

Artículo de investigación

Métodos aplicados a la estimación de gases de efecto invernadero en los embalses de hidroeléctricas

Rhonmer Orlando Pérez-Cedeño^{1*}, Carmen Luisa Vásquez Stanescu²,
Maritza Torres-Samuel³ y Rodrigo Ramírez-Pisco⁴

¹ Ingeniero electricista. Doctorando del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Productividad de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Venezuela, (autor de correspondencia). Correo electrónico: rhonmerperez@gmail.com

² Doctor en Ciencias Técnicas. Profesora titular, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Venezuela. Correo electrónico: cvasquez@unexpo.edu.ve

³ Doctor en Ciencias de la Ingeniería mención Productividad. Profesora titular, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Venezuela. Correo electrónico: mtorres@ucla.edu.ve

⁴ Doctor en Ingeniería Eléctrica. Director de Investigación e Innovación, Universidad Carlemany, San Julián de Loria, Andorra. Correo electrónico: rramirez@universitatcarlemany.com

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 18 de julio del 2022

Aceptado el 23 de septiembre del 2022

Online el 7 de octubre del 2022

Códigos JEL:

Q4, Q48, Q51, Q54

Palabras clave:

Embalses hidroeléctricos, gases de efecto invernadero, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso.

RESUMEN

Introducción/objetivo: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen natural han aumentado por las acciones antropogénicas, y amenazan al planeta con un desequilibrio ambiental. Los embalses para almacenar agua, que después se utiliza para mover las turbinas de centrales hidroeléctricas, acumulan sedimentos generando GEI. En este trabajo se analizan los métodos empleados para estimar las emisiones de GEI en embalses, clasificando las publicaciones científicas encontradas en los motores de búsqueda de ScienceDirect y Google Scholar.

Metodología: el método analítico utiliza una expresión booleana para recopilar información en los motores de búsqueda indicados y extraer la bibliografía relevante, considerando factores como la temperatura del agua, la ubicación geográfica, el tipo y la superficie del embalse, el tipo de gas y la tecnología, lo que atribuye un valor de pertinencia a cada característica para elaborar una matriz de resultados.

Resultados: los resultados muestran que más del 50% se basan en estimaciones de GEI y el resto en mediciones directas en los embalses. Además, la contribución de la inteligencia artificial como técnica de estimación es menor al 6%.

Conclusiones: finalmente, las regiones mundiales donde se realizan los estudios están distribuidas proporcionalmente y el análisis de literatura científica indica versatilidad en los métodos de estimación de GEI en embalses hidroeléctricos.

Methods applied to the estimation of Greenhouse Gases in hydroelectric reservoirs

ABSTRACT

Keywords:

Hydropower reservoirs, greenhouse gas, carbon dioxide, methane, nitrous oxide.

Introduction/objective: greenhouse gases (GHG) emissions of natural origin have increased due to anthropogenic actions, and threaten the planet with environmental imbalance. Reservoirs for storing water, which is later used to drive the turbines of hydroelectric power plants, accumulate sediments, generating GHG. This paper analyzes the methods used to estimate GHG emissions in reservoirs, classifying scientific publications found in the ScienceDirect and Google Scholar search engines.

Methodology: the analytical method uses a Boolean expression to collect information in the indicated search engines and extract the relevant literature considering factors such as water temperature, geographic location, reservoir type and surface area, gas type and technology, which attributes a relevance value to each characteristic to elaborate a matrix of results.

Results: the results show that more than 50% are based on GHG estimates and the rest on direct measurements in the reservoirs. In addition, the contribution of artificial intelligence as an estimation technique is less than 6%.

Conclusions: finally, the world regions where studies are conducted are proportionally distributed and the analysis of scientific literature indicates versatility in GHG estimation methods in hydropower reservoirs.

Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI) son de origen natural. Es decir, han estado siempre presentes en la atmósfera terrestre, procedente de acciones naturales como la respiración o la descomposición de los residuos orgánicos (Gómez-Sanabria et al., 2022). Sin embargo, después de la era industrial se observa un incremento en su concentración por la acción antropogénica, lo que contribuye al calentamiento global y los cambios climáticos vividos actualmente (Pérez & Osal, 2019a; Pérez et al., 2020; Xu et al., 2022).

Generalmente, las emisiones de GEI se le atribuyen o relacionan con la generación de energía con combustibles fósiles (Sánchez et al., 2017; Sánchez et al., 2018). Sin embargo, los apéndices 2 y 3 del informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) del 2006 enuncian un desarrollo metodológico para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) de las tierras inundadas (IPCC, 2006a; IPCC, 2006b), entre las que se encuentran la de los cultivos y los embalses artificiales. Más adelante, la quinta comunicación del IPCC revela que el 16% de estas emisiones antropogénicas corresponden al CH₄ (Pérez et al., 2020).

En los embalses de las centrales hidroeléctricas se emiten tres tipos de GEI que contribuyen al cambio climático, como son el CO₂, CH₄ y el óxido nitroso (N₂O) (Lu et al., 2020). Demarty et al. (2011), Cifuentes (2020), Ion & Ene (2021), Qin et al. (2021) y Soued & Prairie (2021) señalan que las emisiones de CH₄ dependen principalmente del clima, la ubicación geográfica, la edad del reservorio y la superficie del espejo de agua.

Gómez-Núñez et al. (2014) señalan a SCImago Journal & Country Rank (SJR) como un factor de medición que determina la calidad de las publicaciones científicas, basado en el recuento de citas obtenidas por cada publicación. Así, la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en embalses hidroeléctricos, de acuerdo con el *ranking* SJR, está enmarcado en el área de energía, focalizado en la sección de energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente.

Este artículo permite analizar los métodos que se emplean para estimar las emisiones de GEI en embalses hidroeléctricos, colaborando en la mitigación de las emisiones, lo cual persigue un objetivo global: trabajar para lograr los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS). Además, permite identificar sus características, las oportunidades que ofrece y las limitaciones, ubicando los vacíos de conocimiento para nueva investigación y nuevos planteamientos. Por tal motivo, el propósito de este trabajo es revisar en los últimos cinco años de literatura científica los métodos de estimación de las emisiones de GEI en embalses hidroeléctricos y, a partir de esto, efectuar un análisis de estos para establecer la posición actual de la ciencia del cambio climático (Guamán & Espinoza, 2022) ante la energía hidroeléctrica.

Método

En este artículo se aplica una revisión sistemática de literatura acerca de métodos utilizados en las estimaciones de GEI en los embalses hidroeléctricos, considerando como fuentes de consulta ScienceDirect y Google Scholar (Tober, 2011). Se aplica el procedimiento utilizado por los autores Araujo & Vásquez (2021) para la búsqueda, selección y análisis bibliográfico.

Los estudios descriptivos especifican propiedades relevantes de grupos, regiones, personas, población y otros objetos que se someten a ser investigados, reconociendo sus aspectos y factores que comparten para establecer una evaluación de sus características (Pérez & Osal, 2019b). Los pasos considerados en este estudio como método sistémico de investigación se visualizan en la figura 1.

En el artículo se analizan los métodos reportados en la literatura revisada para la estimación de las emisiones de GEI en embalses en diversas regiones, clasificando publicaciones científicas encontradas en los motores de búsqueda de ScienceDirect y Google Scholar (Tober, 2011).

Como primera etapa operativa de búsqueda de acuerdo con la figura 1, haciendo uso de las palabras clave con operadores *booleanos*, se generó la expresión de búsqueda: (“GHG emissions” OR “Carbon dioxide” OR “Methane” OR “Nitrous oxide”) AND “hydroelectric reservoir”), desde el motor de búsqueda de ScienceDirect y Google Scholar (Tober, 2011).

De la pesquisa general de ScienceDirect se recopilan 290 resultados que se solapan con los 1620 resultados hallados en Google Scholar. Seguidamente, se aplica un filtro a la información de estos motores de búsqueda para solo considerar artículos de revisión e investigación en los últimos cinco años (desde el 2018 hasta el 2022), de lo que se obtienen 74 resultados, de los cuales se extraen 17 artículos como bibliografía relevante para el análisis del estado del arte; dichos artículos consideran los aspectos planteados en la metodología en la sección de descripción de las características.

En la segunda etapa metodológica se identifican y describen las características compartidas en las diferentes pu-

blicaciones científicas seleccionadas como relevantes en la etapa 1 en términos de GEI considerados, región geográfica donde se desarrolló el trabajo, herramientas empleadas por los autores y factores resaltantes de los embalses, así como el resultado obtenido en su investigación.

En la tercera etapa operativa de la metodología se le atribuye un valor de pertinencia a cada característica de la segunda etapa para ponderar su importancia, con lo que se obtiene finalmente una matriz de resultados, que permite visualizar cuál es la tendencia de las investigaciones en el desarrollo de los modelos de estimación de los GEI en embalses hidroeléctricos.

Resultados

Del *ranking* SJR se extraen los datos mundiales (figura 2) de los documentos publicados en el área de energía disponible en la base de Scopus (Martín-Martín et al., 2018). Por año, se extraen los 10 primeros países del *ranking* mundial, junto con la cantidad de documentos publicados por esta sección, como se muestra en la tabla 1.

Otro *ranking* denominado Scimago Institutions Ranking (Torres-Samuel et al., 2019) se utiliza para clasificar las instituciones por regiones y áreas de estudio donde se desarrollan los documentos publicados en la base de datos de Scopus. Este muestra un alto porcentaje de participación de las universidades en el desarrollo de publicaciones para el 2021 y aporta el 76.44% de los documentos generados en el área de energía.

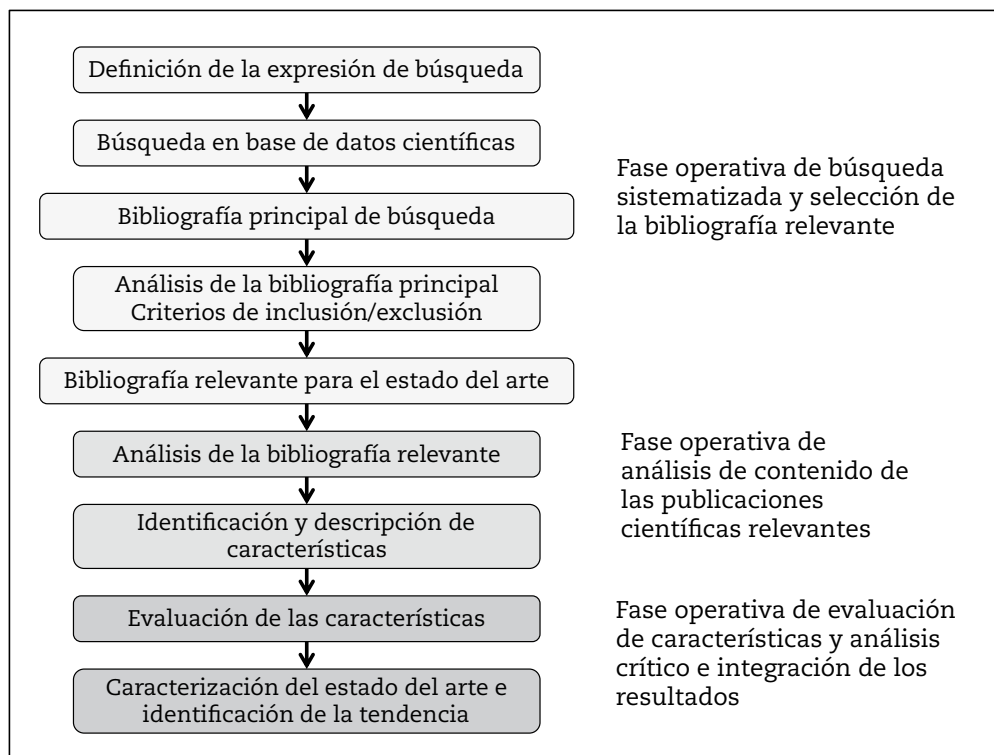


Figura 1. Diagrama metodológico para el análisis sistémico de la información

Fuente: Araujo & Vásquez (2021).

Tabla 1. Ranking de los 10 primeros países por región con mayor número de publicaciones en el área de energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente

Año	2017	2018	2019	2020	2021
Rank	Países				
1	CHN	CHN	CHN	CHN	CHN
2	USA	USA	USA	USA	USA
3	IND	IND	IND	IND	IND
4	GBR	GBR	GBR	GBR	GBR
5	DEU	DEU	KOR	KOR	KOR
6	KOR	KOR	DEU	ITA	ITA
7	ITA	ITA	ITA	ESP	DEU
8	JPN	ESP	ESP	DEU	ESP
9	ESP	AUS	AUS	AUS	POL
10	CAN	CAN	IRN	CAN	AUS

Docu- mentos de la mues- tra	2017	2018	2019	2020	2021
	44 146	54 462	59 044	66 545	65 048

Fuente: elaboración propia con datos de SJR.

Observación: se aplica la identificación de países de acuerdo con la codificación de la norma ISO 3166-1, Alpha 3 (World Integrated Trade Solution, 2010).

Al detallar la figura 2 se nota un crecimiento porcentual de publicaciones en el área de energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente, al comparar el 2017 y el 2021. De igual manera, en el 2021, esta área de investigación abarca cerca del 25 % del total de las publicaciones indizadas en Scopus a nivel mundial.

Los países con mayor desarrollo de publicaciones en el área de energía renovable, sostenible y amigable con el medio ambiente se indican en la tabla 1. La tabla 1 muestra la postura que estos países, posicionados en los primeros lugares, han adoptado para abordar estos temas. China, Estados Unidos e India se encuentran en las tres primeras posiciones del ranking, y han permanecido así los últimos cinco

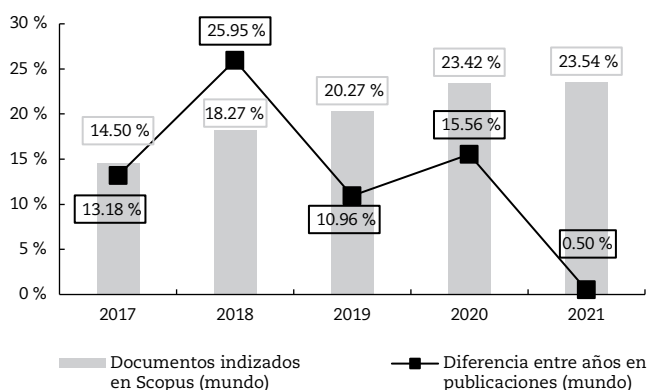


Figura 2. Porcentaje de documentos publicados indexados en Scopus en el área de energía para el periodo 2017-2021. Datos mundiales

Fuente: elaboración propia con datos de SJR.

Leyenda: documentos indizados (barras), diferencia de publicaciones por año (línea).

años. Esto es ratificado con lo enunciado por el informe sobre la situación de la energía hidroeléctrica en el 2022 de la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA, por su sigla en inglés). El informe muestra que China lidera el camino en desarrollo hidroeléctrico a nivel mundial con el 80% de la nueva capacidad instalada en el país para el 2021 (International Hydropower Association, 2022).

Descripción de las características

A continuación, se describen las características seleccionadas para analizar los métodos aplicados para la estimación de los GEI en los embalses hidroeléctricos que, a su vez, complementan el análisis, de modo que las publicaciones científicas sean tratadas de la misma manera.

- Método utilizado para la determinación de GEI: se debe especificar si el método para estimar las emisiones de GEI en el embalse es una *medición* directa que se realiza en el reservorio (para análisis *in situ* o en laboratorio) o son *estimaciones* por datos recopilados de muestras de laboratorio y de otras fuentes.
- Tecnología o herramienta utilizada para estimar las emisiones de GEI: determinar si utilizan tecnologías de *laboratorio* (como las cámaras flotantes o cromatografía de gases, por mencionar algunas, que se colocan en el embalse) o estimación de emisiones con un *software* o si utilizan métodos de *inteligencia artificial* para determinar los resultados.
- GEI considerados en el artículo (CO_2 , CH_4 , N_2O): establecer *cuántos* GEI consideran en el artículo. Esto es debido a que hay investigaciones que son específicas para un solo tipo. Además, mientras más GEI consideran, mayor precisión en la estimación de emisiones tiene, lo que le da más fortaleza y alcance a la investigación.
- Resultado obtenido: determinar si los resultados de la publicación científica muestran las *emisiones* de uno o varios de los GEI como el CO_2 , CH_4 , N_2O o algún otro; si concluyen con *factores de emisión*, haciendo uso de la energía eléctrica generada en la central asociada al embalse.
- Variables resaltadas en el artículo: establecer la relevancia que se le atribuye en el artículo a la *temperatura del agua*, el *periodo libre de hielo*, la *edad del reservorio* y la *superficie del embalse*.
- Región geográfica (región tropical u otra región): señalar en qué región se desarrolla el trabajo para establecer la distribución de investigaciones en la *zona tropical*, *subtropical*, *latitudes medias* y *polar* (Meteo Navarra, 2022).

Evaluación de las características

Esta se efectúa en la tabla 2, en la que se asigna un valor de pertinencia numérico a cada característica descrita en la sección anterior, basado en que cada una tiene la misma importancia, por tanto, el peso individual es asignado a un valor de 0.25, en que el valor más alto es de uno, lo que

significa que reúne los aspectos deseados planteados en la metodología.

Tabla 2. Codificación de valores de pertinencia para evaluar las características

Valor	Descripción: se le asigna a una característica que:
0	No muestre información
0.25	Tenga déficit de información
0.5	Es aceptable
0.75	Es aceptable con potencialidad de mejorar
1	Es la deseada

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2 se rescata el método utilizado para la determinación de los GEI en los embalses hidroeléctricos, al asignarle un valor más alto a las estimaciones de las emisiones. Esto es debido a que es relevante saber qué tan precisa es la metodología aplicada por cada autor para estimar las poluciones, sin necesidad de hacer un muestreo directo en el embalse, sino utilizando variables características para poder mostrar un resultado más aproximado de los GEI.

El valor deseado de la tabla 2 también se le atribuye a la inteligencia artificial como tecnología y herramienta utilizada para estimar las emisiones por su excelente aplicación en áreas como las empresas y la ciencia (Badaro et al., 2013), cantidad de GEI considerados en el artículo (CO₂, CH₄, N₂O), en que la mayor precisión se da para los tres GEI, lo que le da más fortaleza y alcance a la investigación y, finalmente, si el resultado obtenido es un factor de emisión que utiliza la energía eléctrica generada por la central hidroeléctrica asociada al embalse.

La condición deseada, como lo señala la tabla 2 respecto a los factores resaltados del artículo, se da cuando el artículo involucra las cuatro variables señaladas en el apartado anterior (f), y si, además, la región geográfica donde se desarrolla el artículo es en la zona ecuatorial, ya que en esta zona (a diferencia de otras regiones del mundo) las emisiones tienden a incrementarse (Ion & Ene, 2021).

Resultados

Los resultados de la clasificación de los métodos aplicados a la estimación de GEI en los embalses hidroeléctricos se muestran en la tabla 3. Cada característica se evaluó a partir de los valores de la tabla 2.

Discusión de resultados

En la tabla 3, en la columna a, se detalla que el 53% de los artículos seleccionados se basan en estimaciones de las emisiones de GEI en embalses hidroeléctricos, siendo muy cercana también la participación de las mediciones directas realizadas en los embalses. Las mediciones directas sirven para establecer las emisiones difusoras, por burbuja o desgasificación particulares del embalse que permiten mejorar los resultados que se pueden obtener en las estimaciones, en las que participan otras variables adicionales (IPCC, 2006b; Pérez Cedeño et al., 2020).

Por su parte, un 47% es atribuido tanto al uso de *software* como a los análisis de muestras en laboratorios, siendo la participación de la inteligencia artificial apenas de un 5.88%

Tabla 3. Matriz de resultados de los modelos de estimación de GEI en embalses hidroeléctricos

Referencias	Año	Características						Total
		a	b	c	d	e	f	
Wang et al. (2018)	2018	1	0.75	0.50	0.75	0.50	0.50	4
Song et al. (2018)	2018	1	0.75	0.75	1	0.75	0.50	4.75
Li et al. (2018)	2018	1	0.50	1	0.75	0.50	0.50	4.25
Escriva-Bou et al. (2018)	2018	1	0.75	0.50	0.75	0.50	0.50	4
De Sousa Brandão et al. (2019)	2019	0.75	0.50	0.75	0.75	0.5	1	4.25
Varol (2019)	2019	0.75	0.50	0.50	0.75	0.25	0.75	3.5
Wang et al. (2019)	2019	0.75	0.50	0.75	0.75	0.50	0.75	4
Ruiz-Vásquez et al. (2019)	2019	0.75	0.50	0.75	0.75	0.50	1	4.25
Resende et al. (2020)	2020	1	1	0.75	0.75	1	1	5.5
León & Rojas (2020)	2020	0.75	0.75	0.50	0.75	0.75	1	4.5
Levasseur et al. (2021)	2021	1	0.75	0.75	1	1	0.50	5
Waldo et al. (2021)	2021	0.75	0.50	0.75	1	0.50	0.75	4.25
Católico et al. (2021)	2021	1	0.75	0.50	1	0.50	1	4.75
Bayazit (2021)	2021	1	0.75	0.50	0.75	0.50	0.75	4.25
Ion & Ene (2021)	2021	1	0.75	0.75	0.75	1	0.75	5
Rust et al. (2022)	2022	0.75	0.50	0.75	0.75	1	0.50	4.25
Montes-Pérez et al. (2022)	2022	0.75	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	4.25

Fuente: elaboración propia.

Nota: el artículo señalado con el sombreado es el que reúne la mayor cantidad de características deseadas.

como tecnología o herramienta que se utiliza para determinar las emisiones en los embalses. En relación con los GEI que considera cada artículo para el desarrollo de su investigación, solo el 5.88% hace la estimación de los tres: el CO₂, el CH₄ y el N₂O, detallándose que alrededor del 59% de los artículos consideran solo dos GEI.

En los resultados que se extraen de los artículos analizados, solo el 23.5% corresponde a factores de emisión que se refieren a la relación que existe de las emisiones de GEI por unidad de energía eléctrica generada en la central hidroeléctrica asociada al embalse (Song et al., 2018; Levasseur et al., 2021).

En la distribución de las regiones geográficas donde se encuentran los embalses de los artículos analizados en la tabla 3, se tiene que un 35.3% de los trabajos son desarrollados en la región de latitudes medias (entre las zonas polares y subtropicales), un 35.3% corresponde a la región subtropical y el 29.4% restante en la región tropical, siendo así una distribución bastante uniforme a nivel mundial, sin embargo, es oportuno acotar que la región tropical es la que tiende a ser más emisora de GEI (IPCC, 2006b).

De las seis características que se utilizan en la tabla 3 para ponderar los artículos, la que más se acerca a las condiciones ideales, de acuerdo con el objetivo del presente trabajo, es la publicación de Resende et al. (2020), quien trabaja con técnicas de inteligencia artificial para estimar las emisiones en un embalse de la región tropical donde se destacan las variables tales como la temperatura del agua, el periodo libre de hielo, la edad del reservorio y la superficie del embalse, lo que proporciona emisiones de CO₂ y CH₄ como sus resultados.

Conclusiones

En los últimos cinco años se nota la necesidad de trabajar en la sostenibilidad de la energía renovable que mueve al mundo, tal es el caso de los embalses hidroeléctricos que han participado como medio para ayudar a tener un ambiente más limpio. Sin embargo, como se encontró en la literatura científica, a pesar de ser una energía renovable que utiliza el agua como recurso principal, al tener un embalse asociado se le atribuye una participación en las emisiones de GEI.

Para determinar las emisiones de GEI en los embalses hidroeléctricos, los estudios indican que las estimaciones son un método acorde para lograrlo, basándose en variables como la edad del reservorio y temperatura del agua, el periodo libre de hielo y la superficie del embalse, junto con el uso de *software* o la inteligencia artificial y considerando GEI como el CO₂, CH₄, N₂O para brindar mejores resultados.

La revisión de literatura indica que existe versatilidad en los métodos de estimación de los GEI en embalses hidroeléctricos, lo cual ofrece la oportunidad de optimizar dichos métodos para tener mejoras en la precisión de los resultados y poder contribuir con los ODS, la gran meta mundial.

Financiación

Este artículo es producto del Seminario de Visibilidad de las Publicaciones Científicas, impartido en el marco de los Estudios Doctorales de Ciencias de la Ingeniería mención Productividad de la UNEXPO. Venezuela. No contó con financiamiento para su elaboración.

Declaración de conflictos de interés

Declaramos que no tenemos ningún interés competitivo significativo, incluyendo intereses financieros o no financieros, profesionales o personales que interfieran con la presentación completa y objetiva del trabajo descrito en este manuscrito.

Referencias

- Araujo-Suárez, G., & Vásquez Stanesco, C. L. (2021). Estrategias de rechazo de carga para mitigar la recuperación retardada de tensión inducida por falla: desarrollo y tendencias. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 15(2), 51-60. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24721.10081>
- Badaro, S., Ibáñez, L. J., & Agüero, M. (2013). Sistemas expertos: fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Ciencia y Tecnología*, 1(13), 349-364. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i13.122>
- Bayazit, Y. (2021). The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey. *Renewable Energy*, 170, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.130>
- Católico, A. C. C., Maestrini, M., Strauch, J. C. M., Giusti, F., & Hunt, J. (2021). Socioeconomic impacts of large hydroelectric power plants in Brazil: A synthetic control assessment of Estreito hydropower plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111508. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111508>
- Cifuentes, M. R. (2020). Estudio ecohidrológico del embalse eutrófico Lago del Fuerte (Tandil, Provincia de Buenos Aires) [tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/112544>
- De Sousa Brandão, I. L., Mannaerts, C. M., De Sousa Brandão, I. W., Queiroz, J. C. B., Verhoef, W., Fonseca Saraiva, A. C., & Dantas Filho, H. A. (2019). Conjunctive use of in situ gas sampling and chromatography with geospatial analysis to estimate greenhouse gas emissions of a large Amazonian hydroelectric reservoir. *Science of the Total Environment*, 650, 394-407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.403>
- Demarty, M., Bastien, J., & Tremblay, A. (2011). Annual follow-up of gross diffusive carbon dioxide and methane emissions from a boreal reservoir and two nearby lakes in Québec, Canada. *Biogeosciences*, 8(1), 41-53. <https://doi.org/10.5194/bg-8-41-2011>
- Escriva-Bou, A., Lund, J. R., Pulido-Velázquez, M., Hui, R., & Medellín-Azuara, J. (2018). Developing a water-energy-GHG emissions modeling framework: Insights from an application to California's water system. *Environmental Modelling and Software*, 109, 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.07.011>
- Gómez-Núñez, A. J., Batagelj, V., Vargas-Quesada, B., Moya-Anegón, F., & Chinchilla-Rodríguez, Z. (2014). Optimizing SCImago Journal & Country Rank classification by community detection. *Journal of Informetrics*, 8(2), 369-383. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2014.01.011>

- Gómez-Sanabria, A., Kieseewetter, G., Klimont, Z., Schoep, W., & Haberl, H. (2022). Potential for future reductions of global GHG and air pollutants from circular waste management systems. *Nature Communications*, 13, 106. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27624-7>
- Guamán Gómez, V. J., & Espinoza Freire, E. E. (2022). Educación para el cambio climático. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(2), 17-24. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/493>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006a). Appendix 2: Estimating CO₂ emissions from lands converted to permanently flooded lands. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_p_Ap2_WetlandsCO2.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006b). Appendix 3: CH₄ Emissions from Flooded Land: Basis for Future Methodological Development. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_p_Ap3_WetlandsCH4.pdf
- International Hydropower Association. (2022). Slow hydropower growth is a stark wake-up call to governments on climate. Report. <https://www.hydropower.org/news/slow-hydropower-growth-is-a-stark-wake-up-call-to-governments-on-climate>
- Ion, I. V., & Ene, A. (2021). Evaluation of greenhouse gas emissions from reservoirs: A review. *Sustainability*, 13(21), 11621. <https://doi.org/10.3390/su132111621>
- León, J., & Rojas, M. (2020). Estimación de flujos difusivos de CO₂ en embalses tropicales mediante el uso conjunto de la tele-detección, la modelación de concentraciones superficiales del gas y K₆₀₀. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 179-196. <https://doi.org/10.22490/21456453.3587>
- Levasseur, A., Mercier-Blais, S., Prairie, Y. T., Tremblay, A., & Turpin, C. (2021). Improving the accuracy of electricity carbon footprint: Estimation of hydroelectric reservoir greenhouse gas emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136(1), 110433. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110433>
- Li, S., Bush, R. T., Santos, I. R., Zhang, Q., Song, K., Mao, R., Wen, Z., & Lu, X. X. (2018). Large greenhouse gases emissions from China's lakes and reservoirs. *Water Research*, 147, 1-45. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.053>
- Lu, S., Dai, W., Tang, Y., & Guo, M. (2020). A review of the impact of hydropower reservoirs on global climate change. *Science of the Total Environment*, 711, 134996. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134996>
- Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & López-Cózar, E. D. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160-1177. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002>
- Meteo Navarra. (2022). Distribución de los climas por zonas latitudinales. Clasificación Climática de Köppen. <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Montes-Pérez, J. J., Obrador, B., Conejo-Orosa, T., Rodríguez, V., Marcé, R., Escot, C., Reyes, I., Rodríguez, J., & Moreno-Ostos, E. (2022). Spatio-temporal variability of carbon dioxide and methane emissions from a Mediterranean reservoir. *Limnetica*, 41(1), 43-60. <https://doi.org/10.23818/limn.41.04>
- Pérez Cedeño, R. O., Vásquez Stanesco, C. L., Suárez-Matarrita, L., Vásquez Stanesco, R. N., Osal Herrera, W. J., & Ramírez-Pisco, R. (2020). Methane emissions and energy density of reservoirs of hydroelectric plants in Venezuela. En C. Meza, L. Hernández-Callejo, S. Nesmachnow, A. Ferreira, & V. Leite (Eds.), *Proceedings of the III Ibero-American Conference on Smart Cities* (pp. 728-739). <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/memorias/issue/view/575/93>
- Pérez, R., & Osal, W. (2019a). Greenhouse gases for generation of electricity in non-residential users of Venezuela 2006-2017. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 13(1), 30-40. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15226.64965>
- Pérez, R., & Osal, W. (2019b). Impact of Latin American public transport systems on urban mobility and the environment. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 13(2), 38-53. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14346.70083>
- Qin, Y., Gou, Y., Yu, Z., & Tan, W. (2021). Effects of environmental factors on the methane and carbon dioxide fluxes at the middle of Three Gorges Reservoir. *Journal of Water and Climate Change*, 12(8), 4007-4020. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.081>
- Resende, J. F., Mannich, M., & Fernandes, C. V. S. (2020). Calibration of a management-oriented greenhouse gas emission model for lakes and reservoirs under different distribution of environmental data. *Science of the Total Environment*, 734, 138791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138791>
- Ruiz-Vásquez, M., Rodríguez, D., Chica, E., & Peñuela, G. (2019). Calibration of two mathematical models at laboratory scale for predicting the generation of methane and carbon dioxide at the entrance point of the Chucurí river to the Topocoro Reservoir, Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 21(1), 11-22. <https://doi.org/10.25100/iyv.v21i1.7651>
- Rust, F., Bodmer, P., & Del Giorgio, P. (2022). Modeling the spatial and temporal variability in surface water CO₂ and CH₄ concentrations in a newly created complex of boreal hydroelectric reservoirs. *Science of The Total Environment*, 815, 152459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152459>
- Sánchez Barbosa, L., Lucena Mogollón, M. G., & Vásquez Stanesco, C. (2017). Emisiones de mercurio por uso de las lámparas fluorescentes compactas y por generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles. *Revista Científica Ecociencia*, 4(5), 1-18. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.45.51>
- Sánchez Barbosa, L., Vásquez Stanesco, C. L., & Viloría, A. (2018). Políticas públicas en el sector suministro de energía e indicadores energéticos del desarrollo sostenible en Latinoamérica. *Revista Científica Compendium*, 21(41), 1-14. <https://revistas.uclave.org/index.php/Compendium/article/view/2056>
- Song, C., Gardner, K. H., Klein, S. J. W., Souza, S. P., & Mo, W. (2018). Cradle-to-grave greenhouse gas emissions from dams in the United States of America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(1), 945-956. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.014>
- Soued, C., & Prairie, Y. T. (2021). Changing sources and processes sustaining surface CO₂ and CH₄ fluxes along a tropical river to reservoir system. *Biogeosciences*, 18(4), 1333-1350. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1333-2021>
- Tober, M. (2011). PubMed, ScienceDirect, Scopus or Google Scholar-Which is the best search engine for an effective literature research in laser medicine? *Medical Laser Application*, 26(3), 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.mla.2011.05.006>
- Torres-Samuel, M., Vásquez, C. L., Luna Cardozo, M., Bucci, N., Viloría, A., & Cabrera, D. (2019). Clustering of Top 50 Latin American Universities in SIR, QS, ARWU, and Webometrics Rankings. *Procedia Computer Science*, 160, 467-472. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.063>
- Varol, M. (2019). CO₂ emissions from hydroelectric reservoirs in the Tigris River basin, a semi-arid region of southeastern Turkey. *Journal of Hydrology*, 569, 782-794. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.002>
- Waldo, S., Deemer, B. R., Bair, L. S., & Beaulieu, J. J. (2021). Greenhouse gas emissions from an arid-zone reservoir and their environmental policy significance: Results from existing global models and an exploratory dataset. *Environmental Science and Policy*, 120, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.02.006>
- Wang, F., Lang, Y., Liu, C. Q., Qin, Y., Yu, N., & Wang, B. (2019). Flux of organic carbon burial and carbon emission from a large reservoir: Implications for the cleanliness assessment of hydropower. *Science Bulletin*, 64(9), 603-611. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.03.034>
- Wang, W., Roulet, N. T., Kim, Y., Strachan, I. B., Del Giorgio, P., Prairie, Y. T., & Tremblay, A. (2018). Modelling CO₂ emissions from water surface of a boreal hydroelectric reservoir. *Science of the Total Environment*, 612, 392-404. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.203>
- World Integrated Trade Solution. (2010). Country Codes. https://wits.worldbank.org/wits/wits/WITSHelp-es/content/codes/country_codes.htm
- Xu, H., Ou, L., Li, Y., Hawkins, T. R., & Wang, M. (2022). Life cycle greenhouse gas emissions of biodiesel and renewable diesel production in the United States. *Environmental Science Technology*, 56, 7512-7521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00289>