

Propuesta de aprendizaje para el estudio comparativo de la huella de carbono y ecológica en el ciclo de vida aplicado a sistemas de depuración natural y convencional en efluentes con alta carga orgánica

Carlos Alberto Mendieta Pino^{*a,b}[0000-0002-1808-0112], Tania del Pino García Ramírez^a[0000-0001-7243-3217], Juan Carlos Lozano Medina^b[0009-0005-4985-9339], Carlos Jesús Sánchez Morales^b[0000-0001-5520-7154] y Federico Antonio León Zerpa^{a,b}[0000-0003-2284-8400]

^aInstitute of Environmental Studies and Natural Resources, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus Universitario de Tafira, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017, Las Palmas de Gran Canaria

^bDepartment of Process Engineering, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus Universitario de Tafira, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017, Las Palmas de Gran Canaria

Keywords: depuración, huella de carbono, huella ecológica, Simapro.

EXTENDED ABSTRACT

En este estudio se presenta una propuesta educativa dirigida a estudiantes de ingeniería, en la cual se les enseña a calcular y optimizar diversos parámetros, como la huella de carbono y la huella ecológica, a lo largo del ciclo de vida de un sistema de depuración natural, comparándolos con los de un sistema de depuración convencional. Para ello, se emplea un software de modelización especializado. La propuesta formativa se centra en la comparación de la huella de carbono de ambos tipos de sistemas de depuración, lo cual puede extrapolarse a otros tipos de sistemas de tratamiento de aguas. El propósito es integrar este enfoque en las actividades formativas prácticas dentro del marco de los programas de Grado y/o Máster Universitario en ingeniería industrial. La aplicación del software *SimaPro* permite simular el ciclo de vida y calcular la huella de carbono de sistemas de depuración natural, incorporando diversas variantes. Esta herramienta resulta fundamental tanto para el diseño como para la optimización de estos sistemas, ya que ofrece la flexibilidad de ajustar los diseños según las necesidades del estudiante o docente. Este enfoque metodológico facilita la comprensión y el aprendizaje de los objetivos planteados en el proceso formativo.

INTRODUCTION

La actividad propuesta se centra en el desarrollo de tecnologías educativas de simulación y modelización para la consecución de soluciones que puedan ser implementadas de forma específica en el ciclo de recursos para mejorar las interrelaciones entre los aspectos de Cambio Climático, Agua, Energía y Alimentos, mediante el análisis de sistemas de depuración y regeneración [1]. Esta evaluación incluye el análisis del ciclo de vida (ACV) [2], la huella de carbono, los impactos ambientales y la capacidad de mitigación, con el fin de identificar las tecnologías más apropiadas en función de diferentes contextos [3]. La iniciativa de aprendizaje está dirigida principalmente a estudiantes de tercer y cuarto año de Grado en Ingeniería, aunque, debido a su potencial, también puede ser extendido a estudiantes de Máster y/o Doctorado.

El objetivo del aprendizaje es que los estudiantes adquieran una comprensión profunda de cómo las configuraciones y las variables de diseño y funcionamiento influyen en el diseño, la durabilidad y el cumplimiento de la normativa vigente, así como en el desempeño de los ACV[4] aplicados a los sistemas de depuración. Los conocimientos impartidos están alineados con los objetivos del programa académico de la asignatura, los complementan y los amplían. En particular, los estudiantes deben familiarizarse con los principios fundamentales del diseño modelización y simulación matemática [5] así como, el funcionamiento de los sistemas de depuración, tanto naturales como convencionales. En estos procesos es posible simular de forma matemática los procesos biológicos que concurren [6], así como con el ciclo de vida de estos sistemas y el cálculo de sus huellas de carbono y ecológica. Numerosos autores como [5,7], discuten los beneficios y desafíos del uso de tecnología de simulación en la enseñanza de las matemáticas, enfatizando cómo la interpretación crítica de los resultados es clave para el aprendizaje profundo y como puede mejorar la comprensión de conceptos matemáticos de simulación, pero subraya la necesidad de interpretación crítica y de sentido en los resultados obtenidos.

El objetivo principal de este Análisis de Ciclo de Vida (ACV) [4] es estimar el impacto ambiental asociado al ciclo de vida de un sistema de tratamiento de depuración natural. Como caso de estudio, se utilizará el sistema encargado del tratamiento de los vertidos generados en el municipio de Santa Lucía de Tirajana, con una capacidad para 500 habitantes equivalentes. El ACV se llevará a cabo de manera integral, abarcando todas las etapas del ciclo de vida, desde la adquisición de los materiales necesarios para la construcción de la planta hasta las fases de operación y mantenimiento de esta.

METHODOLOGY

Para el correcto desarrollo de la metodología de ciclo de vida (ACV) es preciso utilizar una herramienta de software que permita ahorrar tiempo y lograr resultados fiables. La función básica de estos es realizar los balances de materia y energía sobre el proceso específico y asignar las emisiones, usos de energía, etc., normalizados sobre una base común. En este caso, se utiliza la herramienta SimaPro versión 9.1.1.

Para este ACV, se trabaja con la base de datos más oportuna la Ecoinvent v3.7.1 ya que es una mejora de las bases de datos BUWAL 250 y la ETH, cuenta con más de 4000 procesos pertenecientes a diferentes sectores.

La metodología empleada en el estudio es la ILCD 2011 puesto que será la metodología de referencia para las Huellas ambientales de la Unión Europea, siendo las categorías de impacto las que se muestran a continuación: cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, ecotoxicidad para ecosistemas de agua dulce, toxicidad humana (efectos cancerígenos), partículas inorgánicas con efectos respiratorios, radiaciones ionizantes, efectos sobre la salud humana, formación fotoquímica de ozono, acidificación, eutrofización terrestre, eutrofización acuática, ecotoxicidad de agua dulce, agotamiento de los recursos (agua, minerales, fósiles), transformación de la tierra.

Así mismo, cabe destacar que para el cálculo de la huella de carbono se utiliza la metodología IPCC 2013.

RESULTS AND CONCLUSIONS

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una metodología utilizada para evaluar el impacto ambiental de productos o servicios a lo largo de todas sus etapas, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Para ello, es posible utilizar herramientas de simulación matemática similares a las aplicadas en contexto industrial [7,8]. En el contexto educativo, enseñar a los estudiantes a utilizar un software de cálculo de ACV les permite aplicar principios de sostenibilidad y análisis cuantitativo de manera práctica.

El ACV es una metodología general que puede aplicarse parcialmente según el nivel de detalle requerido por los objetivos propuestos. Existen tres diferentes tipos de ACV: el conceptual, el simplificado y el completo. El primero de ellos, se trata de un estudio cualitativo cuya función es identificar los impactos más significativos de forma muy genérica. El segundo tipo, realiza un ACV más completo centrándose en las etapas más importantes y analizando los datos que se consideren más importantes. El último de ellos es el más complejo ya que se basa en un análisis completo en detalle, teniendo en cuenta los impactos, etapas e inventario tanto a nivel cualitativo como cuantitativo.

REFERENCES

1. Sinha R, Lennartsson M, Frostell B. Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study. *Build Environ* 2016;104:162–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.012>.
2. ISO 14040; Environmental Management. Life Cycle Assessment-Principles and Framework. International Standard. Geneva, Switzerland: 2006.
3. Herrmann C, Hauschild M, Gutowski T, Lifset R. Life Cycle Engineering and Sustainable Manufacturing. *J Ind Ecol* 2014;18:471–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jiec.12177>.
4. Ortegon K. Life Cycle Engineering in an Industrial Engineering undergraduate program, from the classroom to the real life of students. *Procedia CIRP* 2019;80:613–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.011>.
5. Foster DA, Szabo Z. Using Technology to Teach Mathematics. *Educational Technology & Society* 2010;13:41–51.
6. Brito-Espino S, Ramos-Martín A, Pérez-Báez SO, Mendieta-Pino C. Application of a mathematical model to predict simultaneous reactions in anaerobic plug-flow reactors as a primary treatment for constructed wetlands. *Science of the Total Environment* 2020;713. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136244>.
7. Heid MK. Technology in the Teaching and Learning of Mathematics: A Look Toward the Future. *The Journal of Mathematical Behavior* 2007;24:157–63.