

Review: Carbon footprint for the climate sustainability of the future

Lazaro-Acero, Heli¹ , Miñano-Colchado, Milagros² , Durán-Bazán, Hernando³ , Calderon-Vera, Alejandra⁴ , Rodriguez-Alday, Jatziri⁵ 

^{1,2,3,4,5} Universidad Tecnológica del Perú, Chimbote, Perú, c20855@utp.edu.pe, u22220959@utp.edu.pe, u222246449@utp.edu.pe, u22209655@utp.edu.pe, u22222305@utp.edu.pe

Abstract– Between the years 2011-2023, there was a notable increase in CO₂ emissions into the atmosphere due to a lack of awareness and technological innovation in favor of the environment, which is annually impacted by climate change, a significant rise in temperature, and various negative factors. Under this premise, the present exhaustive analysis aimed to relate the bibliometric characteristics and content of the Carbon Footprint as a tool to promote sustainability in the business sphere. Thus, a search was done on various scientific databases including Scopus, Redalyc, Dialnet, and Scielo. Keywords used included: Carbon Footprint, climate change, carbon neutral, and CO₂ emissions. Subsequently, inclusion and exclusion criteria were considered regarding study variables such as titles, year of publication, type of research, language, quantitative study results, and publication in open access, among other criteria. Bibliometric results have shown that research on the Carbon Footprint in this case has been published in equal percentages in both English (50%) and Spanish (50%). On the other hand, databases with the highest number of research on the topic are Scopus, Redalyc, Dialnet, and Scielo. In conclusion, the Carbon Footprint represents a significant threat in the industrial sector due to the high amount of CO₂ emissions released into the atmosphere. Organizations and companies are not achieving sustainable development as they continue to impact ecosystems. Therefore, there is a need to promote environmental awareness and cooperation across all production sectors to counteract the Carbon Footprint.

Keywords-- Carbon Footprint, climate change, carbon neutral, CO₂ emissions.

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

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

DO NOT REMOVE

Revisión: Huella de carbono para la sostenibilidad climática del futuro

Lazaro-Acero, Heli¹ , Miñano-Colchado, Milagros ² , Durán-Bazán, Hernando³ , Calderon-Vera, Alejandra⁴ , Rodriguez-Alday, Jatziri ⁵ 
1,2,3,4,5 Universidad Tecnológica del Perú, Chimbote, Perú, c20855@utp.edu.pe, u22220959@utp.edu.pe, u222246449@utp.edu.pe, u22209655@utp.edu.pe, u22222305@utp.edu.pe

Resumen— Durante el periodo del año 2011 hasta el 2023, se evidenció un ascenso en la liberación de dióxido de carbono hacia la atmósfera, debido a la ausencia de conciencia e innovación tecnológica a favor del medio ambiente, que cada año se ve afectada por el cambio climático, aumento considerable de la temperatura y los diversos factores negativos. Bajo esa premisa, el presente análisis exhaustivo contó con el principal propósito de explicar las características bibliométricas y el argumento sobre la huella de Carbono, como, instrumento para fomentar la sostenibilidad en el ámbito empresarial. De este modo, se comenzó con una investigación en repositorios de información científica como: Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc, entre otras. Con ese objetivo, se utilizaron palabras claves: Huella de Carbono, cambio climático, carbono neutro y emisiones Dióxido de carbono (CO₂). Seguidamente, se tuvo en cuenta criterios de inclusión y exclusión respectivos a las variables de estudio títulos, año de publicación, tipo de investigación, idioma, resultados cuantitativos del estudio, publicación en open Access, además de otros criterios. Los datos bibliométricos obtenidos, han demostrado que los estudios realizados sobre la Huella de Carbono en este caso, el porcentaje de las publicaciones es igual tanto en inglés (50%), como en español (50%). Por otro lado, los repositorios con la principal cantidad de investigaciones recolectadas refrenté al tema son Scopus, Redalyc, Dialnet y Scielo. En definitiva, la Huella de Carbono representa un gran peligro en el sector industrial debido a la alta cantidad de emisiones de CO₂ que son expulsadas a la atmósfera. Las organizaciones y empresas no están logrando alcanzar un desarrollo sostenible, ya que siguen afectando a los ecosistemas. Por ende, se busca fomentar la conciencia ambiental y la cooperación de todos y cada uno de los sectores de producción para poder contrarrestar el impacto ambiental generado por las emisiones de carbono.

Palabras clave— Huella de Carbono, cambio climático, carbono neutro, emisiones CO₂.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, la humanidad enfrenta uno de los desafíos más apremiantes de su existencia: la crisis climática, atribuida a las actividades humanas y las elevadas concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto crítico, la huella de carbono adquiere mayor relevancia al presentar una gran cantidad de GEI emitidos por actividades de producción o consumo. Estos factores han tenido un impacto

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

significativo en los gobiernos, empresas y consumidores. Por lo tanto, se busca comprometer a los países a reducir las emisiones por medio de políticas públicas, que fomenten una conciencia ambiental, con el fin de lograr la reducción de la huella de carbono [1].

Por consiguiente, la sociedad moderna, impulsada por un consumo desmedido y una notoria falta por adoptar políticas de desarrollo sostenible, modificar hábitos de vida y fomentar la conciencia ambiental, ha acelerado el cambio climático, evidenciando un aumento constante de las temperaturas, debido a emisiones de gases de efecto invernadero. Este fenómeno amenaza gravemente la sociedad global, manifestándose actualmente en sequías, escasez de alimentos, deshielos y pérdida de la biodiversidad [2]. Incluso, estos factores mencionados anteriormente, han afectado a los alimentos que se importan en ciertos lugares de América Latina, ya que se descubrió el contenido de una huella de carbono significativa [3].

En este contexto, ha aumentado el interés de la sociedad por acelerar e incrementar las acciones para disminuir los efectos del calentamiento global. Por ejemplo, en el último siglo la temperatura en el Perú ha aumentado 0.98°C, siendo 2016, 2019 y 2023 los años más calurosos. Por eso, es esencial disponer de las herramientas adecuadas para aprovechar el potencial de la radiación solar, considerada una opción de fuente renovable e inagotable, con la capacidad de transformarse en energía térmica y eléctrica a través de paneles solares, en favor de la población y el desarrollo sostenible [4].

Por ello, se busca que los gobiernos y las organizaciones, colaboren de manera conjunta y participen en la lucha contra el calentamiento global. Uno de los proyectos de mayor envergadura y más importantes de la Unión Europea, es trazarse un camino claro hacia la neutralidad climática. Por lo tanto, se basan en dos marcos legales: el internacional y el europeo. En el año 2021, se establece un marco para lograr la neutralidad climática, fijando el año 2030 como el año límite para lograr una reducción considerable de GEI. Para poder adaptarnos a estas leyes y cumplir con los requerimientos necesarios es de suma importancia realizar una transformación estructural en todos los ámbitos [5].

Del mismo modo, podemos confirmar que vivimos en un mundo donde el avance tecnológico no se detiene, causando un incremento significativo en la producción, debido a la demanda

del comercio, sobre todo al marketing online. En consecuencia, se debe impulsar la transición climática, a través de políticas regulatorias, fiscales, sociales y estructurales, que incentiven los cambios necesarios para lograr los objetivos. Regular y neutralizar el fenómeno del cambio climático es un reto de gran magnitud, por lo que se necesita realizar un diseño metódico y certero, que requiere la colaboración de todo el mundo (gobiernos, organizaciones y sobre todos los consumidores) [6]. Por todo lo expuesto, se planteó la siguiente interrogante. ¿Qué análisis estratégicos y desafíos deben considerarse al dirigirse hacia la neutralidad de carbono y lograr la sostenibilidad climática?

II. METODOLOGÍA

En primera instancia, el enfoque de PRISMA consiste en fomentar la transparencia y la claridad en la exposición de revisiones sistemáticas, estableciéndose como una herramienta fundamental para elevar los estándares de calidad en las publicaciones dentro de este campo [7].

En definitiva, el progreso en la estrategia empleada en el metaanálisis ha impulsado la necesidad apremiante de renovar la guía correspondiente. PRISMA 2020 es una declaración que se proyecta como la sucesora de la versión de 2009, integrando nuevas guías de informes que reflejen los avances en las técnicas de identificación, selección, evaluación y síntesis de estudios. Anticipamos que la adaptación de la estructura y presentación de los elementos simplificará y optimizará la implementación de estas pautas. Por lo que, se busca que la adopción de esta guía conduzca a la presentación de publicaciones de revisiones sistemáticas más transparentes, completas y precisas. Facilitando así la toma de decisiones basadas en la evidencia [8].

Por ende, los datos fueron recopilados para las revisiones incluidas sobre las particularidades de estudios y las variables fundamentales para las observaciones presurosas. El método Prisma se empleó para obtener resultados más concretos y de mejor calidad en ambas revisiones. [9]

En las últimas décadas se han implementado iniciativas significativas para optimizar los resultados presentados en las revisiones sistemáticas y metaanálisis. En la publicación se desarrollaron nuevos métodos como el metaanálisis en red, lo cual ha contribuido significativamente a mejorar la integridad de los informes. Esta iniciativa ha desempeñado un papel fundamental en elevar los estándares de calidad en la publicación científicas, evidenciando mejoras en la presentación de los métodos y resultados en este tipo de estudios. [10]

Como primera fase de revisión, se abordaron los aspectos fundamentales del método PRISMA, incluyendo los principios de inclusión, los medios de información, la búsqueda de planificación y el procedimiento de elección de los estudios. Se exploraron diversas fuentes, entre las cuales se agregaron bases de datos como Scopus, Scielo, Redalyc y Dialnet. En relación

con las estrategias de búsqueda, se aplicaron términos específicos, como "Carbon Footprint y Climate change", en las áreas de Article, Title, Abstract y Keywords, delimitando un rango temporal entre 2011 y 2023.

Se puso en funcionamiento la evaluación de los registros descargados, los cuales ascienden a un total de 18; de estos, 9 están redactados en español, 9 en inglés.

De igual manera, se examinaron métricas unidimensionales, abordando la producción a lo largo de los años, la producción por autor y la productividad vinculada a palabras clave. En consecuencia, se emplearon términos específicos como huella de carbono, sostenibilidad, emisiones CO₂, greenhouse gas emisiones, inventario de emisiones, efecto ecosistema, agroforestry systems, entre otros, para llevar a cabo dicho análisis.

Después, de agregar los estudios en la búsqueda preliminar, se aplicaron criterios definidos para la inclusión y exclusión de los artículos, detallados en la Tabla I.

TABLA I
PAUTAS APLICADAS PARA LA INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE INVESTIGACIONES

C1	Las variables de estudio contienen el resumen y el título de la investigación.
C2	Los términos claves están asociadas a diversas variables de la investigación.
C3	La fecha de la presentación pertenece al plazo fijado para la comprobación.
C4	El lenguaje del alumno corresponde a los idiomas considerados por la admisión.
C5	El país bajo el análisis de estudio corresponde a la delimitación espacial de la cláusula de revisión.
C6	La versión completa del estudio está disponible. (Open Access)
C7	Los resultados de la investigación representan una investigación empírica aplicada del campo investigado.
C8	Este estudio aplica herramientas de ingeniería.
C9	El estudio se aplica sobre una entidad/organización/empresa.
C10	Este estudio presenta resultados cuantitativos y métricas que demuestran efectos e impactos reproducibles.

Nota: Los criterios se determinaron según el resultado del análisis minucioso de los autores.

En la fase de resultados, los estudios elegidos fueron categorizados en dos componentes distintos: Primero un análisis bibliométrico que abarcó aspectos como (autor, título, año, idioma, país, el vocablo clave, afiliación institucional); Segundo el análisis de contenido técnico específico de los artículos que se ha incluido, centrándose en (herramientas relacionadas con la neutralidad de carbono).

III. RESULTADOS

Los productos y resultados se clasificaron en las siguientes categorías: uno relacionado con la bibliometría y otro con el contenido. Los hallazgos bibliométricos proporcionaron una descripción de los estudios seleccionados, mientras que los resultados de contenido nos permiten identificar aspectos vinculados a la ingeniería.

A. Resultados Bibliométricos

Desde una perspectiva bibliométrica, se inició el análisis presentando cada uno de los estudios incluidos en la revisión sistemática. La Tabla II ofrece una visión general de los artículos seleccionados que han sido utilizados para realizar la revisión sistemática.

TABLA II
DOCUMENTOS ANALIZADOS EN EL ESTUDIO DE HUELLA DE CARBONO PARA LA PROMOCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD CLIMÁTICA EN EL PERIODO DE 2011 A 2023

Autores	Título de la investigación
Yang et al. (2023) [11]	Mechanism and Impact of Digital Economy on Urban Economic Resilience under the Carbon Emission Scenarios: Evidence from China's Urban Development.
Brodny y Tukak (2023) [12]	Assessing the Energy and Climate Sustainability of European Union Member States: An MCDM-Based Approach.
Vázquez et al. (2022) [13]	Lifecycle carbon footprint: the case study of the electricity use in Puebla, Mexico.
Hessen y Vandvik (2022) [14]	Buffering Climate Change with Nature.
Hernández et al. (2022) [15]	Evaluación de la huella de carbono de vehículos con motor eléctrico y de combustión interna según la matriz energética de Ecuador: Caso de estudio KIA Soul vs KIA Soul EV.
Tutak et al. (2021) [16]	Assessing the level of energy and climate sustainability in the European Union countries in the context of the European.
Sovacool et al. (2021) [17]	Global sustainability, innovation, and governance dynamics of national smart electricity meter transitions.
Mairura et al. (2021) [18]	Determinants of farmers' perceptions of climate variability, mitigation, and adaptation strategies in the central highlands of Kenya.
Furszyfer et al. (2021) [19]	Culture, energy and climate sustainability, and smart home technologies: A mixed methods comparison of four countries.
Cámara y Martínez (2020) [20]	Hacia una economía baja en carbono: objetivos para 2030 en energías renovables.
Ceccon y Gómez (2019) [21]	Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas.
Gómez et al. (2016) [22]	Propuesta de plan de acciones para alcanzar la carbono-neutralidad en la Cruz Roja Costarricense del Comité Auxiliar en San Vito.
Ferrelli y Piccolo (2016) [23]	Propuesta sostenible para mitigar los efectos climáticos adversos en una ciudad costera de Argentina.

Chavarría et al. (2016) [24]	Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo.
Umaña y Pulgarín (2013) [25]	Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falan, Tolima.
Stanton (2012) [26]	The tragedy of maldistribution: Climate, sustainability, and equity.
Felicitas (2011) [27]	Medir el Carbono.

La revisión sistemática (SR) se enfocó principalmente en los artículos publicados en los años 2021 y 2022, alcanzando su punto más alto con un máximo de 8 publicaciones en total en dicho periodo específico. Asimismo, se observaron años con niveles mínimos de publicaciones, destacando los años (2011, 2012, 2013, 2019 y 2020), como se ilustra gráficamente en la Fig. 1.

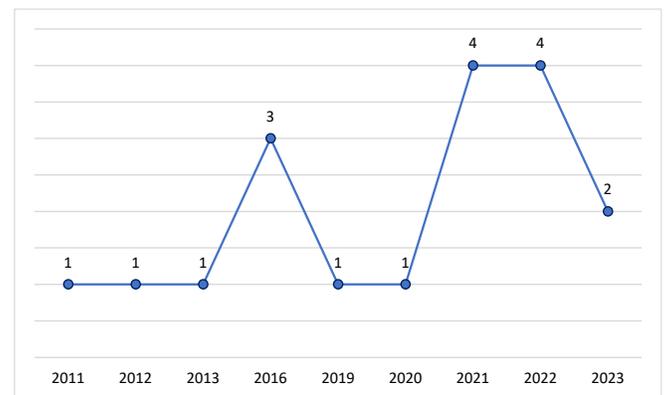


Fig. 1 Documentos considerados en el análisis sistemático clasificados por año de publicación.

La mayor parte de los documentos fueron obtenidos de investigaciones realizadas en España, Costa Rica, Polonia, Reino Unido y Argentina, sumando un total de 2 estudios cada uno de los países mencionados, de esto se puede inferir el interés que tienen por el tema a investigar. Por otro lado, se observa que países como Noruega, México, Kenia, Estados Unidos, Ecuador, Cuba, Colombia y China tienen una cantidad mínima de publicaciones, tal como se muestra en la Fig. 2.

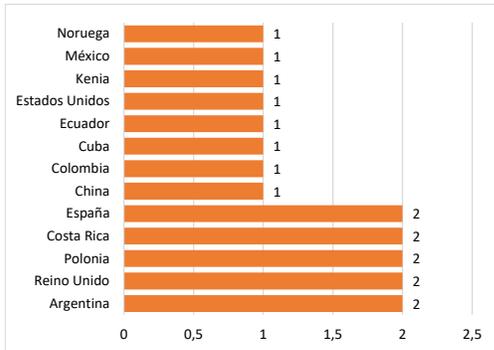


Fig. 2 Estudios considerados en el análisis sistemático categorizados por países

En la Fig. 3, según los documentos seleccionados, se detectaron un total de 18 estudios en los dos idiomas considerados, siendo el 50% del total cada uno.

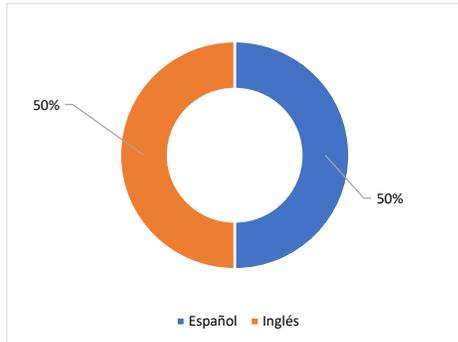


Fig. 3 Investigaciones consideradas en el análisis sistemático clasificadas por el idioma de publicación.

La palabra clave que se encontró con mayor frecuencia en los artículos incluidos fue "Cambio Climático", con un total de 15 menciones, seguida de "Sostenibilidad", con 12 menciones. A diferencia de las palabras claves "Economía del Clima" y "Métodos MCDM" tuvieron la frecuencia mínima, con solo 2 menciones cada una. Esto se puede apreciar en la Fig. 4:

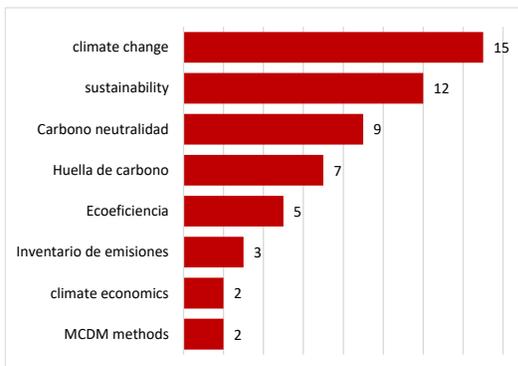


Fig. 4 Artículos incluidos en la revisión sistemática según las palabras claves

Uno de los repositorios con la mayor cantidad de estudios sobre emisiones de carbono fue Scopus (12 investigaciones), mientras que Redalyc, Dialnet y Scielo Plus realizaron dos investigaciones cada uno, según se ilustra en la Fig. 5.

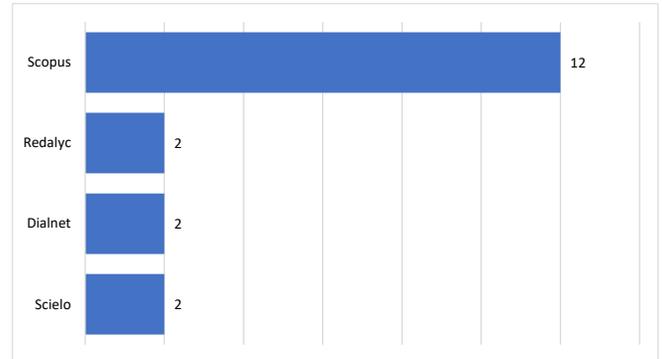


Fig. 5 Fuentes confiables empleados para la recopilación de documentos en la revisión sistemática.

Las instituciones más recurrentes entre los artículos seleccionados fueron la Universidad Nacional de Costa Rica, la Universidad de Tecnología de Silesia y la Universidad de Sussex, cada una con un total de 2 estudios. En contraste, otras instituciones han realizado una única publicación, como se detalla en la Fig. 6.

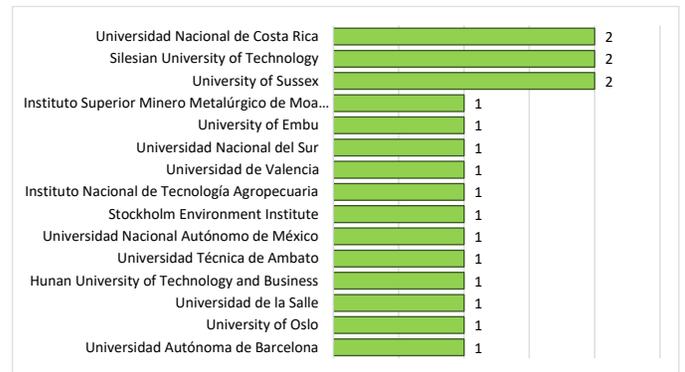


Fig. 6 Instituciones asociadas al autor principal de cada uno de los estudios considerados en la revisión sistemática.

B. Resultados de Contenido

Dentro de la compilación de documentos científicos seleccionados para la investigación, se identificó que dos estudios hicieron uso del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para el peritaje de las emisiones de carbono, específicamente en las áreas de producción de vidrio y energético. Además, se registró la utilización de la Herramienta de evaluación para malezas (WRA) en una ocasión para la evaluación de la recuperación de servicios ambientales. Este hecho destaca la notable importancia de la restauración y recuperación de ecosistemas. En cuanto a los procedimientos, estos se respaldaron en las herramientas de diagnóstico ya

mencionadas. La Tabla III proporciona una descripción detallada de las herramientas de evaluación utilizadas en las reseñas científicas seleccionadas. Mediante el uso de la herramienta del IPCC, se logró efectuar el cálculo de las emisiones de carbono. Adicionalmente, se conoció que la incertidumbre vinculada al factor de emisión es relativamente reducida, oscilando entre el 1 % y el 3 % [20].

Por otro lado, la herramienta WRA desempeña un papel fundamental en proyectos de restauración productiva y en la recuperación de servicios ambientales; la evidencia actual resalta su importancia en la rehabilitación de ecosistemas degradados y su capacidad para desempeñar funciones ecológicas clave [21].

La herramienta Directriz – Presión – Estado – Impacto - Respuesta (DPSIR) se empleó con el propósito de desarrollar una propuesta destinada a atenuar los impactos climáticos adversos [23].

El Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) esta herramienta permitió la toma de conciencia sobre los impactos negativos originados, considerando medidas ambientales de prevención, mitigación y restauración [24].

La IPCC se creó con el fin de proporcionar una evaluación continua del cambio climático a nivel global, así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 55% en corto plazo y un tiempo más prolongado llegar a la neutralidad climática [5].

La herramienta de Evaluación Proporcional Compleja (COPRAS) es una técnica creada para evaluar y categorizar los países de la UE en términos de su desarrollo energético y climático sostenible [16].

El Sistema Agroforestal (SAF) es una práctica utilizada en la agricultura, que contribuye a la conservación del suelo y agua. Esta estrategia contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono, al mismo tiempo que fomenta una biodiversidad más diversa [25].

La Curva Ambiental de Kuznets (EKC) plantea que existe una relación invertida entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental, es decir, que todo crecimiento económico se está traduciendo en un mayor deterioro ambiental [26].

El software de Lectura Automática de Medidores (AMR) tiene como fin recopilar información de los medidores de agua, luz, gas u otros recursos. Esta propuesta avanzada capitaliza la tecnología para no solo optimizar la eficiencia del proceso, sino también para minimizar posibles fallos [17].

Asimismo, la herramienta de Agricultura Climáticamente Inteligente (ASAC), se integró para poder gestionar los usos que se realizaban de la tierra agrícola, incluida la producción de cultivos, con el fin de abordar múltiples riesgos que estén asociados con la seguridad alimentaria y el cambio climático [18].

Mediante la utilización de la herramienta de Evaluación del Ciclo de Vida Económico (EIO) se logró determinar el uso de

electricidad entorno a sus 80 sectores que se encuentran en Puebla, México [13].

Respecto a los problemas relacionados entorno al desarrollo económico sostenible, se utilizó la herramienta de Toma de Decisiones con Criterios Múltiples (MCDM), la cual permitió evaluar a los países de la UE-27 en términos de sostenibilidad energética y climáticas [12].

La herramienta de medición de Huella de Carbono (HC) se encarga de cuantificar los gases de efecto invernadero asociadas a un proceso productivo [27].

La Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) tiene como fin analizar la situación en la que se encuentra la biodiversidad y los múltiples servicios ecosistémicos que la naturaleza brinda a nivel global [14].

La herramienta Well-To-Wheel (WTW) tiene la iniciativa de tomar medidas tecnológicas, emergentes y sostenibles para minimizar el impacto de la transportación humana en el entorno que nos rodea. Para ello, el vehículo es analizado desde la extracción y producción de materia prima [15].

El instrumento Matriz inventario de datos-base para determinación de CO₂, recopila y sistematiza información importante para calcular las emisiones de CO₂ asociados a diversos procesos [22].

El Sistema energético inteligente (STH) se diseñó para reducir las emisiones de CO₂, con la ayuda de este software se puede garantizar un uso eficiente de la energía y poder lograr una sostenibilidad energética a gran escala [19].

TABLA III
INSTRUMENTOS VINCULADOS A LA HUELLA DE CARBONO IDENTIFICADOS EN EL ESTUDIO SISTEMÁTICO

Herramientas	Nº de Estudios
IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático)	2
ASAC (Agricultura Climáticamente Inteligente)	1
Matriz inventario de datos-base para determinación de CO ₂	1
MCDM (Toma de Decisiones con Criterios Múltiples)	1
IPBES (Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas)	1
WRA (Herramienta de evaluación para malezas)	1
AMR (Lectura Automática de Medidores)	1
DPSIR (Directriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta)	1
EIO (Evaluación del Ciclo de Vida Económico)	1
PGAI (Programa de Gestión Ambiental Institucional)	1
HC (Huella de Carbono)	1
COPRAS (Evaluación Proporcional Compleja)	1
WTW (well-to-wheel)	1
SAF (Sistemas Agroforestales)	1
EKC (Curva Ambiental de Kuznets)	1

En esta investigación, se analizaron detalladamente las emisiones de CO₂ asociadas con diversas materias primas, como Carbonato de Calcio (CaCO₃) y Carbonato de Sodio (Na₂CO₃), traducéndose en toneladas específicas de CO₂. En 2017, se registraron 260.32 toneladas de CO₂ relacionadas con

el consumo de gas y electricidad, siendo el 75% de estas emisiones atribuibles al consumo de combustible. La producción de vidrio contribuyó mínimamente, con solo 0.12 toneladas de CO₂. Además, se identificó un consumo de 804.46 toneladas de CO₂ en gas natural. En 2013, el 8% del consumo eléctrico representó el 43% del uso total de energía. A nivel nacional, el sector de extracción de petróleo y gas mostró una intensidad de emisiones de 613 kg CO₂, mientras que, en Puebla, el sector Alimentos y Bebidas presentó una intensidad de 84 kg CO₂. Se observó un aumento significativo del 211% en el consumo de energía renovable en la UE-27, destacándose el sector del transporte con un incremento del 410%. También, se logró mejorar la eficiencia energética con reducciones del 15% en el consumo medio de energía primaria y del 10% en el consumo final per cápita. El estudio resaltó la estrecha relación entre las emisiones directas en Puebla, en los 80 sectores económicos, y la intensidad del consumo eléctrico en sus cadenas de producción, identificando estrategias de mitigación centradas en mejorar la eficiencia en el uso de la electricidad. En movilidad, se destacó que un Vehículo Eléctrico de Baja Emisión (VEB) genera 63.14 CO₂ por km, frente a los 236.16 CO₂ por km generados por un Vehículo de Motor de Combustión Interna (VMCI). Aunque representan el 27% de las emisiones de CO₂, aumentar la presencia de Vehículos eléctricos de baja emisión (VEBs) contribuiría significativamente al cambio de la matriz energética y a la descarbonización del país. En términos de mitigación, se utilizó un método que indicó que descarbonizar la matriz eléctrica en un 35% para 2024 sería insuficiente para alcanzar las metas de reducción del 22% para 2030 y del 50% para 2050. Esto destaca la necesidad de estrategias más ambiciosas, considerando herramientas como IPCC para calcular la huella de carbono, EIO para determinar el uso de electricidad, MCDM para la toma de decisiones, y WTW para evaluar las emisiones de carbono [12, 13, 15 y 20].

Se realizó un seguimiento del progreso en la implementación de la estrategia de desarrollo sostenible de la UE para actividades energéticas y climáticas modernas. Como resultado, la Unión Europea (UE) está llevando a cabo una serie de acciones significativas para mejorar el medio ambiente. En particular, se incluyó la metodología COPRAS como un enfoque para desarrollar indicadores que faciliten una evaluación más objetiva de los cambios logrados en el desarrollo sostenible en términos de energía y clima. Se identificaron países con los mejores resultados, como Suecia, Dinamarca, Francia, Austria, Polonia y Bulgaria, con el objetivo de aprovechar su experiencia [16].

Se ha destacado de manera clara la necesidad de incorporar medidas o estrategias que aprovechen los diversos usos del suelo para la captación y secuestro de carbono presente en la atmósfera. Se evaluaron diferentes cultivos, como el cacao, aguacate y plátano, que demostraron tanto fijación como emisión de carbono. En contraste, se observó que el maíz y la

caña de azúcar emitieron cantidades significativas de GEI, debido al uso intensivo de fertilizantes nitrogenados. Lo cual se integró la herramienta SAF para fijar carbono en la biomasa vegetal, mitigando gases de efecto invernadero y reduciendo la huella de carbono [25].

La evaluación de la efectividad de los medidores inteligentes en la reducción de la huella de carbono presenta resultados mixtos, destacando su impacto positivo en programas subnacionales de países como Estados Unidos, China, Canadá, la Unión Europea, Japón e India. Con 102 programas analizados, abarcando el 52% de aproximadamente 1.400 millones de hogares, se proyecta la instalación de otros 700 millones de medidores. El crecimiento exponencial de 23.5 millones en 2010 a más de 729 millones en 2019 refleja su sólida presencia en los diez mayores mercados eléctricos del mundo. El impacto positivo en programas subnacionales destaca la necesidad de optimizar la implementación de medidores inteligentes para maximizar su contribución a la reducción de la huella de carbono a nivel global. Diseñando la herramienta AMR para modernizar y mejorar la gestión de datos de consumo de energía [17].

En el sector de caracterización se detectó que la huella de carbono fue del 22% entre 2012-2014, entre ellos destaca un incremento en la población institucional en un 20,4% factores relacionados directamente a la universidad. El uso de Gas licuado de petróleo (GLP) en los servicios de alimentación ha aumentado en un 88%, y hay un aumento del 84.5% en las emisiones de CO₂ debido al consumo eléctrico. De la misma forma, hay un incremento del 43.5% en las emisiones de gases de efecto invernadero debido a viajes aéreos no controlables. Por este motivo, surgió la necesidad de elaborar un manual de buenas prácticas ambientales, para tener una mejor gestión del cambio climático y adquirir en un corto plazo la carbono neutralidad [24].

Se ha podido observar que la variabilidad climática ha aumentado de manera abrupta, debido a las emisiones globales de GEI, llegando a afectar la producción agrícola. Por ello, surge la necesidad de idear nuevas estrategias como la adaptación de tecnologías agrícolas inteligentes, para hacer frente a toda esta problemática y aumentar la productividad agrícola [18].

Se detectó que en estos últimos años más del 75% de las áreas terrestres se han visto afectadas por las actividades humanas y que hubo aumentos de temperatura de 1,5°-4,5°C lo que arroja la gran importancia de proteger los ecosistemas intactos y restaurar ecosistemas degradados estrategias fundamentales y efectivas como medidas de adaptación preventiva al cambio climático [14].

En el sector de gestión se ha priorizado la creación de sistemas integrados que propicien la reducción de la huella de carbono, siendo una estrategia clave para promover producciones más limpias y ecoeficientes [22].

En cuanto a la reducción de impacto y transformación se implementó el método DPSIR con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de la población, siendo aplicada de manera sencilla no solo en ese sector sino en las ciudades de todo el mundo [23].

Se introdujo un enfoque de estilo de vida positivo en sostenibilidad para que los consumidores reconozcan que la adopción de tecnologías inteligentes para el hogar STH puede ser compatible con el medio ambiente. Estas inversiones han buscado construir una red más resistente, reducir las emisiones de CO₂, mejorar la gestión de la energía, desarrollar modelos comerciales innovadores, facilitar la integración de fuentes de energía renovable en la red y establecer un sistema de energía más flexible. Por ejemplo, algunas tecnologías son comúnmente etiquetadas como sostenibles debido a funciones como retroalimentación personalizada o servicios de automatización específicos que regulan el consumo de energía, como Home Away o Eco Mode, características ofrecidas por Google Nest. De hecho, Google Nest afirma que los consumidores pueden ahorrar, en promedio, entre un 10-12% en el consumo de calefacción y un 15% en el consumo de refrigeración. Esto es especialmente relevante en países como EE. UU., Reino Unido, Medio Oriente (EAU) y Japón, donde se están implementando sistemas de gestión de energía para el hogar [19].

TABLE IV
HALLAZGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN LOS ARTÍCULOS INCLUIDOS
EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Etiquetas de fila	Nº Estudios
Identificación	15
Cantidades de CO ₂	10
Pacto verde Agenda 2030	3
Fijación de CO ₂	2
Medición	4
Medidores inteligentes	4
Caracterización	2
Cantidades de CO ₂	2
Adaptación	1
Fertilidad del suelo	1
Estructuración	1
Planificación ambiental	1
Gestión	1
Desarrollo de capacidad y compromiso	1
Mitigación y mejora de la calidad de vida	1
Reducción de impacto y transformación	1
Estilo de vida ambiental	1
Integración de Sostenibilidad en la Adopción de STH	1

IV. CONCLUSIONES

El aumento de emisiones de CO₂ tiene un impacto significativo en la sociedad, intensificando los efectos del calentamiento global y el cambio climático. Estos fenómenos se están manifestando en sequías, escasez de alimentos, deshielos y pérdida de la biodiversidad, entre otros efectos que disminuyen la calidad de vida. Además, se ha descubierto que

ciertos alimentos importados desde América Latina contienen una huella de carbono significativa, lo que afecta la seguridad alimentaria de la población. Por lo tanto, es esencial tomar medidas para reducir la huella de carbono y mitigar los efectos del cambio climático.

Este trabajo, no solo ha profundizado en la comprensión actual de las revisiones sistemáticas sobre huella de carbono y sostenibilidad, sino que también ha establecido un estándar elevado en la aplicación de metodologías actualizadas y una atención meticulosa a los detalles. Al seguir la guía fundamental de PRISMA, hemos logrado generar conocimientos más nítidos y precisos. Este enfoque riguroso no solo fortalece la validez de nuestros resultados, sino que también allana el camino para una toma de decisiones fundamentada en la evidencia entre la ingeniería y la sostenibilidad.

Por otra parte, la diversidad de herramientas analizadas en este estudio subraya la necesidad imperativa de una perspectiva integral y colaborativa. La aplicación estratégica de estas herramientas no solo enriquece nuestra comprensión de los impactos ambientales, sino que también sienta las bases para decisiones y políticas más informadas. Al integrar estos enfoques en la toma de decisiones, podemos forjar un camino sólido hacia un desarrollo económico sostenible, asegurando la preservación duradera de nuestros valiosos ecosistemas.

Finalmente, se ha identificado que el STH a pesar de sus numerosos beneficios, no ha tenido aún buenos resultados. Esto se atribuye principalmente a la necesidad de disponer de una sociedad actualizada, especialmente en lo que respecta a su mentalidad y accionar. Por ello, al evaluar la huella de carbono se pudo apreciar que los resultados no fueron óptimos. Considerando la opinión de los autores, llegamos a la conclusión de que, una huella de carbono óptima se basa en el equilibrio entre las necesidades humanas y la preservación del medio ambiente. Esto implica reducir las emisiones de GEI tanto como sea posible, sin comprometer el bienestar humano y económico a largo plazo. Es importante destacar que alcanzar una huella de carbono óptima es un proceso continuo y multifacético que requiere la colaboración de diversos sectores, incluyendo el gobierno, la industria, la academia y la sociedad civil.

REFERENCIAS

- [1] C. Espíndola and J. Valderrama, "Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas," *Información tecnológica*, vol. 23, no.1, pp. 163-176, December 2011.
- [2] M. Paricahua Choque, "Cambio climático y desarrollo sostenible," *Revista Latinoamericana Ogmios*, vol. 1, no. 1, pp. 82-90, June 2021.
- [3] A. Frohmann and X. Olmos, *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*, Cepal, 2013.
- [4] B. Frauberth, J. Julcahuanga and M. Reyna, *Comportamiento de la energía solar en función de la calidad ambiental*, SC. Ed. da UnC, 2021.
- [5] K. Zambrano and C. Garcia, "El camino de la Unión Europea hacia la neutralidad climática: retos de la transición energética y ecológica tras el Pacto Verde Europeo" *Quaderns IEE*, vol. 1, no. 1, January 2022.

- [6] L. Dormido, I. Garrido, P. Fallois and J. Santillán, *El cambio climático y la sostenibilidad del crecimiento: iniciativas internacionales y políticas europeas*, Madrid, 2022.
- [7] G. Urrútia and X. Bonfill “Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis,” *Medicina Clínica*, vol. 135, no. 11, pp. 507-511, October 2010.
- [8] J. Page, [...], D. Moher, “Declaración prisma 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas,” *Revista Española de Cardiología*, vol. 74, no. 9, pp. 790-799, September 2021.
- [9] S. Kelly, D. Moher, and T. Clifordm, “Quality of conduct and reporting in rapid reviews: An exploration of compliance with PRISMA and AMSTAR guidelines,” *Systematic Reviews*, vol. 5, no. 1, pp. 1-19, May 2016.
- [10] B. Hutton, F. López and D. Moher, “La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorpora metaanálisis en red: PRISMA-NMA,” *Medicina Clínica*, vol. 147, no. 6, pp. 262–266, March 2016.
- [11] S. Yang, A. Razzaq, S. Enfarnian and A. Abbas, “Mechanism and Impact of Digital Economy on Urban Economic Resilience under the Carbon Emission Scenarios: Evidence from China’s Urban Development,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 20, no. 5, pp. 1-20, March 2023.
- [12] J. Brodny and M. Tutak, “Assessing the Energy and Climate Sustainability of European Union Member States: An MCDM-Based Approach,” *Smart Cities*, vol. 6, no. 1, pp. 339-367, January 2023.
- [13] I. Vázquez, C. Madrid, A. Chávez and A. Villalba, “lifecycle carbon footprint: the case study of the electricity use in Puebla, Mexico,” *Rev. Int. Contam. Ambient*, vol. 38, pp. 199-217, November 2022.
- [14] D. Hessen and V. Vanvick, “Buffering Climate Change with Nature,” *Sustainable Climate Change Adaptation*, vol. 14, pp. 439-450, April 2022.
- [15] J. Hernández, R. Fernández, A. Mora and J. Alvarado, “Evaluación de la huella de carbono de vehículos con motor eléctrico y de combustión interna según la matriz energética de Ecuador: Caso de estudio KIA Soul vs KIA Soul EV,” *Novasineria*, vol. 5, no. 2, pp. 58-75, July 2022.
- [16] M. Tutak, J. Brodny and P. Brindzár, “Evaluación del nivel de sostenibilidad energética y climática en los países de la Unión Europea en el contexto de la Estrategia y Agenda 2030 del Pacto Verde Europeo,” *Energies*, vol. 14, no. 6, pp. 1-32, March 2021.
- [17] B. K. Sovacool, A. Hook, S. Sareen y F. W. Geels. “Dinámica global de sostenibilidad, innovación y gobernanza de las transiciones de los contadores eléctricos inteligentes nacionales,” *Global Environmental Change*, vol. 68, pp. 1-25, May 2021.
- [18] F. Mairura, [...], K. Ngetich, “Determinantes de las percepciones de los agricultores sobre la variabilidad climática, la mitigación y las estrategias de adaptación en las tierras altas centrales de Kenia,” *Weather and Climate Extremes*, vol. 34, pp. 1-14, December 2021.
- [19] D. Furszyfer, K. Sovacool and S. Griffiths, “Culture, energy and climate sustainability, and smart home technologies: A mixed methods comparison of four countries,” *Energy and Climate Change*, vol. 2, pp. 1-19, December 2021.
- [20] J. Canciano, M. Reinoso, A. Hernández, M. Núñez y L. Ramírez, “Estimación de la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba,” *Minería y Geología*, vol. 36, no. 4, pp. 428-440, December 2020.
- [21] E. Ceccon y P. Gómez. “Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas,” *Revista Biología Tropical*, vol. 67, no. 4, pp. 679-691, September 2019.
- [22] J. Gomez, M. Murrell, K. Vetrani and L. Bermúdez. “Propuesta de plan de acciones para alcanzar la carbono-neutralidad en la Cruz Roja Costarricense del Comité Auxiliar en San Vito,” *Ciencias Ambientales*, vol. 49, no. 2, pp. 25-42, January 2016.
- [23] F. Ferrelli y M.C Piccolo, “Propuesta sostenible para mitigar los efectos climáticos adversos en una ciudad costera de Argentina,” *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, vol. 36, no. 2, pp. 281-306, July 2016.
- [24] F. Chavarría, Ó. M. Molina, R. Gamboa y J. Rodríguez, “Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014. Rumbo al carbono neutralidad,” *Uniciencia*, vol. 30, no. 2, pp. 47-62, December 2016.
- [25] J. Umaña y A. Conde, “Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falan, Tolima,” *Revista Ciencia Animal*, vol. 1, no. 6, pp. 11-27, October 2013.
- [26] E. A. Stanton, “La tragedia de la mala distribución: clima, sostenibilidad y equidad,” *Sustainability*, vol. 4, no. 3, pp. 394-411, March 2012.
- [27] T. Felicitas. “Medir el carbono. Camino a la Salud Ambiental,” *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 37, no. 3, pp. 203-208, December 2011.