

Carbon Footprint for Sustainable Business Development: A Systematic Literature Review

Guillermo Segundo Miñan-Olivos, Magíster en Gestión Pública¹, Joandri Airton Moreno-Ramos, Estudiante de Ingeniería Industrial², Anny Emilyn Balois-Bonifacio, Estudiante de Ingeniería Industrial³, José Alejandro Legua-Espinoza, Estudiante de Ingeniería Industrial⁴, Leticia Pamela Vera-Chávez, Estudiante de Ingeniería Industrial⁵, Romina Yamilet Vasquez-Salvador, Estudiante de Ingeniería Industrial⁶ y Alex Jesús Narva-Sánchez, Estudiante de Ingeniería Industrial⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c20342@utp.edu.pe, U22219738@utp.edu.pe, U20232447@utp.edu.pe, U22104622@utp.edu.pe, U20232476@utp.edu.pe, U20310992@utp.edu.pe, U20204234@utp.edu.pe

Abstract- During the years 2013-2023, CO2 emissions to the atmosphere increased by 88% due to the lack of optimal production systems and a low level of awareness about the care of the planet, which is aggravated by climate change, environmental pollution, water scarcity and different factors. In this sense, this systematic review aimed to describe the bibliometric and content aspects regarding Carbon Footprint as a tool for sustainable business development. In this sense, a search was initiated in various scientific databases such as: Scopus, Scielo, Redalyc, among others. For this purpose, the following keywords were used: carbon footprint, environmental analysis, greenhouse gas emissions, agricultural sustainability, environmental impact assessment, environmental impacts, CO2 emissions, greenhouse gases. Subsequently, inclusion and exclusion criteria corresponding to the presence of the study variable in the title, language, year of publication, publication in open Access, type of research, quantitative results of the study, among other criteria were applied. The bibliometric results show that research on carbon footprint is generally published in English (83%) while to a lesser extent it can be identified in Spanish (17%). On the other hand, Scopus, Scielo, Redalyc and Fuente Académica Plus are the databases with the most research on this topic. In terms of content results, tools associated with carbon footprint and the most relevant effects measured in the collected research were identified. Finally, it was concluded that carbon footprint is a critical factor in industries due to the high CO2 emissions present at all times. Companies cannot achieve sustainable business development if their activities have a negative impact on ecosystems. Therefore, awareness and support from all productive sectors must be sought to mitigate the carbon footprint as a sustainability advantage for organizations and society.

Keywords— Carbon footprint, sustainability, sustainable business development, efficiency

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

Huella de Carbono para el desarrollo sostenible empresarial: Una revisión sistemática de la literatura

Guillermo Segundo Miñan-Olivos, Magíster en Gestión Pública¹, Joandri Airton Moreno-Ramos, Estudiante de Ingeniería Industrial², Anny Emilyn Balois-Bonifacio, Estudiante de Ingeniería Industrial³, José Alejandro Legua-Espinoza, Estudiante de Ingeniería Industrial⁴, Leticia Pamela Vera-Chávez, Estudiante de Ingeniería Industrial⁵, Romina Yamilet Vasquez-Salvador, Estudiante de Ingeniería Industrial⁶ y Alex Jesús Narva-Sánchez, Estudiante de Ingeniería Industrial⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c20342@utp.edu.pe, U22219738@utp.edu.pe, U20232447@utp.edu.pe, U22104622@utp.edu.pe, U20232476@utp.edu.pe, U20310992@utp.edu.pe, U20204234@utp.edu.pe

Resumen- Durante los años 2013-2023 se incrementó en un 88% la emisión de CO₂ a la atmósfera por la falta de sistemas productivos óptimos y un bajo nivel de concientización sobre el cuidado del planeta lo cual se agrava por el cambio climático, la contaminación ambiental, la escasez de agua y diferentes factores. En ese sentido, la presente revisión sistemática tuvo como objetivo describir los aspectos bibliométricos y contenido respecto a la Huella de Carbono como herramienta para el desarrollo sostenible empresarial. En ese sentido, se inició con una búsqueda en diversas bases de datos científicas tales como: Scopus, Scielo, Redalyc, entre otras. Para ello se utilizó las siguientes palabras clave: huella de carbono, análisis ambiental, emisiones de gases de efecto invernadero, sostenibilidad agrícola, evaluación del impacto ambiental, impactos ambientales, emisiones CO₂, gases de efecto invernadero. Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión correspondientes a la presencia de la variable de estudio en el título, idioma, año de publicación, publicación en open Access, tipo de investigación, resultados cuantitativos del estudio, entre otros criterios. Los resultados bibliométricos demuestran que las investigaciones sobre huella de carbono se publican generalmente en inglés (83%) mientras que en menor medida se pueden identificar en español (17%). Por otro lado, Scopus, Scielo, Redalyc y Fuente Académica Plus son las bases de datos con mayor cantidad de investigaciones al respecto. En el caso de los resultados de contenido, se identificaron herramientas asociadas a la huella de carbono y los efectos más relevantes medidos en las investigaciones recopiladas. Finalmente, se pudo concluir que la huella de carbono representa un factor crítico en las industrias por las altas emisiones de CO₂ presentes en todo momento. Las empresas no pueden alcanzar un desarrollo sostenible empresarial si sus actividades impactan negativamente en los ecosistemas. Por consecuencia, se debe buscar la concientización y el apoyo de todos los sectores productivos para mitigar la huella de carbono como una ventaja de sostenibilidad para las organizaciones y la sociedad.

Palabras clave— huella de carbono, sostenibilidad, desarrollo sostenible empresarial, eficiencia.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, existen desafíos que afectan continuamente a los países que se preocupan por la sostenibilidad ambiental. Como entidades importantes, las organizaciones empresariales desempeñan un rol esencial en el impulso de la economía, pero las partes involucradas están cada vez más presionadas para lograr menos emisiones de carbono. Sin embargo, en los mercados emergentes, apenas se inclinan por la implementación de nuevas políticas

ambientales, sin tener en cuenta las consecuencias que producen las emisiones excesivas de carbono. Por lo tanto, es fundamental buscar medidas sostenibles para asegurar un sistema que reduzca la huella de carbono y, en última instancia, un futuro sin emisiones de carbono [1].

Por consiguiente, se predice que los consumidores se volverán más conscientes a medida que exijan métodos más sostenibles. Varios países ya han comenzado a desarrollar y ejecutar estrategias de fabricación sostenible. Las naciones están haciendo esfuerzos para ingresar a los mercados internacionales y están compitiendo ferozmente en términos de la sostenibilidad de sus productos, lo que ejerce mucha presión sobre los fabricantes para que utilicen el concepto de fabricación sostenible. Este se define como la producción de bienes utilizando ciertos procesos que utilizan recursos mínimos y energía renovable, tienen un impacto mínimo negativo en el medio ambiente, y son seguros para los humanos y económicamente buenos [2].

Por esta razón, el nivel y la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras pueden lograrse mostrando la necesaria preocupación por el medio ambiente. Por ejemplo, la protección del medio ambiente, de los recursos naturales y la lucha contra los problemas ambientales, los cuales se consideran el paso más importante. Para implementar este objetivo, es necesario mejorar la conciencia ambiental de las personas, fomentando innovaciones y ahorrando recursos [3]. De la misma manera, se requiere que las organizaciones lleven a cabo sus operaciones de manera sostenible y responsable.

Existen diversos avances y esfuerzos en el campo ambiental. La implementación de sistemas de monitoreo ambiental (como la regulación EMAS), se promueve la recopilación de datos más detallados y precisos, lo que ayuda a un uso más eficiente de los recursos. También, el análisis de ciclo de vida (LCA) es una estrategia metodológica ampliamente aceptada que ha demostrado su eficiencia para determinar el desempeño ambiental, oportunidades de mejora y definición de estrategias de sostenibilidad para muchas industrias y empresas [4], reduciendo el impacto ambiental negativo. Todo ello representa un proceso complejo y desafiante para las instituciones de todo el mundo [5].

Asimismo, se puede afirmar que se vive en un mundo más conectado, lo que a su vez ha favorecido la venta de productos y el incremento de su disponibilidad en la mayor parte del

mundo, especialmente con la ayuda de estrategias de distribución y el marketing en línea. Por consecuencia, las cadenas de suministro se han vuelto más complejas y largas para determinados productos. Por esta razón, los impactos ambientales de la cadena de suministro son notables. Por otro lado, el avance tecnológico en otras industrias, como, por ejemplo, el sector construcción, el sector agrícola, el sector maderero, etc., también ha conllevado un alto índice sobre los impactos negativos en su entorno, específicamente, en las categorías de impacto económico y ambiental. Por lo tanto, es fundamental realizar un estudio que evalúe los impactos directos e indirectos de las diversas actividades económicas, ya sean comerciales o industriales. La importancia de dichos estudios radica en analizar las variables ambientales que afectan todos los procesos empresariales [6]. Por todo lo expuesto, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué estudios relevantes se pueden recopilar a partir de una revisión sistemática para evaluar la Huella de Carbono como parte del desarrollo sostenible empresarial?

II. METODOLOGÍA

Primeramente, se sabe que el método PRISMA es una guía de informes diseñada para mejorar la transparencia de las revisiones sistemáticas (SR) y los metaanálisis [7]. Las revisiones sistemáticas con metaanálisis permiten estudiar la eficacia y la seguridad de un informe respecto a otro con un elevado nivel de calidad y rigor indiscutible para así ayudar en la toma de decisiones. Por ello, desde que fue publicada en 2009, alrededor del mundo se encontraron investigadores y autores que han utilizado la declaración PRISMA para planificar, preparar y publicar sus revisiones sistemáticas y metaanálisis. La implantación de la declaración PRISMA parece indicar mejoras en la calidad de la publicación de los métodos y resultados de las revisiones sistemáticas y los metaanálisis [8].

Debido a ello, se recopilaron datos detallados de las revisiones incluidas sobre las características del estudio y las variables significativas para las revisiones rápidas. Así, se utilizó el método PRISMA para evaluar los datos de una mejor calidad [9].

En la última década, los avances en la metodología y la terminología de las revisiones sistemáticas han hecho necesario actualizar la guía. La declaración PRISMA 2020 estaría reemplazando la declaración de 2009 la cual incluye nuevas pautas de informes que reflejan los avances en los métodos para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar estudios, al modificar la estructura y presentación de los ítems se predice que su implementación será más fácil y eficaz [10].

Como primera etapa de la revisión, se han considerado los siguientes puntos del método PRISMA: los criterios de elegibilidad, las fuentes de información, la estrategia de búsqueda y el proceso de selección de los estudios. Las fuentes de información que se consultaron fueron bases de datos tales como: Scopus, Scielo, Redalyc y Fuente académica plus. Respecto a las estrategias de búsqueda, en los campos

Article, Title, Abstract y Keywords se utilizó el término: “Carbon Footprint”, definiendo el rango de fecha 2013-2023. Se realizó la revisión de los registros descargados, los que suman un total de 100; 44 aparecen en idioma español, 55 en idioma inglés y 1 en idioma portugués.

Asimismo, se analizaron indicadores unidimensionales: producción por años, producción autorial y productividad por palabras clave. Por consiguiente, se utilizaron las siguientes palabras clave: huella de carbono, sostenibilidad, huella de agua, impactos ambientales, construcción sostenible, vida de servicio, moldeado de celulosa, bioenergía, cáscara, entre otras.

Una vez que los estudios formaron parte de una búsqueda inicial, se consideraron pautas para incluir y excluir los artículos, los cuales se muestran en la Tabla I:

TABLA I
CRITERIOS APLICADOS PARA LA INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE ESTUDIOS

C1	El título o el resumen contiene una o todas las variables de estudio.
C2	Las palabras clave se asocian a las variables del estudio.
C3	La fecha de publicación corresponde al periodo establecido para la revisión.
C4	El idioma del estudiado corresponde a los idiomas admitidos para la revisión.
C5	El país de la investigación corresponde a la delimitación espacial de la revisión.
C6	El estudio está disponible en su versión completa (open access)
C7	Los resultados del estudio corresponden a una investigación aplicada/empírica del sector estudiado.
C8	El estudio aplica herramientas de ingeniería.
C9	El estudio es aplicado sobre una entidad/organización/empresa.
C10	El estudio presenta resultados o indicadores cuantitativos que demuestran un efecto o impacto replicable.

Nota: Los criterios han sido establecidos según consideraciones de los autores

Para la etapa de resultados, los estudios seleccionados formaron parte de 2 segmentos: un análisis bibliométrico (autor, título, año, idioma, país, palabras clave, filiación institucional) y un análisis de contenido en ingeniería (herramientas asociadas a la huella de carbono).

III. RESULTADOS

Los resultados se dividieron en dos ejes: uno bibliométrico y uno de contenido. Los resultados bibliométricos permitieron describir lo estudios seleccionados mientras que los resultados de contenido permitieron identificar aspectos de ingeniería.

3.1 RESULTADOS BIBLIOMÉTRICOS

En el aspecto bibliométrico, se inició el estudio mostrando cada una de las investigaciones incluidas en la

revisión sistemática. En la Tabla II se puede visualizar los artículos seleccionados:

TABLA II
ARTÍCULOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE HUELLA DE CARBONO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EMPRESARIAL DURANTE EL 2013-2023

Autores	Título de la investigación
Feng et al. (2020) [11]	Inputs for staple crop production in China drive burden shifting of water and carbon footprints transgressing part of provincial planetary boundaries
Lopes et al. (2022) [12]	Methodology for Improving the Sustainability of Industrial Buildings via Matrix of Combinations Water and Carbon Footprint Assessment
Bezerra et al. (2022) [13]	Carbon Footprint of Away-From-Home Food Consumption in Brazilian Diet
Núñez-Cárdenas et al. (2022) [14]	The carbon footprint of stone fruit production: Comparing process-based life cycle assessment and environmentally extended input-output analysis
Bongiovanni, Tuninetti y Garrido (2016) [15]	Huella de Carbono de la cadena de maní de Argentina
Ottelin, Heinonen y Junnila (2018) [16]	Carbon and material footprints of a welfare state: Why and how governments should enhance green investments
Ortega y Dagostino (2014) [17]	La huella de carbono de la observación de ballena jorobada (<i>Megaptera novaeangliae</i>) en las islas Marietas, Nayarit, México.
Mesquita y Carvalho (2023) [18]	The carbon footprint of common vegetarian and non-vegetarian meals in Portugal: an estimate, comparison, and analysis
Solís-Guzmán et al. (2018) [19]	Carbon footprint estimation tool for residential buildings for non-specialized users: OERCO2 project
Polgár (2023) [20]	Carbon footprint and sustainability assessment of wood utilisation in Hungary
Ram et al. (2023) [21]	Does carbon footprint reduction impair mechanical properties and service life of concrete?
Perri et al. (2023) [22]	CO2 Impact Analysis for Road Embankment Construction: Comparison of Lignin and Lime Soil Stabilization Treatments
Chacón et al. (2016) [23]	Scope and management of carbon footprint as a driving force of branding for companies implementing these environmental practices in Colombia
Diken (2023) [24]	Carbon footprint (kg CO ₂ e) expended in the aquaculture: An assessment of concrete pond rainbow trout farming from Türkiye
Ottelin, Heinonen y Junnila (2015) [25]	New Energy Efficient Housing Has Reduced Carbon Footprints in Outer but Not in Inner Urban Areas
Hassard et al. (2014) [26]	Product carbon footprint and energy analysis of alternative coffee products in Japan
Francke y Castro (2013) [27]	Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics
Scrucca et al. (2023) [28]	A simplified methodology for estimating the Carbon Footprint of heat generation by forest woodchips as a support tool for sustainability assessment in decision-making
Ruiz-Ochoa, Rodríguez y Meneses (2020) [29]	Review of emission factors in carbon footprint methodologies in Colombia
Canciano, Valladares y Fernández (2021) [30]	Estimation of the carbon footprint in paper production in Cuba
Abbood, Egilmez y Meszaros (2023) [31]	Multi-region Input-Output-based Carbon and Energy Footprint Analysis of U.S. Manufacturing
Abbood y Meszaros (2023) [32]	Carbon Footprint Analysis of the Freight Transport Sector Using a Multi-Region Input-Output Model (MRIO) from 2000 to 2014: Evidence from Industrial Countries
Costa y Bexiga (2023) [33]	Food portion adequacy and its carbon footprint: Case study from a traditional Portuguese restaurant

La mayoría de los artículos incluidos en la revisión sistemática fueron publicados en el año 2023 obteniendo un máximo de 9 en el año correspondiente. Por otra parte, se identificaron años con valores mínimos en publicaciones (2013,2015 y 2021) tal como se puede visualizar en la Fig. 1.

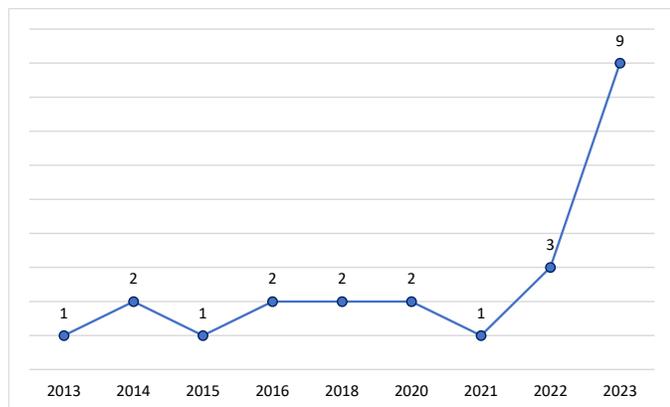


Fig. 1 Artículos incluidos en la revisión sistemática según año de publicación

La mayor parte de publicaciones se recopilaron a partir de estudios ubicados en España, Hungría, con un número de estudios correspondiente a 3, asimismo se puede observar que algunos países como Cuba, Croacia, China y Turquía tienen un mínimo de publicaciones, tal como se puede visualizar en la Fig. 2

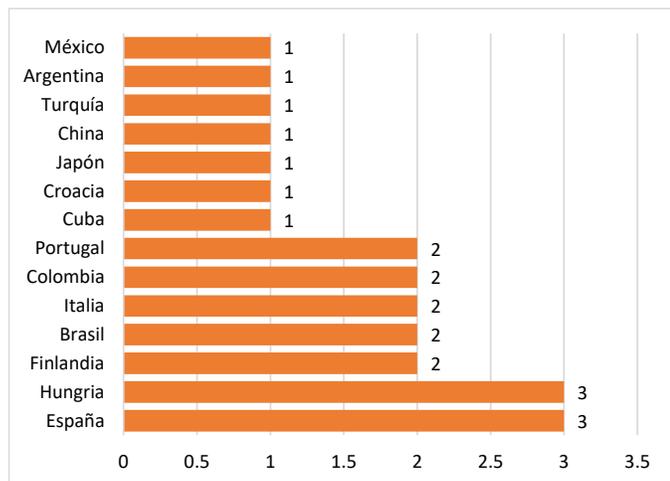


Fig. 2 Artículos incluidos en la revisión sistemática según Países o Región

Según los artículos incluidos encontrados se pudo contabilizar un total de 4 artículos en el idioma español equivalente al 17%, por otro lado, se obtuvieron 19 artículos en el idioma inglés equivalente al 83%, tal como se visualiza en la Fig. 3:

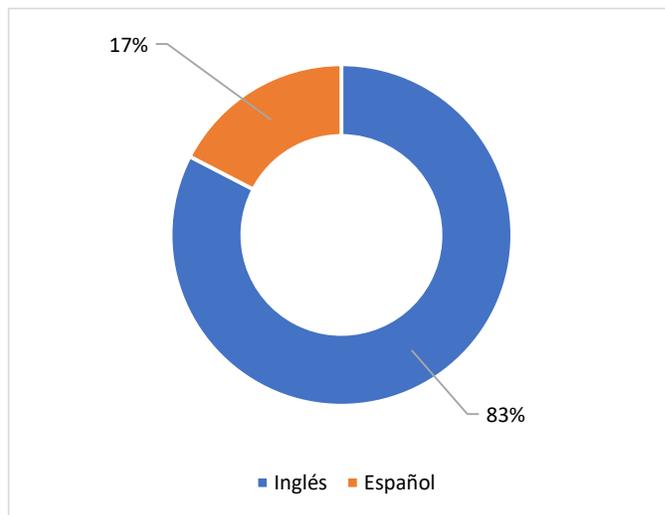


Fig. 3 Artículos incluidos en la revisión sistemática según idioma de publicación

La mayor cantidad de frecuencias encontradas en cuanto a las palabras claves, con respecto a los artículos incluidos, fue Huella de carbono, con una cifra equivalente a 18, seguida de Sostenibilidad con una cantidad de 9 estudios; mientras que el valor mínimo (1) fueron las palabras claves correspondiente a La producción de Cultivo, Análisis Ambiental, Porciones de Comida, Bandeja para huevos, Cáscara y Cemento Bajo en Clinker; tal como se puede observar en la Fig. 4:

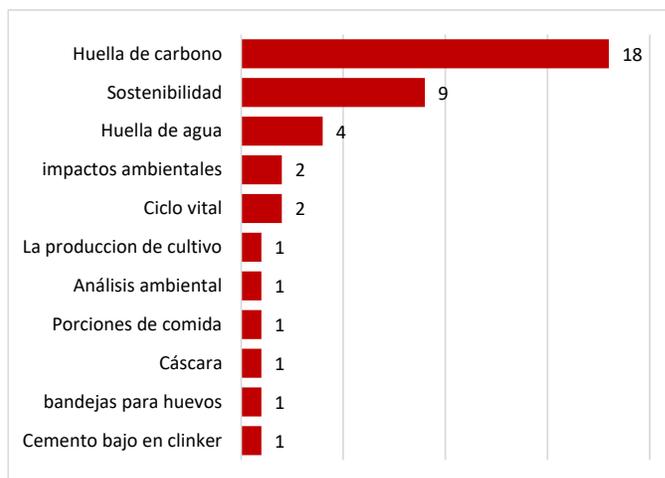


Fig. 4 Artículos incluidos en la revisión sistemática según las palabras claves

Según las revistas donde se publicaron los estudios, se evidenció que la mayor parte (4 artículos) se encontraban alojados en la revista Sustainability (Switzerland), por otro lado, se puede observar revistas de investigación con 2 estudios publicados: Environmental Science and Technology, Environment, Development and Sustainability; tal como se puede ver en la Fig. 5:

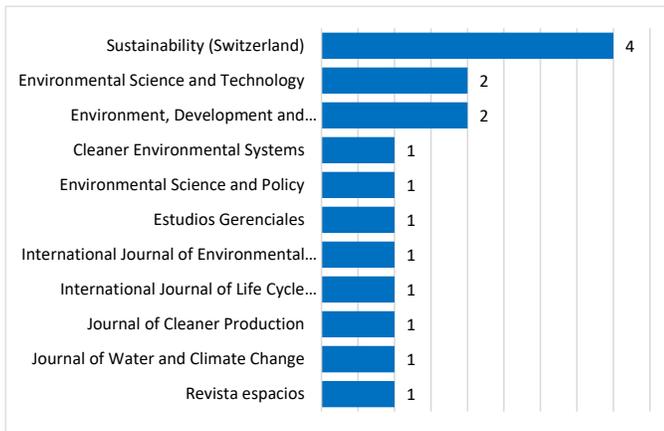


Fig. 5 Artículos incluidos en la revisión sistemática clasificados según revistas científicas

La base de datos con mayor número de publicaciones sobre Huella de Carbono fue Scopus (19 estudios), mientras que Redalyc y Fuente académica plus, tuvieron un estudio cada una, tal como se puede visualizar en la Fig. 6:

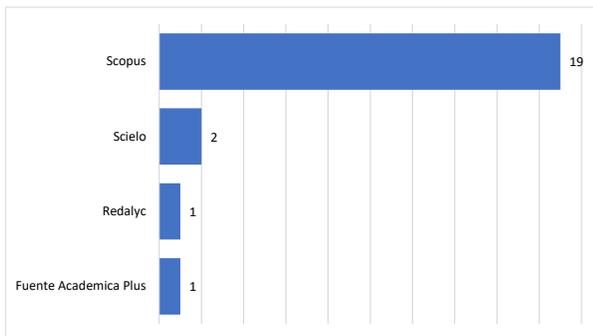


Fig. 6 Bases de datos empleadas para la obtención de los artículos de la revisión sistemática

La filiación principal más utilizada, según los artículos incluidos, fue la University of Seville, Budapest University of Technology and Economics con un total de 2 estudios, mientras que otras instituciones tienen una publicación cada una, tal como se presenta en la Fig. 7:

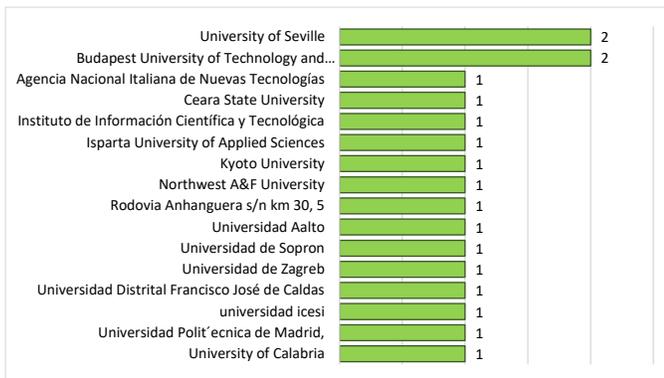


Fig. 7 Filiaciones del autor principal de cada uno de artículos incluidos en la revisión sistemática

3.2 RESULTADOS DE CONTENIDO

De los artículos científicos incluidos y seleccionados para el trabajo de investigación, 5 estudios utilizaron el LCA, el cual sirvió para la estimación de la huella de carbono en las construcciones residenciales. Por otro lado, se tiene la participación del ACV con un total de 3 para la evaluación de los impactos ambientales de una infraestructura desde su inicio hasta el final de la fase de vida. Esto demuestra el impacto de la huella de carbono en las edificaciones en zonas residenciales. En cuanto a los procesos, se soportan en la herramienta de diagnóstico antes mencionada. En la tabla III, se presentan las herramientas de diagnóstico utilizadas en los artículos científicos seleccionados.

La herramienta LCA permitió tener una evaluación de la huella de carbono en los sectores agrícolas, de construcción y edificación, público y alimentario, para así crear una reducción del CO₂. Las cargas ambientales que se generan durante su uso o acción son a un 89% [11, 12, 16, 18 y 19].

Por otro lado, la herramienta ACV (Ciclo de vida) dio a conocer los posibles impactos ambientales desde su origen y magnitud en el sector de construcción y edificación, y así contar con una medición que permita mejorarlos y direccionarlos para una buena toma de decisiones, contando con protocolos que se adhieran no solo en el problema sino también en las consecuencias [22, 25 y 29].

El Software Simapro® 8.0.3 permite obtener una medición de huella de carbono en las etapas de producción primaria y procesamiento industrial en el sector de producción de maní, debido a que estos generan un 38% de calentamiento global de la cadena de maní. Así, se pueden crear formas de reducción de ciertos químicos, de uso en ciertos procesos, otorgándoles sugerencias de mejoras a los productores [17].

El SCM permite evaluar y hacer posible un cambio de materia prima por otra con la finalidad de reducir el 45% sin comprometer la resistencia, el rendimiento y la durabilidad del hormigón en las diferentes actividades que es utilizada, extendiendo la vida útil de las infraestructuras [21].

El software Aqua Manager determina la evaluación de la cantidad de huella de carbono presente en los productos obtenidos para así poder etiquetarlos y evitar la afectación del cambio climático y el calentamiento global. Para su posible regularización, se buscan alternativas de alimentos que no afecten a los valores nutricionales y de desarrollo [24].

Dairy, GHG es otra forma de medir los gases de efecto invernadero. Se estima que el sector agrícola contribuye con un 11% de las emisiones de gases y que, con los cambios climáticos presentes, la metodología PLCA emitió en los cálculos una huella de carbono altamente significativa al no contar con una investigación más profunda y dominio durante su aplicación. Se aborda que se deben tomar medidas de uso de energía renovable para el consumo de insumos agrícolas [14].

El software GaBi Professional es un sistema que permite obtener valores absolutos de la huella de carbono que se emiten al momento de los cortes en el sector maderero,

afectando significativamente los procesos entre el 30% y el 40% [20].

La medición de PCF (Huella de carbono del producto) ayudó en la determinación de la gama amplia de productos de café al proporcionar cuál es el que más genera huella de carbono. Por ende, se concluye que todo proceso de fabricación siempre creará un porcentaje de CO₂, a diferencia de que los consumidores tengan la opción de elegir, aunque no posean conocimiento de lo que se manipula o beneficia [26].

El programa de reducción de carbono de Natura permitió la identificación de un combustible altamente contaminante que emite CO₂ a la atmósfera. En este sentido, se evaluó un cambio por otro elemento y se logró una disminución de 42 veces la huella de carbono, equivalente a un 42%. Así, se mejoraron sus procesos de producción y se promovió una conciencia de cuidado ambiental [27].

El programa Atmósfera se creó con el objetivo de poder obtener valores absolutos de la huella de carbono, para su posible cambio de estrategias por parte de los visitantes y la conservación de los ambientes basados en el turismo con una reducción del 94.1% [17].

El software SimPro fue una herramienta que sirvió para la estimación de la huella de carbono y así saber el análisis de ciclo de vida, donde se visualizarían las variables más relevantes que liberan en exceso el CO₂ a la atmósfera. Se llegó a la conclusión de que la combustión de astilla de madera es el factor más contribuyente al impacto, a excepción de los fertilizantes que tienen un menor impacto [28].

TABLA III

HERRAMIENTAS ASOCIADAS A LA HUELLA DE CARBONO IDENTIFICADAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Herramientas	Nº de Estudios
LCA (Evaluación de ciclo de vida)	6
Ciclo de vida (ACV)	3
Gases de Efecto Invernadero (GEI)	1
Análisis del Ciclo de vida (ACV)	2
Software GaBi Professional	1
Programa Atmosfair	1
Programa de Reducción de Carbono de Natura	1
Materiales cementicios suplementarios (SCM)	1
Software SimPro	1
Software Simapro® 8.0.3	1
Software programs (Aqua Manager)	1
Huella de carbono del producto (PCF)	1
Software Atlas.ti versión 7.5.3.	1
SAS (Software de análisis estadístico)	1
Dairy, GHG (determinación de la Hc)	1

Por otro lado, medir la huella de carbono es importante porque es un indicador ambiental que permite conocer el impacto de diversas actividades asociadas al cambio climático. La huella de carbono representa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se liberan a la atmósfera por medio de un producto, un servicio o una persona. Sin embargo, no solo es importante su medición sino también su reducción significativa.

En ese sentido, la Tabla IV se presentan los estudios que lograron analizar el impacto en la huella de carbono a través de mejoras en la sostenibilidad de recursos, el aumento de productividad o un diagnóstico de las emisiones de CO₂.

En el total de artículos seleccionados, 12 estudios mejoraron aspectos competitivos en cuanto a la sostenibilidad, lo que permitió la reducción de la huella de carbono tanto en las edificaciones como en las comidas más reprocessadas, disminuyendo el consumo del CO₂ en las diferentes acciones de fabricación.

Así mismo, 8 lograron el aumento de la productividad, lo que les permitió reducir los costos económicos de las cargas ambientales con las tecnologías limpias de carbono, otorgándole seguridad alimentaria y fronteriza al aumento del comercio mundial y también alcanzar la mejora de la estrategia de sostenibilidad.

Además, algunos estudios demuestran que las tecnologías limpias mitigarían el impacto ambiental, al reducir hasta el 74% de la huella de carbono, lo que garantiza la seguridad alimentaria libre de reprocessos, y promueve una economía circular baja en carbono, reduciendo un 24% de muertes en todo el mundo, aumentando la capacidad de producción y los costos.

En el sector construcción y edificación se detectaron 164.318 kg CO₂ eq/m de huella de carbono, obtenidos por el software Simapro LCA. Con el fin de poder mejorar y realizar una toma de decisión correcta y sostenible para la reducción del CO₂ en la edificación, se contará con profesionales que, a pesar de no poseer conocimientos de impactos ambientales, incentivarán a los futuros profesionales a poder educarse en ese campo, a pesar de no presentar mucha dificultad que las otras herramientas de cálculo, satisfaciendo las demandas y así reducir la economía circular. Para su clasificación se creó un cuadro comparativo donde se presentan los elementos de mayor a menor impacto, calculados por una fórmula que presentaría los kg CO₂ eq de huella de carbono en unidad con el objetivo de reducir un 74% de CO₂ liberados a la atmósfera. Sin embargo, se debe siempre tener en cuenta el tipo de proyecto de edificaciones y material que se utilizará, dado que cada estructura contiene un rango de 580 a 880 kg CO₂ eq/m² incorporadas en las emisiones de carbono. A pesar de no ser suficiente si no se cuenta con actualizaciones y diseño de tecnología limpias de carbono en los procesos de fabricación y construcción, lo que aumentaría los costos y no sería aceptado por los usuarios. Consecuentemente, las empresas están buscando mejorar sus productos terminados para mitigar la huella de carbono como en el caso del hormigón, donde se tiene como objetivo mejorar el diseño

excesivo del concreto, lo que conllevaría la reducción de la cantidad de cemento y su impacto de carbono [16,19].

Se detectó 4.4 kg CO₂ eq de huella de carbono en los cultivos, dado que las evaluaciones ambientales con respecto a los alimentos son ignoradas en su mayor parte. Las cargas ambientales de producción, comercio y el consumo agrícola representan hasta un 24% de huella de carbono presentes en un cultivo, lo que arroja la gran importancia que se debe tener al gestionar los vínculos de producción y cadena de suministro para el uso adecuado del agua y la reducción de los gases de efecto invernadero del sistema alimentario. Al contar con tecnología de utilización de energía renovable se garantizaría la reducción del 89 %, lo que garantiza la seguridad del ciclo de vida del producto para no obtener emisiones de 1.07 kg CO₂ eq en la refrigeración de las frutas hueso. Al mismo tiempo, la utilización del agua es lo principal de la agricultura y se debe contar constantemente con evaluaciones de impactos ambientales para garantizar la seguridad y un desarrollo adecuado frente al comercio mundial, evitando la escasez del agua [11].

En el sector maderero se detectaron 1137.51 kg CO₂ eq de huella de carbono. De no contar con la participación y mejoramiento de las tecnologías, se tendrían costos adicionales por las emisiones que son liberadas en cada actividad de corte intermedio de madera. Estos fueron detectados por la metodología LCA, llamada análisis de ciclo de vida, que nos otorga una evaluación de los posibles daños medioambientales generados por los cortes intermedios. Se cuenta con una clasificación de álamo híbrido (68.404,0), abeto (98.847,0), roble (309.009,0), haya (323.600,0) y algarroba negra (337.651,0) (en valores de [kg CO₂ eq]). Esto nos permite concientizar y buscar protocolos que se adecuen en las actividades para la reducción de la huella de carbono del (88-98%) generada por cortes intermedios de cada tipo de madera [20]

En el sector de producción de maní se detectó 10.5 kg CO₂ eq generados por no contar con una optimización de sus sistemas de producción, lo que les niega más variedades de producción y una reducción en los sembríos por los altos consumos de combustibles fósiles que incrementan la huella de carbono del maní durante la labranza reducida y la reposición de nutrientes al suelo. Se detectaron las etapas de mayor impacto de 37 y 38%, equivalente a 87 kg y 91 kg de CO₂ eq, sugiriéndose al gas natural como una alternativa de menor impacto y sustitución del GLP. Por ello, en la industria de producción del maní se empezó a utilizar la cáscara como un tipo de combustión para la reducción de las emisiones de CO₂ eq en 196 kg, representando un -83%. En cuanto a los productos elaborados, se concluyó que mientras el envase sea de menor tamaño, mayor será el impacto, superando al producto. Se sugiere que al crearse estrategias y políticas públicas se estaría expandiendo el conocimiento de un medio de transporte más eficaz y reductorio de CO₂, aumentando los costos de transporte y producción, haciendo frente a un mercado comercial más aceptado y diferenciado [15]. Sin embargo, para un mejoramiento de los procesos, se sugiere

que los que no utilizan una esparcidora de semillas dejen de aumentar el impacto y se tendría que realizar nuevamente la huella de carbono de todas las actividades de la industria de producción de maní.

TABLE IV
HALLAZGOS DE LA HUELLA DE CARBONO SEGÚN LOS ARTÍCULOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Hallazgos	Nº Estudios
Medición de huella de carbono	12
Huella de carbono en el sector construcción y edificaciones	4
Huella de carbono en el sector agrícola	1
Huella de carbono en el sector alimentario	1
Huella de carbono en la industria maderera	1
huella de carbono en productos terminados	1
Huella de carbono en la industria papelera	1
Huella de carbono en el sector agricultura	1
Huella de carbono en la industria de manufacturera	1
Reducción de huella de carbono	8
Huella de carbono en el sector construcción y edificación	2
Huella de carbono en el sector agrícola	1
Huella de carbono en el sector alimentario	1
Huella de carbono en el sector público	1
Huella de carbono en la industria maderera	1
huella de carbono en el sector servicio de publicidad	1
huella de carbono en el sector de producción de maní	1
Huella de carbono industria de avistamiento de ballena	1

V. CONCLUSIONES

La huella de carbono es generada por diversos procesos, actividades que se realizan en el mundo y a la vez son beneficios para la sociedad, pero al mismo son factores críticos por la afectación del medio ambiente con sus altas emisiones de CO₂ junto con las inclinaciones de empresas que no se quieren adecuar a nuevas políticas de implementación ambiental.

En ese sentido a través de indicadores, metodologías y software y diferentes tipos de cálculos se obtuvieron datos que contribuyeron a poder realizar una correcta toma de decisión para la implementación de protocolos, seguridad al producto, tecnologías con manejo de energías renovables que permitan la reducción del CO₂ mejorando el hábitat de vida, buscando la concientización de la sociedad y la neutralidad de la huella de carbono.

Por otro lado, se detectaron los sectores más generadores de huella de carbono que son las industrias madereras por los diferentes cortes y el de no participar en el mejoramiento de

sus tecnologías y normas que permitan no solo beneficiar a la empresa y al ciudadano sino también al planeta. Sin embargo, si no se hubiera evaluado la huella de Carbono y mejorado para su reducción, se estaría presentando múltiples impactos y riesgos a la comunidad tales como el colapso de las cosechas y la disminución del agua que es uno de los factores más importante que se deben cuidar y concientizar su uso para mitigar las desapariciones de ecosistemas enteros.

REFERENCIAS

- [1] D. Kannan, R. Solanki, A. Kaul, and P. Jha “Barrier analysis for carbon regulatory environmental policies implementation in manufacturing supply chains to achieve zero carbon” *Journal of Cleaner Production*, vol. 358, no. 1, pp. 1-18, April 2022.
- [2] M. Omair, B. Sarkar, and L. Cárdenas-Barrón “Minimum quantity lubrication and carbon footprint: A step towards sustainability” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 9, no. 5, pp. 1-18, April 2017.
- [3] D. Perkumienė, A. Atalay, and B. Švagždienė “Carbon Footprint Stemming from Ice Sports on the Turkey and Lithuanian Scale” *Energies*, vol. 16, no. 3, pp. 1-18, February 2023.
- [4] R. Puig, E. Kiliç, A. Navarro, J. Albertí, L. Chacón, and P. Fullana-i-Palmer “Inventory analysis and carbon footprint of coastland-hotel services: A Spanish case study” *Science of the Total Environment*, vol. 595, no. 1, pp. 244-254, .
- [5] A. Guerrero-Lucendo, F. García-Orenes, J. Navarro-Pedreño, and D. Alba-Hidalgo “General Mapping of the Environmental Performance in Climate Change Mitigation of Spanish Universities through a Standardized Carbon Footprint Calculation Tool” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 17, pp. 1-24, September 2022.
- [6] K. Abbood, and F. Mészáros “Carbon and energy footprint analysis of Hungarian transportation activities using a multi-region input-output model” *Current Research in Environmental Sustainability*, vol. 5, no. 1, pp. 1-14, January 2023.
- [7] M. Page, and D. Moher “Evaluations of the uptake and impact of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and extensions: A scoping review” *Systematic Reviews*, vol. 6, no. 1, pp. 1-14, December 2017.
- [8] B. Hutton, F. Catalá-López, and D. Moher “La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA -NMA” *Medicina Clínica*, vol. 147, no. 6, pp. 262-266, September 2016.
- [9] S. Kelly, D. Mher, and T. Clifford “Quality of conduct and reporting in rapid reviews: An exploration of compliance with PRISMA and AMSTAR guidelines” *Systematic Reviews*, vol. 5, no. 1, pp. 507-511, May 2016.
- [10] M. Page, [..], D. Moher “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews” *Pan American Journal of Public Health*, vol. 46, no. 112, pp. 1-12, December 2022.
- [11] B. Feng, [..], P. Wu “Inputs for staple crop production in China drive burden shifting of water and carbon footprints transgressing part of provincial planetary boundaries” *Water Research*, vol. 221, no. 1, pp. 1-13, June 2022.
- [12] D. Lopes, C. Rivero-Camacho, D. Rusu, and M. Marrero “Methodology for Improving the Sustainability of Industrial Buildings via Matrix of Combinations Water and Carbon Footprint Assessment” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 22, pp. 1-20, November 2022.
- [13] I. Bezerra, S. Verde, B. Almeida, and C. de Azevedo “Carbon Footprint of Away-From-Home Food Consumption in Brazilian Diet” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 24, pp. 1-9, December 2022.
- [14] P. Núñez-Cárdenas, G. San Miguel, B. Báñales, S. Álvarez, B. Diezma, and E. Correa “The carbon footprint of stone fruit production: Comparing process-based life cycle assessment and environmentally extended input-output analysis” *Journal of Cleaner Production*, vol. 381, no. 1, pp. 1-10, November 2022.
- [15] R. Battistini, F. Passarini, R. Marrolo, C. Lantieri, A. Simone, and V. Vignali “How to Assess the Carbon Footprint of a Large University? The Case Study of University of Bologna’s Multicampus Organization” *Energies*, vol. 16, no. 1, pp. 1-22, December 2022.
- [16] J. Ottelin, J. Heinonen, and S. Junnila “Carbon and material footprints of a welfare state: Why and how governments should enhance green investments” *Environmental Science and Policy*, vol. 86, no. 1, pp. 1-10, August 2018.
- [17] B. Choi, S. Yoo, and S. Park “Carbon footprint of packaging films made from LDPE, PLA, and PLA/PBAT blends in South Korea” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 7, pp. 1-11, July 2018.
- [18] C. Mesquita, and M. Carvalho “The carbon footprint of common vegetarian and non-vegetarian meals in Portugal: an estimate, comparison, and analysis” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 5, no. 10, pp. 1-15, April 2023.
- [19] J. Solís-Guzmán, C. Rivero-Camacho, D. Alba-Rodríguez, and A. Martínez-Rocamora “Carbon footprint estimation tool for residential buildings for non-specialized users: OERCO2 project” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 5, pp. 1-15, April 2018.
- [20] A. Polgar “Carbon footprint and sustainability assessment of wood utilisation in Hungary” *Environment, Development and Sustainability*, vol. 7, no. 12, pp. 1-25, July 2023.
- [21] K. Ram, M. Serdar, D. Londono-Zuluaga, and K. Scrivener “Does carbon footprint reduction impair mechanical properties and service life of concrete?” *Materials and Structures*, vol. 56, no. 1, pp. 1-16, December 2022.
- [22] G. Perri, M. De Rose, J. D. omitrović, and R. Vaiana “CO2 Impact Analysis for Road Embankment Construction: Comparison of Lignin and Lime Soil Stabilization Treatments” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, pp. 1-19, January 2023.
- [23] I. Chacón, A. Pinzón, L. Ortegón, S. Patricia, and R. Berrio “Scope and management of carbon footprint as a driving force of branding for companies implementing these environmental practices in Colombia” *Estudios Gerenciales*, vol. 32, no. 140, pp. 278-289, September 2016.
- [24] G. Diken “Carbon footprint (kg CO2e) expended in the aquaculture: An assessment of concrete pond rainbow trout farming from Türkiye” *Journal of Water and Climate Change*, vol. 14, no. 3, pp. 878-899, March 2023.
- [25] J. Ottelin, J. Heinonen, and S. Junnila “New Energy Efficient Housing Has Reduced Carbon Footprints in Outer but Not in Inner Urban Areas” *Environmental Science and Technology*, vol. 46, no. 16, pp. 9574-9583, July 2015.
- [26] H. Hassard, M. Couch, T. Techa-Erawan, and B. Mclellan “Product carbon footprint and energy analysis of alternative coffee products in Japan” *Journal of Cleaner Production*, vol. 73, no. 1, pp. 310-321, February 2014.
- [27] I. Francke, and J. Castro “Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics” *Water Resources and Industry*, vol. 1-2, no. 1, pp. 37-48, June 2013.
- [28] F. Scrucca, G. Barberio, L. Cutaia, and C. Rinaldi “A simplified methodology for estimating the Carbon Footprint of heat generation by forest woodchips as a support tool for sustainability assessment in decision-making” *Cleaner Environmental Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 1-9, May 2023.
- [29] M. Ruiz-Ochoa, J. Rodríguez, A. Meneses “Review of emission factors in carbon footprint methodologies in Colombia” *Revista Espacios*, vol. 41, no. 47, pp. 74-84, December 2020.
- [30] J. Canciano, M. Valladares, and X. Fernández “Estimation of the carbon footprint in paper production in Cuba” *Instituto de Información Científica y Tecnológica*, vol. 23, no. 4, pp. 430-439, December 2021.
- [31] K. Abbood, G. Egilmez, and F. Meszaros “Multi-region Input-Output-based Carbon and Energy Footprint Analysis of U.S. Manufacturing” *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, vol. 31, no. 2, pp. 91-99, June 2023.
- [32] K. Abbood and F. Meszaros “Carbon Footprint Analysis of the Freight Transport Sector Using a Multi-Region Input-Output Model (MRIO) from 2000 to 2014: Evidence from Industrial Countries” *Sustainability*, vol. 15, no. 10, pp. 1-27, May 2023.

[33] V. Costa and E. Bexiga “Food portion adequacy and its carbon footprint: Case study from a traditional Portuguese restaurant” *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 31, no. 1, pp. 1-3, January 2023.