensa), transporte y disposición. En esta valoración, se consideraron las fases de construcción, operación, mantenimiento y disposición final de materiales para todos los sistemas de tratamiento. El escenario valorado inicia con el ingreso del agua residual teniendo como producto final el efluente de ósmosis inversa, los lodos son estabilizados con polímero y sometidos a una deshidratación en dos filtros prensa, posteriormente son transportados 1.68 km desde la PTAR hasta una plataforma de concreto para continuar con la deshidratación al Sol, por último, se dispone como material inerte. La unidad funcional se estableció para 1 m<sup>3</sup> de agua tratada considerando los 25 años de vida útil de la PTAR. El influente promedio aproximado es de 3,648.67 m<sup>3</sup>/d, mientras que el efluente tratado en promedio es de 2,495.23 m<sup>3</sup>/día el cual cumple con la NOM- 003-SEMARNAT-1997. El efluente es empleado para actividades industriales, mismas que se encuentran fuera de los límites establecidos. Las fronteras del sistema pueden apreciarse en la Figura 1

### *2. Recopilación de datos*

Los elementos como bitácoras físicas, entrevistas al personal de operación, manuales de operación y mantenimiento, registros históricos de caudales a la entrada y salida, estudios de los parámetros fisicoquímicos fueron obtenidos en la PTAR a fin de recolectar la información necesaria para la conformación del inventario de acuerdo con los límites del sistema establecidos mostrados en la Figura 1. En el caso de los materiales constructivos, la consulta, medición y lectura de planos físicos y digitales permitió la integración de datos primarios que reflejan las condiciones propias de la PTAR.

### 3. Análisis del inventario

#### Materiales

Para establecer el análisis del inventario de la PTAR se definieron y cuantificaron los materiales correspondientes a concreto, acero de refuerzo, acero estructural, arena, madera empleada en los procesos de cimbra necesarios para la construcción de: canales desarenadores, cámara anóxica, aerobia, plataformas para equipos de bombeo, etc. También, se tomaron en cuenta las tuberías de acero al carbón y polietileno de alta densidad para la conducción del caudal entre procesos. La base de datos ecoinvent permitió acceder a los procesos de producción de los volúmenes estimados. Los elementos para la producción de equipos como caudalímetros, bombas, termómetros y manómetros no fueron considerados en este estudio.

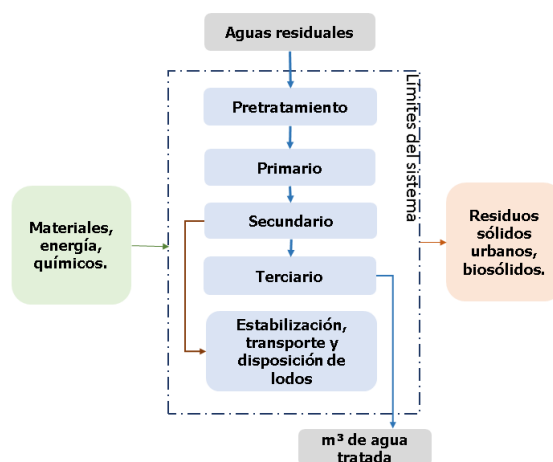


Figura 1. Procesos unitarios considerados y límites del sistema

#### Electricidad

Los análisis teóricos de 48 motores trifásicos reflejaron el consumo eléctrico necesario para el funcionamiento de la PTAR. Los factores como cambios horarios en la zona de estudio, periodos de mantenimiento, fueron valorados para obtener el consumo total anual del registro histórico establecido de: 4,812,734.98 kWh, la base de datos permitió acceder a la producción de energía en México. Los insumos de las luminarias corresponden al 0.9% del insumo total, mismo que se incluyó en esta valoración. Los gastos eléctricos vinculados a los servicios de comedores y despachos administrativos no fueron considerados.

#### Lodos

A la línea de lodos que egresa de la cámara anaerobia se le dosifica polímero con la finalidad de fomentar la floculación del lodo, posteriormente ingresa a dos filtros prensa, el volumen generado en este proceso para el registro histórico considerado fue de 2,846 m<sup>3</sup>.

#### Transporte

Se utilizó la base de datos ecoinvent para valorar los impactos de asociados al transporte de materiales constructivos localizando los principales productores dentro del país, para el transporte de elementos como membranas se empleó el transporte terrestre y marítimo de la misma base de datos. En cuanto al transporte de químicos, el trayecto desde la planta productora hasta la PTAR corresponde a 14.95 km. Para el transporte de los lodos, producto del desazolve del tanque de homogeneización, la distancia promedio considerada fue de 11.3

km. El transporte de los lodos, producto de los filtros prensa, se disponen en una plancha de concreto a 1.68 km. La configuración del transporte fue tomada de la base de datos ecoinvent.

#### *Insumos químicos*

Los insumos químicos de la PTAR involucrados en los procesos de operación y mantenimiento corresponden a hipoclorito de sodio, ácido cítrico, antiincrustante, sosa al 50%, ácido cítrico, limpiador orgánico, limpiador inorgánico, ácido clorhídrico. y polímero sólido, la estimación de estos insumos se realizó a partir de las lecturas de las bombas dosificadoras y de los periodos de operación de las mismas en sitio.

#### *4. Modelado del escenario del ciclo de vida*

El desarrollo del modelo del ciclo de vida de la PTAR se realizó empleando SimaPro 9.0, lo anterior debido al uso extendido de esta herramienta y a la compatibilidad con bases y metodologías de evaluación del ACV. Los módulos generados se establecieron para los procesos de infraestructura, operación y mantenimiento para cada uno de los procesos unitarios valorados.

#### *5. Evaluación de impactos del Ciclo de Vida*

La evaluación de impactos ambientales se realizó con la metodología de la huella ambiental, lo que permitió la valoración de las siguientes 16 categorías de punto medio: cambio climático(CC), destrucción de la capa de ozono(OzD), radiación ionizante (IR), formación de ozono fotoquímico (POz), Partículas inorgánicas con efectos respiratorios (RI), toxicidad humana con efectos no cancerígenos (N-CHHE), toxicidad humana con efectos cancerígenos(CHEE), acidificación en suelo y agua dulce (ATF), eutrofización en agua dulce (EF), eutrofización en medios marinos (EM), eutrofización terrestre (ET), ecotoxicidad en agua dulce (EF), uso del suelo (LU), escases de agua (WS), uso de recursos asociados a fuentes de energía (RU-EC), usos de recursos asociado a minerales y metales (RU-MM),

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 2 Se visualiza la valorización por proceso unitario involucrado y la contribución de cada uno de estos en las 16 categorías para la fase de caracterización por el método de huella ambiental, los resultados expresaron que los valores de un solo puntaje (caracterización) más significativos en el impacto total para el escenario evaluado corresponden a las categorías de uso de recursos asociados a consumos eléctricos (RU-EC), uso de suelo (LU) y cambio climático (CC). Para la categoría de uso de recursos asociada a uso de energía(RU-EC), el puntaje final corresponde a 48.82 MJ, las mayores contribuciones a esta se generaron durante la fase de operación y mantenimiento de la PTAR, donde el 40.65% del puntaje total se generó en el proceso secundario y 31.56% en el terciario, estos porcentajes están vinculados con el consumo de energía de los motores de alta potencia e insumos químicos. En el uso de suelo (LU), el proceso terciario y disposición de lodos contribuyen con el 57.84% y el 29.61 %, respectivamente para el total de la categoría que fue de 14.88 Pt, en este caso asociados a la producción de químicos y a la emisión de lodos como material inerte. El puntaje final para cambio climático fue de 3.45 kg CO<sub>2</sub> eq el proceso secundario contribuyó con el 40.52% y el terciario con el 31.96% del total valorado. Las categorías menos relevantes en la evaluación fueron la toxicidad humana con efectos no cancerígenos (N-CHHE), toxicidad humana con efectos cancerígenos (CHEE) y partículas inorgánicas con efectos respiratorios (RI).

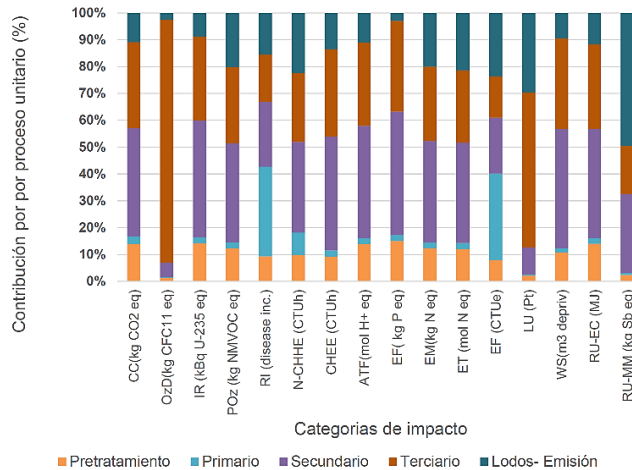


Figura 2. Resultados caracterizados- huella ambiental (Fazio y col., 2018)

## CONCLUSIONES

Los impactos potenciales identificados para un escenario local presentan similitud con hallazgos internacionales que han valorado PTAR de lodos activados, que colocan de manifiesto que la etapa de operación y mantenimiento resulta ser la más relevante, contribuyendo significativamente a las categorías con puntajes mayores para la fase de caracterización de la evaluación de impacto. El resultado de esta valoración permitirá en líneas futuras de investigación establecer alternativas enfocadas a la reducción de las categorías con puntajes elevados, colocando a las fuentes de energías renovables como alternativas para el funcionamiento de los equipos de alta potencia responsables de la alta demanda energética y por otro lado establecer los escenarios alternativos en cuanto al aprovechamiento de los lodos producto del tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

Amores, M. J.; Maneses, M.; Pascualino, J.; Antón, A; Castells, F. (2013). *Environmental Assessment of Urban Water Cycle on Mediterranean Conditions by LCA Approach*. Journal of Cleaner Production 43, 84–92.

Bjorn, A.; Owsianiak, M.; Molin, C.; Hauschild, M. Z. 2018. **Life Cycle Assessment Theory and Practice**. Ed. Springer International Publishing. Pp. 17–30. Cham, Switzerland

Bonton, A.; Bouchard, C.; Barbeau, B.; Jedrzejak, S. (2012). *Comparative Life Cycle Assessment of Water Treatment Plants*. Desalination 284, 42–54.

DOF. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. México D.F.

Fazio, S.; Castellani, V.; Sala, S.; Schau, E.M.; Secchi, M.; Zampori, L.; Diaconu, E. (2018) *Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle*

*Impact Assessment method* Supporting Information to the Characterisation Factors of Recommended EF Life Cycle Impact Assessment Method. Ed. European Commission. Joint Research Centre (JRC). 1-37

Godin, D.; Bouchard, C.; Vanrolleghem, P.A. (2012). *Net Environmental Benefit: Introducing a New LCA Approach on Wastewater Treatment Systems*. Water Science and Technology 65 (9): 159-167.

Heimerson, S.; Harder, R.; Peters, G.M.; Svanström, M. (2014). *Including Pathogen Risk in Life Cycle Assessment of Wastewater Management. 2. Quantitative Comparison of Pathogen Risk to Other Impacts on Human Health*. Environ. Sci. Technol. 48 (16): 9446–9453.

ISO 14040: 2006, 2006. Environmental management- Life Cycle assessment- Principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 14044: 2006, 2006 Environmental management- Life Cycle assessment-Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland

Larsen, H. Fred. 2018. LCA of Wastewater Treatment. In *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Ed. Springer International Publishing. Pp. 861–86. Cham, Switzerland.

Li, Y.; Luo, X.; Huang, X.; Wang, D.; Zhang, W. (2013). *Life Cycle Assessment of a Municipal Wastewater Treatment Plant: A Case Study in Suzhou, China*. Journal of Cleaner Production. 57, 221–27.

Machado, A. P.; Urbano, L.; Brito, A. G.; Janknecht, P.; Salas, J. J.; Nogueira, R. (2007). *Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Options for Small and Decentralized Communities*. Water Science and Technology 56 (3): 15–22.

Polruang, S.; Sirivithayapakorn, S.; and Na Talang. R.P.(2018). *A Comparative Life Cycle Assessment of Municipal Wastewater Treatment Plants in Thailand under Variable Power Schemes and Effluent Management Programs*. Journal of Cleaner Production 172: 635–48.

Resende, J. D.; Antunes-Nolasco, M.; Almeida-Pacca, Sérgio. (2019). *Life Cycle Assessment and Costing of Wastewater Treatment Systems Coupled to Constructed Wetlands*. Resources, Conservation and Recycling 148: 170–77.

Risch, E.; Loubet, P.; Núñez, M.; Roux, (2014). *How Environmentally Significant Is Water Consumption during Wastewater Treatment?: Application of Recent Developments in LCA to WWT Technologies Used at 3 Contrasted Geographical Locations*. Water Research 57, 20–30.