

## La huella ecológica aplicada al análisis del ciclo de vida, corporaciones y ciudades: una revisión sistemática

Ludim Vences Macedo<sup>1</sup>, José Luis Díaz Llamas<sup>2</sup>, Rosa María Chávez Dagostino<sup>3</sup>, Myrna Leticia Bravo Olivas<sup>4</sup>

### PALABRAS CLAVE

análisis de ciclo de vida,  
ciudad, corporación, huella  
ecológica, revisión sistemática

### CLASIFICACIÓN JEL

Q01, Q30, Q50

### RECIBIDO

06/04/2022

### APROBADO

10/11/2022

### PREPRINT

12/07/2023

### PUBLICADO

15/12/2023

### SECCIÓN

Responsabilidad social  
empresarial y sostenibilidad

Esta obra se publica bajo una licencia Creative  
Commons Atribución-No\_Co-mercial-  
Sin\_Derivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-  
ND 4.0)

**Resumen:** La huella ecológica (HE) es un indicador para estimar la superficie productiva requerida en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una población, la cual se ha adaptado a distintas escalas y propósitos. El objetivo de esta investigación es analizar el concepto, la metodología y las modificaciones de la HE en tres grupos de interés: análisis de ciclo de vida (ACV), corporaciones y ciudades. Se realizó una revisión sistemática de literatura con la base de datos de Scopus, por medio del protocolo PRISMA, desde 1992 al 2021. La búsqueda inicial incluyó 1.353 escritos y se analizaron 42 por su relevancia. Los resultados para los tres ejes de análisis fueron los siguientes: el ACV se 0061linea con la ISO 14040 y se enriquece con la HE; en las corporaciones se utiliza mayormente el método compuesto de cuentas contables (mc3), de acuerdo con el tamaño y giro de la corporación; en las ciudades la problemática es la falta de información específica para medirla. Se identificó que el concepto original de HE de Wackernagel y Rees es el más citado. La contribución principal de este trabajo es dar cuenta de las adaptaciones del concepto a ACV, corporaciones y ciudades, mostrando su vigencia como indicador. Los resultados se limitan a una sola base de datos para la revisión.

Citación sugerida: Vences-Macedo, L., Díaz-Llamas, J.L., Chávez-Dagostino, R.M., & Bravo-Olivas, M.L. (2024). La huella ecológica aplicada al análisis del ciclo de vida, corporativos y ciudades: Una revisión sistemática. *Innovar*, 34(91), e101009. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n91.101009>

## THE ECOLOGICAL FOOTPRINT APPLIED TO LIFE CYCLE ANALYSIS, CORPORATIONS, AND CITIES: A SYSTEMATIC REVIEW

**Abstract:** The ecological footprint (EF) is an indicator used to estimate the productive land required in terms of resource consumption and waste assimilation for a population that has been adapted to different scales and

<sup>1</sup> Ph. D. en Gestión de las Organizaciones; Profesor, Universidad Autónoma de Nayarit; Tepic, Nayarit, México. Rol del autor: intelectual; [ludimvences@gmail.com](mailto:ludimvences@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3420-9772>

<sup>2</sup> Ph. D. en Gestión de las Organizaciones; Profesor, Universidad Autónoma de Nayarit; Tepic, Nayarit, México. Rol del autor: intelectual; [jdiaz13@udavinci.edu.mx](mailto:jdiaz13@udavinci.edu.mx); <http://orcid.org/0000-0001-9036-9781>

<sup>3</sup> Ph. D. en Desarrollo Sustentable; Profesora, Universidad de Guadalajara; Puerto Vallarta, Jalisco, México. Grupo de investigación: Cuerpo Académico Análisis Regional y Turismo. Rol de la autora: intelectual y comunicativo; [rosa.cdagostino@academicos.udg.mx](mailto:rosa.cdagostino@academicos.udg.mx); <http://orcid.org/0000-0001-9063-2957>

<sup>4</sup> Ph. D en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas; Profesora e investigadora, Universidad de Guadalajara; Puerto Vallarta, México. Rol de la autora: intelectual; [myrna.bravo@academicos.udg.mx](mailto:myrna.bravo@academicos.udg.mx); <http://orcid.org/0000-0002-6725-6516>

purposes. The objective of this research is to analyze the concept, methodology, and modifications of the ef in three areas of interest: life cycle analysis (LCA), corporations, and cities. A systematic literature review covering the 1992-2021 period was conducted using the Scopus database and following the prisma protocol. The initial search included 1,353 articles, of which 42 were analyzed for their relevance. The results for the three areas of analysis are as follows. LCA aligns with iso 14040 and is enriched with the ef. In corporations, the most commonly used method is the compound method of accounting (mc3), depending on the size and business sector of the corporation. For cities, there is an issue related to the lack of specific information for measurement. It was identified that the original concept of EF by Wackernagel and Rees is the most cited. The main contribution of this research is to account for the adaptations of the concept of ef to LCA, corporations, and cities, showing its relevance as an indicator. As a keynote, our results are limited to a single database for the review.

Keywords: Life cycle analysis, city, corporation, ecological footprint, systematic review.

## **A PEGADA ECOLÓGICA APLICADA À ANÁLISE DO CICLO DE VIDA, CORPORAÇÕES E CIDADES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Resumo: a pegada ecológica (PE) é um indicador para estimar a superfície produtiva necessária em termos de consumo de recursos e assimilação de resíduos de uma população, que foi adaptada a diferentes escalas e propósitos. O objetivo desta pesquisa é analisar o conceito, a metodologia e as modificações da pegada ecológica em três grupos de interesse: análise do ciclo de vida (ACV), corporações e cidades. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura no banco de dados Scopus, usando o protocolo prisma, de 1992 a 2021. A pesquisa inicial incluiu 1.353 artigos e 42 foram analisados quanto à sua relevância. Os resultados para os três eixos de análise foram os seguintes: o ACV está alinhado com a ISO 14040 e é enriquecido com a PE; nas corporações, o método composto pelas contas contábeis (mc3) é mais usado, de acordo com o tamanho e o ramo de negócios da corporação; nas cidades, o problema é a falta de informações específicas para medi-lo. O conceito original de Wackernagel e Rees foi identificado como o mais citado. A principal contribuição deste artigo é apresentar um relato das adaptações do conceito para ACV, corporações e cidades, mostrando sua validade como indicador. Os resultados são limitados a um único banco de dados para a revisão.

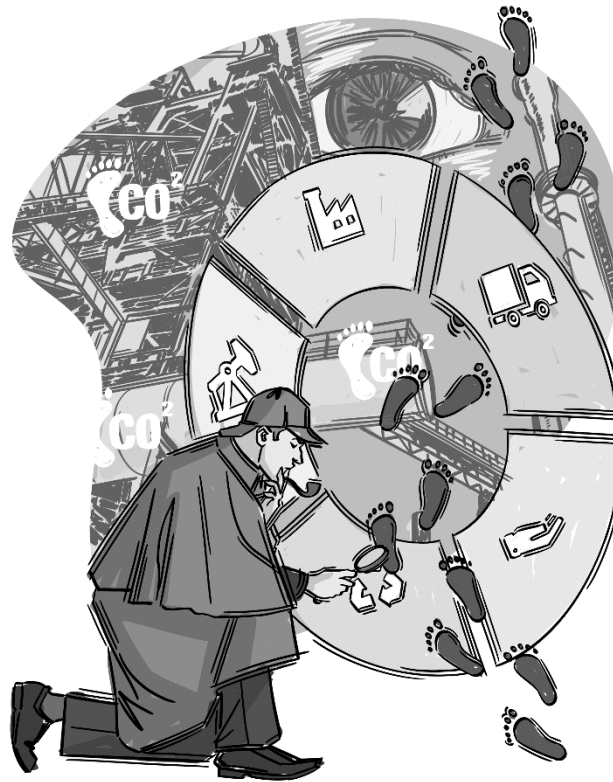
Palavras-chave: análise do ciclo de vida, cidade, corporação, pegada ecológica, revisão sistemática.

## **INTRODUCCIÓN**

Debido al acelerado ritmo de producción y consumo actual de los recursos naturales, muchos se han preocupado por medir estos factores para analizarlos y proponer cambios que tengan como fin una producción sustentable y un consumo consciente. En este tenor, se da la búsqueda de indicadores que orienten la toma de decisiones a diferente escala y en el contexto de sustentabilidad. Entre estos, la huella ecológica (HE) es una herramienta que permite estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresados en unidades de superficie productiva (Wackernagel & Rees, 2001). La HE es un concepto popular en la web, ya que una búsqueda a través de Google Scholar en el 2021 arrojó como resultado 51.100 documentos que abordan el tema en diferentes formatos (Google Scholar, 2021). En algunos países como México desde el 2010 ha incrementado su interés (Google Trends, 2021).

En su medición, la HE considera a toda la población en un determinado espacio (localidad, región, ciudad, país o mundo) en un periodo específico de tiempo, así como la estimación de las superficies productivas que

son dedicadas a las siguientes actividades: cultivos, pastoreo, bosques, mar, superficie construida, área de absorción y espacio para la conservación, reservado para el mantenimiento y florecimiento de la biodiversidad (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2012).



Las normas ISO son desarrolladas por la Organización Internacional para la Estandarización, entre las que se encuentra la ISO 14000, que versa sobre el cuidado y gestión del medio ambiente. De esta se desprenden las normas 14040 a 14046, donde se menciona que el análisis de ciclo de vida (ACV) es una técnica para evaluar los aspectos y potenciales impactos ambientales asociados a un producto. Esto se hace mediante tres fases: i) compilación de un inventario de entradas/salidas relevantes de un sistema de producto/servicio; ii) evaluación de los impactos potenciales asociados a esas entradas y salidas; y iii) Interpretación de los resultados del análisis (Eurofins, 2021).

El ACV es una herramienta diagnóstica que permite comparar productos o servicios existentes con otros o con normativas, indicando las posibles áreas de mejora o ayudar en el diseño de nuevos productos. La unidad funcional (UF) es su elemento clave y tiene que ser definido claramente, permitiendo la comparación de dos sistemas (Ecoil, s. f.). El ACV de un bien o servicio consiste en todas las materias primas que son necesarias para la producción, fabricación, distribución, uso y tratamiento final de este; en donde son incluidas también las operaciones de transporte que sean necesarias o asociadas a la existencia del producto para cualquiera de sus etapas (Bernatene & Canale, 2019).

La huella ecológica corporativa (en adelante, HE-CORP) es un concepto propuesto por Doménech (2006), quien retoma el impacto ambiental en hectáreas globales (GHA) propuesto por Wackernagel y Rees (2001). Su característica principal es que se miden los impactos negativos en un contexto específico (empresa o corporación) para mantener cadenas de producción-consumo sustentables (Doménech, 2006).

Para evaluar la HE-CORP, Doménech (2006) diseñó una calculadora que incluye los siguientes aspectos: la compra de todo tipo de productos y servicios que aparezcan en sus cuentas contables; la venta de productos procedentes de la producción primaria de alimentos y otros recursos que sean forestales o bióticos que entran por vez primera en la cadena de mercado (las hortalizas, frutas, carnes, entre otros); la ocupación de espacio; y la generación de desechos descritos en su memoria ambiental (Doménech, 2006).

El método compuesto de cuentas contables (MC3) permite calcular la HE-CORP. Tiene la siguiente estructura: elaborar el listado de todas las categorías de consumo de la corporación; obtener la información del consumo por medio de los documentos contables; y realizar el cálculo introduciendo la información recabada en la calculadora, que es un análisis híbrido desarrollado a partir de avances en HE, cuya fortaleza primordial es la capacidad para calcular la huella de un ente corporativo (Doménech, 2006).

Otra aplicación frecuente ha sido la huella ecológica de ciudades (HE-CD). Este es un indicador integrado que permite estimar los impactos ambientales de una población humana en un territorio (Rees & Wackernagel, 1996). Este indicador devela el déficit ecológico ocasionado por el consumo de una población en un territorio, que tiene como limitante su biocapacidad (Wackernagel & Rees, 2001). A medida que la población humana se concentra en las ciudades, se incrementa la demanda de recursos y producción de desechos, por lo que la HE-CD genera información a escala de la ciudad, la cual puede ser utilizada en políticas públicas para que esta se aproxime a ser sustentable.

La aplicación de la HE ha permitido innovaciones en la medición de los impactos ambientales. Un ejemplo de dichos análisis son las revisiones sistemáticas de los siguientes autores: Herva y Roca (2013) revisan las ventajas de combinar herramientas de evaluación ambiental complementarias (huella ecológica, evaluación del ciclo de vida y evaluación del riesgo ambiental); Martínez et al. (2019) buscaron materializar la percepción del creciente interés en el dominio de la huella; y Xie et al. (2020) abarcaron varios indicadores de huella para investigar la visión general de su campo.

El trabajo es una revisión sistemática que se elaboró bajo la siguiente pregunta: ¿Cómo se ha adaptado la HE al ACV al estudio de corporaciones y ciudades/regiones para descubrir los impactos ambientales? Esto se ha realizado con el objetivo de analizar las modificaciones que se han hecho al concepto y metodología de HE relacionado con el ACV, así como su aplicación a corporativos y a ciudades.

La originalidad de este trabajo radica en la identificación de conceptos y metodologías de HE, y las modificaciones que se han aplicado relacionadas al análisis de ciclo de vida y a dos escalas distintas: corporaciones y ciudades. Ya que los conceptos y métodos se han diversificado en este campo, este estudio permite mostrar el conjunto de estudios en el tiempo y sus aplicaciones. Por lo tanto, los interesados en la evaluación de la HE pueden utilizar dicha revisión sistemática para identificar métodos que se adaptan a su objeto de estudio.

El trabajo se estructuró de acuerdo a tres ejes de análisis: ACV, corporaciones y ciudades, dando una introducción de estos; después, se expone el apartado metodológico de la revisión sistemática a través del modelo PRISMA; además, se presentan los resultados de los ejes de análisis, la discusión y conclusiones.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de la literatura (Snyder, 2019) con análisis bibliométrico a través de la plataforma Scopus, considerada la mayor base de datos bibliográfica, lo que brinda un marco amplio de resultados a nivel internacional de campos diversos de las ciencias (Elsevier, 2021). La búsqueda se hizo combinando el término HE con ACV, corporación y ciudad, de forma independiente, a través del título, resumen y palabras clave ordenadas por relevancia, en un periodo de tiempo de 1992 al 2021, conformando así los tres ejes de análisis (tabla 1).

Tabla 1.

Sintaxis utilizada en la búsqueda para los tres ejes de análisis de HE.

Ejes de análisis	Sintaxis
HE-ACV	(TITLE-ABS-KEY (ecological AND footprint) AND TITLE-ABS-KEY (life AND cycle AND analysis))
HE-CORP	(TITLE-ABS-KEY (ecological AND footprint) AND TITLE-ABS-KEY (corporate))
HE-CD	(TITLE-ABS-KEY (ecological AND footprint) AND TITLE-ABS-KEY (city))

Fuente: elaboración propia.

En la búsqueda de HE-ACV, se obtuvo una lista de 437 documentos entre 1997 y 2021; en HE-CORP, 126 documentos entre 1999 y 2021, y en HE-CD, 790 documentos entre 1992 y 2021. Los resultados de las revisiones para los tres grupos sumaron un total de 1.353 escritos, donde el más antiguo fue de 1992.

Para la selección y exclusión de los artículos en diferentes etapas se utilizó el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para nuevas revisiones (Page et al., 2021; PRISMA, 2021; Urrútia & Bonfill, 2010). Este modelo consta de tres fases principales: i) documentos identificados (1.353), ii) documentos examinados (302) y iii) documentos incluidos (42). Para cada uno de los ejes de análisis de HE, se utilizó este modelo.

Los artículos incluidos se agruparon de acuerdo con los tres ejes mencionados para su análisis y síntesis (Campbell et al., 2020), cuyos datos bibliográficos y resumen se exportaron a una hoja de cálculo, donde se hizo el análisis del concepto central de HE, así como las características generales de los textos, objetivos, sujetos de estudio, escalas, métodos utilizados, conclusiones y propuestas. Se elaboró finalmente un resumen estructurado (Pickering & Byrne, 2014).

RESULTADOS

Los 302 documentos identificados y examinados fueron publicados en los últimos años (1992-2021), por lo que el estudio de la HE es un tema vigente. A continuación, se muestra el resultado del análisis de los ejes abordados en la revisión.

Huella ecológica y análisis de ciclo de vida (HE-ACV)

La búsqueda para HE-ACV dio como resultado 437 registros. De estos se examinaron los cien más relevantes, en función de los siguientes criterios de exclusión: i) incluyó HE y no ACV: 16 artículos; ii) no incluyó HE y sí ACV: 47 artículos; iii) no se encontró el documento en un caso; iv) realizó ACV y una HE específica (fotovoltaica, hídrica, de nitrógeno o de carbón): nueve artículos; v) haber realizado HE y ACV, pero sujetos de estudios distintos: once artículos; y vi) haber realizado una revisión literaria: cuatro artículos. En total se incluyeron en la revisión doce artículos en este eje (figura 1).

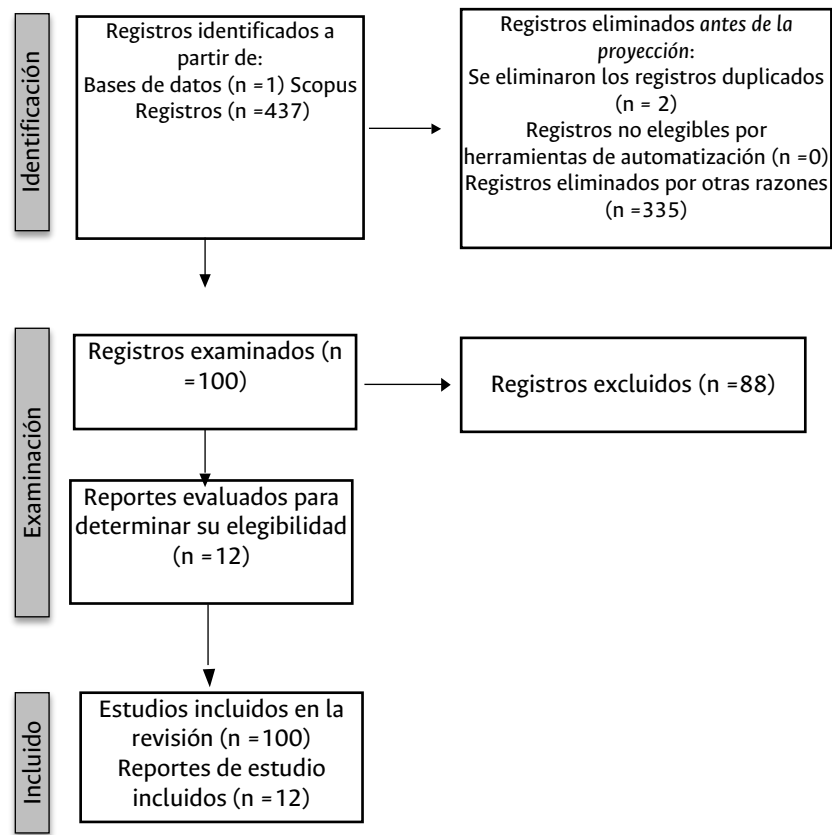
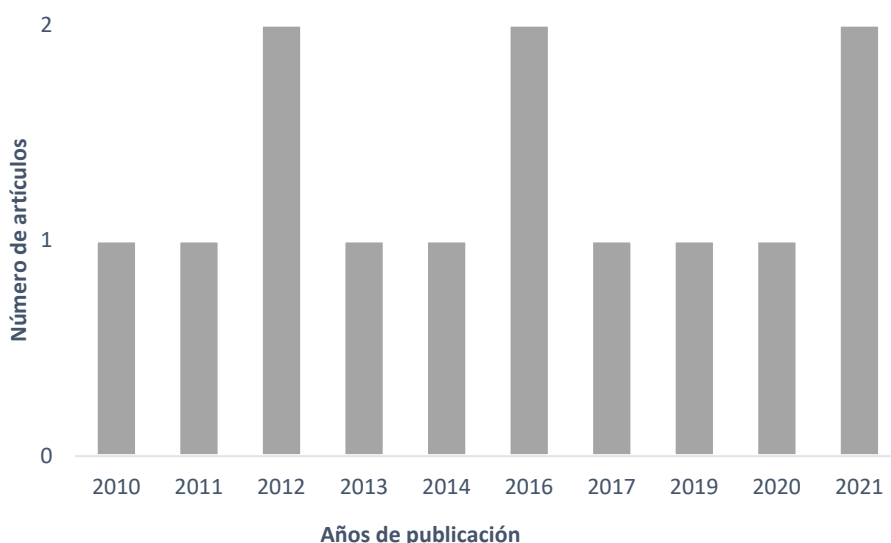


Figura 1.  
Modelo PRISMA para la inclusión de documentos de huella ecológica y análisis de ciclo de vida.  
Fuente: elaboración propia con base en PRISMA (2021).

### Características generales de los documentos analizados

Los artículos analizados fueron publicados entre 2011 y 2021, periodo en el que no se publicaron más de dos trabajos al año (figura 2). Estos se elaboraron en once universidades en las áreas temáticas de ciencias ambientales en su mayoría (28%), seguido por las de ingenierías y energía. Los países de las universidades de las publicaciones son China, India, Brasil, Israel, Rumania, España, Italia, Tailandia y EE. UU. Todos los documentos analizados fueron publicados en inglés. El escrito más influyente por el número de citas generadas es el de Lo-Iacono-Ferreira (2016).



**Figura 2.** Años de publicación de artículos incluidos en el análisis. **Fuente:** elaboración propia.

### Definiciones utilizadas

Con respecto al concepto de HE, la mayoría de los trabajos de este eje de análisis partieron de la definición de HE de Wackernagel y Rees (2001): diez artículos. Los otros dos utilizaron autores cuya definición parte de los mismos autores, pero la han modificado, como la definición de Stögllehner (2003), que enfatiza el aspecto de la energía eléctrica (desde su obtención hasta el consumo), y Fiala (2008), que propone considerar los impactos de gases efecto invernadero a la HE, así como los patrones de consumo actuales y futuros.

De los doce artículos, seis abordan la definición de ACV mencionada en la ISO 14072. Otros cinco citan conceptos de autores que han modificado tanto el concepto y el método del ACV de la ISO, como el caso de Brunklus (2018), que enfatiza en el biogás; Rebitzer et al. (2004), que propone el análisis de ciclo de costos; Huijbergts et al. (2008), que retoma al ecoindicador 99 de la base de datos deecoinvent v1.2; Siddiqui y Dincer (2017), con énfasis en energías nucleares; y Varun et al. (2012), en los impactos de metales. Un solo documento utilizó una definición que se refiere al ACV de los seres vivos con énfasis en la pesca (Almeida et al., 2014).



Objetivos, sujetos de estudio, escalas y unidades en las que se reportan resultados

Los objetivos y sujetos de estudio de los artículos incluidos fueron diversos, desde elaborar una evaluación de la HE, considerando la metodología de ACV, hasta conocer la HE por medio del ACV en el *software* SIMA PRO. En tabla 2 se presentan los diferentes objetivos y sujetos de estudio de los documentos analizados.

Tabla 2.

Objetivos, autores y sujetos de estudio.

Objetivos	Autores	Sujeto de estudio
Evaluar la HE de una universidad por medio del ACV.	Husain y Prakash (2019); Liu et al., (2017); Lo-lacono-Ferreira et al., (2016)	Universitat Politècnica de València en España. Edificio académico en la India. La universidad Politécnica de Tianjin China.
Estimar el impacto de la HE del biodiesel por ACV.	Zhang & Bai (2021)	El biodiésel a base de cultivos en China.
Valorar el impacto de la HE de un parque Eólico por ACV.	Zhang et al. (2020)	Parque eólico en Dalian China.
Conocer la HE de las actividades turísticas por ACV.	Castellani y Sala (2012)	Estructura de vacaciones de un hotel en Italia.
Determinar el impacto de la HE de la producción (curtidos, mermeladas, miel, salsa picante maíz en conserva, y alimento para pollos) por ACV.	Freitas de Alvarenga et al. (2012); Husain et al. (2021); Usubharatana y Phungrassami (2016)	La industria de procesamiento de alimentos Merry Foods. Producción brasileña de alimentos para pollos de engorde. La industria de maíz dulce en conserva en Tailandia.
Valuar el impacto de la HE de varios bienes de consumo a escala urbana por ACV.	(Kissinger et al., 2013)	10 ciudades de: Reino Unido, EE. UU., Canadá, Israel y Australia.
Dimensionar el impacto de la HE de baterías de autos eléctricos por ACV.	(Onat et al., 2014)	Tecnologías de vehículos alternativos en los EE. UU.
Conocer el impacto de la HE de menús para estudiantes universitarios por ACV.	(Vintilă, 2011)	Estudiantes de la Universidad (UGAL) en 2010.

Fuente: elaboración propia.

Los sujetos de estudio se localizan principalmente en China (3), seguida de la India, Brasil, Rumanía, España, Italia, Tailandia y EE. UU. (figura 3).

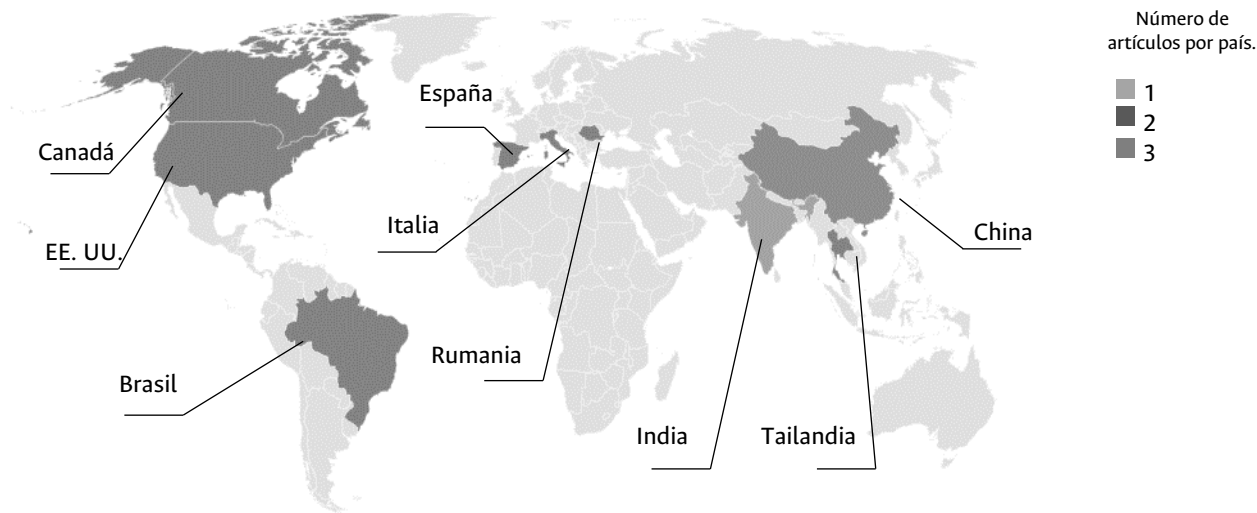


Figura 3. Distribución de los sujetos de estudio por países. Fuente: elaboración propia.



En cuanto a la escala de la investigación, la mayoría de estas son puntuales, solo Kissinger et al. (2013) realizaron una investigación regional para analizar bienes de consumo de diez ciudades. Las unidades en que mostraron sus resultados fueron la mayoría en GHA (Castellani & Sala, 2012; Husain et al., 2021; Husain & Prakash, 2019; Kissinger et al., 2013; Lo-Iacono-Ferreira et al., 2016; Usubharatana & Phungrassami, 2016; Zhang & Bai, 2021). Algunos utilizaron la unidad de hectómetros cuadrados (hm²) (Liu et al., 2017; Zhang et al., 2020). Los resultados también fueron expresados en unidades de dióxido de carbono (CO₂), en toneladas (Kissinger et al., 2013; Liu et al., 2017; Onat et al., 2014); también mostraron resultados expresados en kilogramos (kg) (Vintilă, 2011; Zhang & Bai, 2021) o en metros cuadrados (m²) (Vintilă, 2011).

Metodologías utilizadas

Las diversas metodologías utilizadas en los artículos incluidos se clasificaron en grupos de acuerdo con los trabajos que integraron la HE y el ACV, los que evaluaron la HE por medio del ACV y los que hicieron modificaciones a una o ambas metodologías —HE de Wackernagel y Rees (2001) y al ACV de ISO 14040— (tabla 3).

**Tabla 3.**  
*Agrupación de artículos de HE y ACV de acuerdo con su metodología.*

Grupo	Artículos	Especificaciones y detalles.
HE y ACV	Castellani y Sala (2012); Usubharatana y Phungrassami (2016); Vintilă (2011)	Modelo para hoteles. Valuación de productos agrícolas enlatados. Integración para reducción de impactos en menús de estudiantes.
HE por medio de la ACV	Freitas de Alvarenga et al. (2012); Lo-Iacono-Ferreira et al. (2016); Zhang y Bai (2021 b)	Cálculo desde el software de Sima Pro. Evaluación a universidades. Valoración del biodisel.
HE y ACV con alguna modificación en una o en ambas.	Husain et al. (2021); Husain y Prakash (2019); Kissinger et al. (2013); Liu et al. (2017); Onat et al. (2014); Zhang et al. (2020)	Propuesta en el procesamiento de alimentos. Método para proyectos de construcción. Énfasis en el manejo e impactos de desechos urbanos. Integración de ACV y HE para una evaluación cualitativa y cuantitativa. Método para baterías de vehículos eléctricos. La capacidad de carga de emergencia.

**Fuente:** elaboración propia.

Reflexiones y propuestas de los documentos sobre HE-ACV

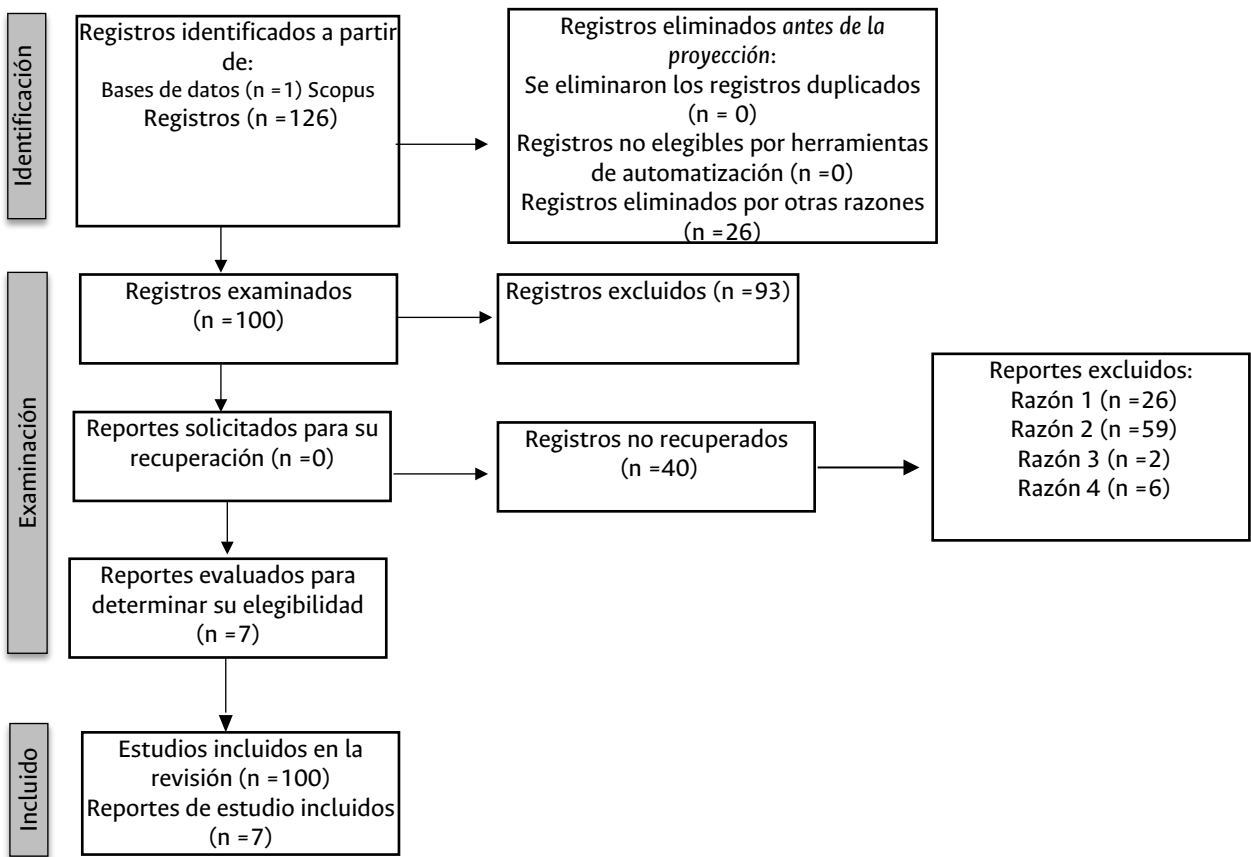
Las deducciones finales giraron en torno a las decisiones críticas para definir la UF (Freitas de Alvarenga et al., 2012; Lo-Iacono-Ferreira et al., 2016; Zhang & Bai, 2021); la identificación de un mayor impacto de sus resultados por consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles en sus procesos (Castellani & Sala, 2012; Usubharatana & Phungrassami, 2016); la creación de escenarios para mejorar los resultados de la evaluación de HE (Freitas de Alvarenga et al., 2012; Zhang et al., 2020). Hay autores que afirman que la HE no es adecuada para la evaluación agrícola, e identifican los impactos ambientales del ACV que se obtienen por el método CML de SIMA PRO (Freitas de Alvarenga et al., 2012), pero otros aseguran que la HE se ve enriquecida con el ACV (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2016).

En cuanto a los trabajos a futuro son variados, desde definir una taxonomía para comparar las evaluaciones de HE, buscando estandarizarla (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2016), hasta promocionar el biodisel

como política y estrategia para la reducción del impacto ambiental (Zhang & Bai, 2021); proponer el uso de tecnologías sustentables como sistemas solares fotovoltaicos en universidades, entre otro tipo de estrategias para reducción de la HE (Husain & Prakash, 2019; Liu et al., 2017; Lo-Iacono-Ferreira et al., 2016); evaluar por medio de la HE y ACV otros parques eólicos (Zhang et al., 2020); fortalecer la medición de ambos métodos con información del consumo por día de hoteles de acuerdo con su ocupación y tamaño (Castellani & Sala, 2012); mejorar la evaluación de la HE de un producto por medio de la incorporación de la información de la maquinaria e infraestructura (Husain et al., 2021); informar a los ciudadanos cuáles son los impactos ambientales de ciertos bienes de consumo para promover el consumo moderado y el reciclaje (Kissinger et al., 2013); incorporar nueva tecnología y mejores técnicas de gestión para reducir la HE (Usubharatana & Phungrassami, 2016); promocionar el uso de productos alimenticios locales, sobre los importados (Vintilă, 2011).

Huella ecológica corporativa (HE-CORP)

La búsqueda bibliográfica para este eje dio como resultado 126 registros.

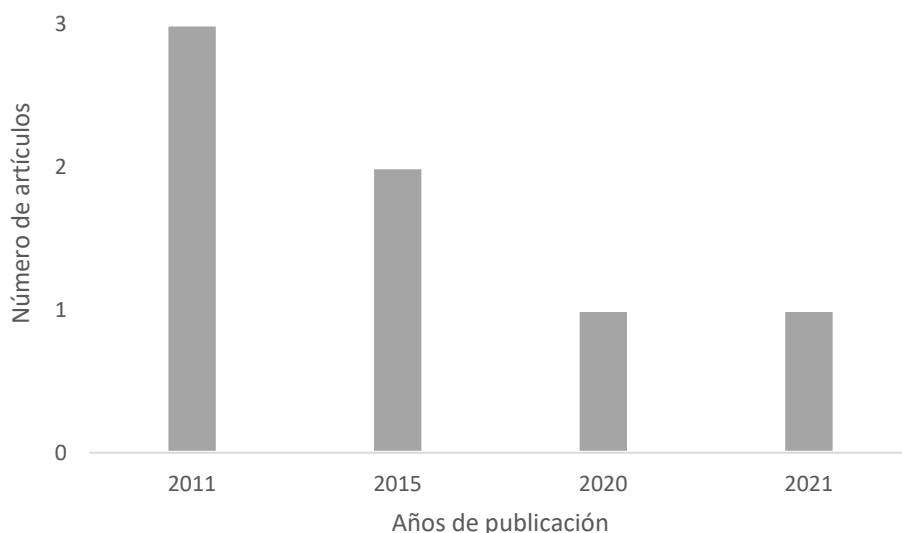


**Figura 4.**  
*Modelo PRISMA para la inclusión de documentos del eje de huella ecología corporativa.*  
**Fuente.** Elaboración propia. con base en PRISMA (2021).

No se encontraron referencias duplicadas. De todos los artículos se examinaron cien por orden de relevancia, en función de los siguientes criterios de exclusión: i) haber realizado HE y no HE corporativa: 26 artículos; ii) haber realizado HE específica (energía, ambiental, de seguridad alimentaria o carbón) y no HE corporativa: 59 artículos; iii) haber realizado huella ambiental y no HE corporativa: dos artículos; y iv) no se encontró el documento: seis artículos. Fueron excluidos 92 documentos, siendo seleccionados en total siete trabajos: seis artículos y un capítulo de libro (figura 4).

#### *Características generales de los documentos analizados*

Estos documentos fueron publicados en el periodo 2011-2021; el 2011 fue el año de mayor producción en el tema (figura 5). Estos se desarrollaron en ocho universidades de seis países: Hungría, México, Portugal, EE. UU. y España. Los trabajos revisados se agrupan, según Scopus, principalmente en las áreas temáticas de ciencias ambientales (38,9%), seguido de ciencias agrícolas, toma de decisiones, ingenierías y sociales. Todos los documentos fueron publicados en inglés.



**Figura 5.** Años de publicación de los artículos incluidos en el análisis. **Fuente:** elaboración propia.

#### *Definiciones utilizadas*

La mayoría de los trabajos partieron de la definición de HE de Wackernagel y Rees (2001). Para la definición de HE-CORP, los documentos toman a los siguientes autores: cinco artículos utilizaron la propuesta de Doménech y Carballo (2009); uno utilizó la de Doménech (2006); por último, uno la de Stöglehner (2003), que enfatiza el aspecto de la energía eléctrica. En los artículos incluidos, no se propone una modificación al concepto de HE-CORP; más bien, se perfilan con la definición de los autores mencionados con antelación.

Objetivos, sujetos de estudio y escalas de resultados

Los objetivos y sujetos de estudio de los artículos incluidos fueron diversos, desde elaborar una evaluación HE-CORP por medio de una calculadora y la aplicación de la metodología mc3, hasta la aplicación híbrida de HE-CORP (tabla 4).

Tabla 4.

Objetivos, autores y sujetos de estudio.

Objetivos	Autores	Sujeto de estudio
Crear una calculadora de HE-CORP.	Szennay et al. (2021)	73 pymes (pequeñas y medianas empresas) de Hungría.
Aplicar un modelo híbrido de HE-CORP.	Ewing et al. (2011)	Una empresa de transportes marítimos en EE. UU.
Evaluar la HE-CORP por mc3.	Álvarez y Rubio (2015); Bravo-Olivas y Chávez-Dagostino (2020); Cagiao et al. (2011); Mateo-Mantecón et al. (2011); Soares y Chaves (2017)	Una empresa de madera en España, una organización pesquera en Jalisco, México. Una cementera de España. La autoridad portuaria de la costa norte de EE. UU. Una firma portuguesa de transporte marítimos en Portugal.

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que cinco de los artículos que utilizaron la metodología mc3 (Álvarez & Rubio, 2015; Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020; Cagiao et al., 2011; Mateo-Mantecón et al., 2011; Soares & Chaves, 2017) compararon sus resultados con estudios anteriores homogéneos, como lo fueron el de la cooperativa pesquera (Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020), el de la firma portuguesa (Soares & Chaves, 2017) y el de la autoridad portuaria (Mateo-Mantecón et al., 2011) (figura 6).



Figura 6. Distribución de los sujetos de estudio por países. Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los trabajos fueron aplicados a una empresa, excepto una investigación regional que incluyó 73 pymes de Hungría (Szennay et al., 2021). Las unidades que utilizaron para mostrar sus resultados variaron desde GHA (Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020; Mateo-Mantecón et al., 2011; Soares & Chaves, 2017; Szennay et al., 2021) y toneladas de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) (Álvarez y Rubio, 2015; Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020; Cagiao et al., 2011; Mateo-Mantecón et al., 2011; Soares & Chaves, 2017), hasta millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>) (Ewing et al., 2011).

#### *Metodologías utilizadas*

Las diversas metodologías utilizadas en los siete escritos incluidos se agruparon en tres tipos: i) mc3, con cinco artículos, siendo la más utilizada; ii) calculadora de pymes de Países Bajos (Szennay et al., 2021); y iii) el modelo híbrido de Carnegie Mellon University (MCU) (Ewing et al., 2011).

Es importante señalar que en la mayoría de los artículos que utilizaron el mc3 no se hacen modificaciones sustanciales al método, pero sí adaptaciones, como el caso de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera (SCPP) Cruz de Loreto, para la tropicalización de la información en la hoja de cálculo (Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020). Solo en el caso de la empresa cementera de España hicieron unas modificaciones en determinados aspectos para mejorar su precisión en el cálculo de CO<sub>2</sub> (Cagiao et al., 2011).

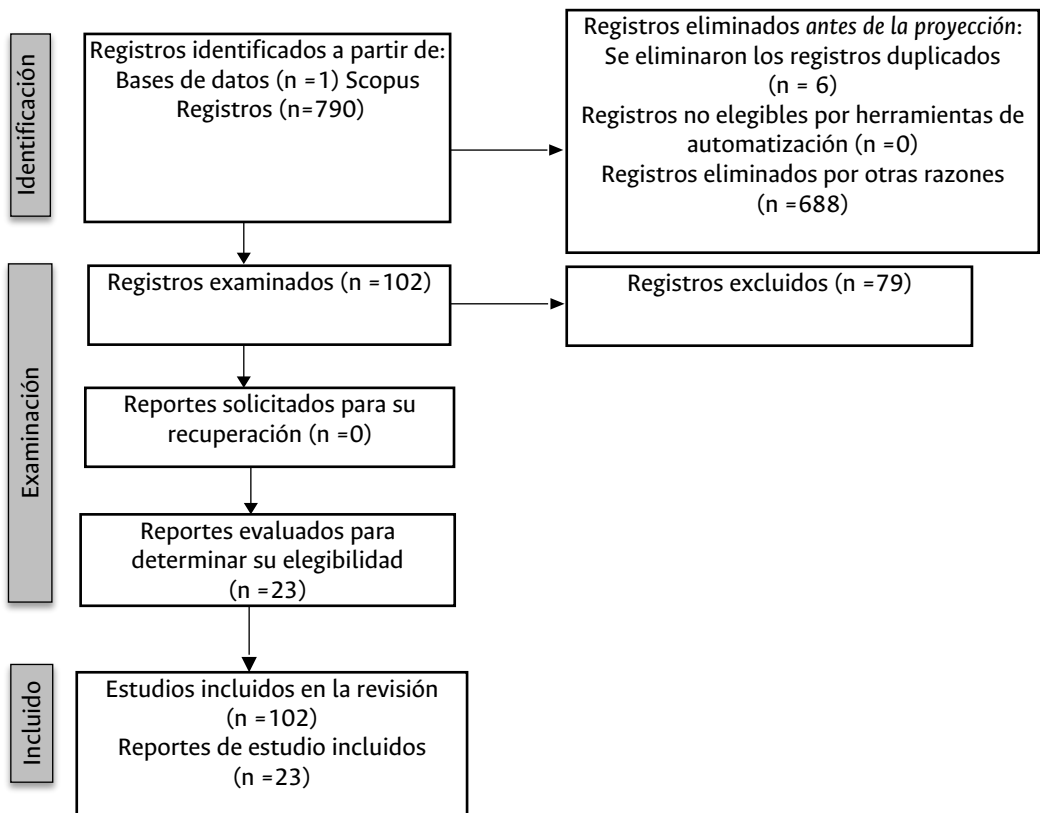
#### *Reflexiones y propuestas de los trabajos de HE-CORP*

Las deducciones finales fueron diversas: considerar factible la creación de la calculadora de HE-CORP y la agrupación de pymes según su giro comercial (Szennay et al., 2021); crear un marco de ACV híbrido con HE-CORP para que las empresas aprovechen el uso de recursos para la sustentabilidad (Ewing et al., 2011); considerar optimizar la categoría de emisión indirecta, por medio de la reducción del consumo de electricidad generada por combustibles fósiles, contemplando utilizar energías alternativas en la SCPP (Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020); declarar que la HE es un indicador único de sustentabilidad con diferentes niveles de aplicación e ideal para empresas (Soares & Chaves, 2017); aseverar que el mc3 proporciona una evaluación correcta de la cantidad de emisiones directas e indirectas con datos fáciles de obtener (Álvarez & Rubio, 2015); presentar nuevas acciones para los puertos de mitigación del cambio climático (Mateo-Mantecón et al., 2011) y, finalmente, implementar técnicas para la creación de cemento, basado en la ecoeficiencia de reducción de la huella de carbono (Cagiao et al., 2011).

Los trabajos a futuro son variados, desde utilizar la calculadora creada y proporcionar puntos de referencias más precisos, así como un tamaño de muestra mayor (Szennay et al., 2021); utilizar la ecoeficiencia para comparar la HE-CORP de otras SCPP y establecer estrategias para reducir su impacto ambiental (Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020); afirmar que es necesario realizar más investigación de la HE-CORP en búsqueda de ecoeficiencia, ya que puede haber influencia significativa de factores exógenos (Soares & Chaves, 2017); reconocer que se podría mejorar la HE en los enfoques de producto y corporación, estimulando la innovación y aumentando el apoyo a las decisiones de consumo sustentable (Álvarez & Rubio, 2015); sugerir la utilización de mc3 en búsqueda de una futura estandarización (Mateo-Mantecón et al., 2011), hasta enfatizar la necesidad de profundizar en el análisis de los enlaces de la cadena de valor, como el transporte, para incluir el impacto de estos al proceso de producción (Cagiao et al., 2011). Una investigación no propuso trabajos a futuro (Ewing et al., 2011).

Huella ecológica de ciudad (HE-CD)

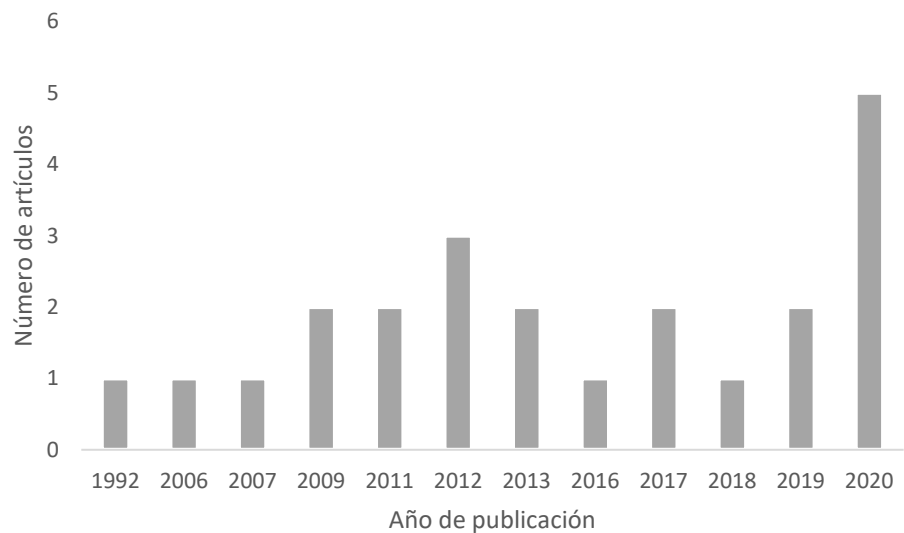
La búsqueda del eje de HE-CD dio como resultado 790 registros. Se encontraron seis referencias duplicadas, dando un total 784 trabajos. De todos los artículos se examinaron 102 por orden de relevancia, en función de los siguientes criterios de exclusión: i) haber realizado HE general, pero no de una ciudad: 21 artículos; ii) haber realizado otra HE (hídrica, residuos sólidos, cuenca o sector): 35 trabajos; y iii) no se encontró el artículo: 23 artículos. Fueron excluidos 79 documentos, quedando incluidos un total de 23 trabajos (figura 7).



**Figura 7.** Modelo PRISMA para la inclusión de documentos del eje de huella ecológica de ciudad. **Fuente:** elaboración propia con base en PRISMA (2021).

Características generales de los artículos incluidos en el análisis

Los artículos incluidos fueron publicados en el periodo 1992-2021 (figura 8). El año con más publicaciones fue el 2020, con cinco. Los trabajos de investigación de las HE se desarrollaron en 27 universidades de trece países: Canadá, Brasil, Suiza, China, India, Indonesia, Polonia, Eslovaquia, Suiza, México, EE. UU., Países Bajos y Portugal. Todos los artículos fueron escritos en inglés. Los trabajos revisados se agrupan, según Scopus, principalmente en las áreas temáticas de ciencias ambientales (70%), seguido de ingenierías y ciencias sociales. El artículo más influyente fue el de Rees (1992), creador del concepto de HE con 1.436 citas.



**Figura 8.** Años de publicación de artículos incluidos. **Fuente:** elaboración propia.

*Definiciones utilizadas*

Los artículos incluidos en este eje utilizaron la definición de HE establecida por Wackernagel y Rees (2001), es decir, las investigaciones no proponen una modificación al concepto.

*Objetivos, sujetos de estudio y escalas de resultados*

Los objetivos y sujetos de estudio de los artículos incluidos fueron diversos, desde el análisis de HE de una ciudad o el análisis de HE de las ciudades de una región, hasta dos casos especiales, uno de conceptos y otro de cuentas nacionales (tabla 5).

**Tabla 5.**

*Objetivos, autores y sujetos de estudio.*

Objetivos	Autores	Sujeto de estudio
Analizar la HE-CD.	Lage Morais et al. (2020); Li et al. (2009); Liu et al. (2011); Sai et al. (2012); Santoso y Aulia (2018); Sharma et al. (2016); Sui et al. (2011); Świąder et al. (2020); Tao (2012); Wang, Liu et al. (2007); Wang, Jiang et al. (2019); Wu et al. (2012); Xun y Hu (2019); Yao et al. (2021); Zhang et al. (2012); Zhang (2013) y Zhou et al. (2009).	El excedente/déficit ecológico de Fushun. La HE de Nanchong. La sustentabilidad ecológica de Zhangjiakou. El desarrollo sustentable del turismo de Loudi. La seguridad ecológica de Yima. La capacidad de carga de Nanchang. El nivel de sustentabilidad ecológica en Surabaya. La HE de Pinggu. El consumo de los hogares de Wrocław. La sustentabilidad ecológica de Shandong. La HE de Ajmer. La HE de Suzhou. La HE de João Monlevade. La capacidad de desarrollo sustentable de Dongying. La HE de Guangzhou utilizando. Los factores del desarrollo socioeconómico sustentable de Inner. La HE de Kaifeng.
Estudiar las HE-CD de las ciudades de una región.	Baabou et al. (2017); Belčáková et al. (2017); Galli et al. (2020); Shi et al. (2020)	La demanda de recursos de las ciudades del Mediterráneo. Las consecuencias del cambio climático en las ciudades de Bratislava y Nitra. Los factores

(Continúa)



Objetivos	Autores	Sujeto de estudio
Casos especiales: -Mostrar las cuentas nacionales de algunos países. Desarrollar un marco conceptual para la construcción de la HE-CD.	Rees (1992) y Wackernagel et al. (2006)	impulsores de la HE per cápita de 16 ciudades turísticas de China. La HE a seis ciudades en Portugal. El sistema de cuentas nacionales. Conceptos para HE.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los países en donde se realizaron los estudios de HE-CD, resalta China con trece trabajos, comparado con los demás países con solo uno (Brasil, Eslovaquia, India, Indonesia, Italia, Mongolia, Polonia y Portugal) (figura 9), por lo que la concentración de trabajos realizados fue así: Asia, con dieciséis; Europa, con cuatro, y América, con uno. En China se evidencia la existencia de una política pública para reducir las externalidades negativas que se generan por las dinámicas de la concentración en sus ciudades, los recursos que demandan y los residuos que generan. Dicha política se implementa gracias al financiamiento de estudios por la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (NSFC) (Zhang et al., 2012).

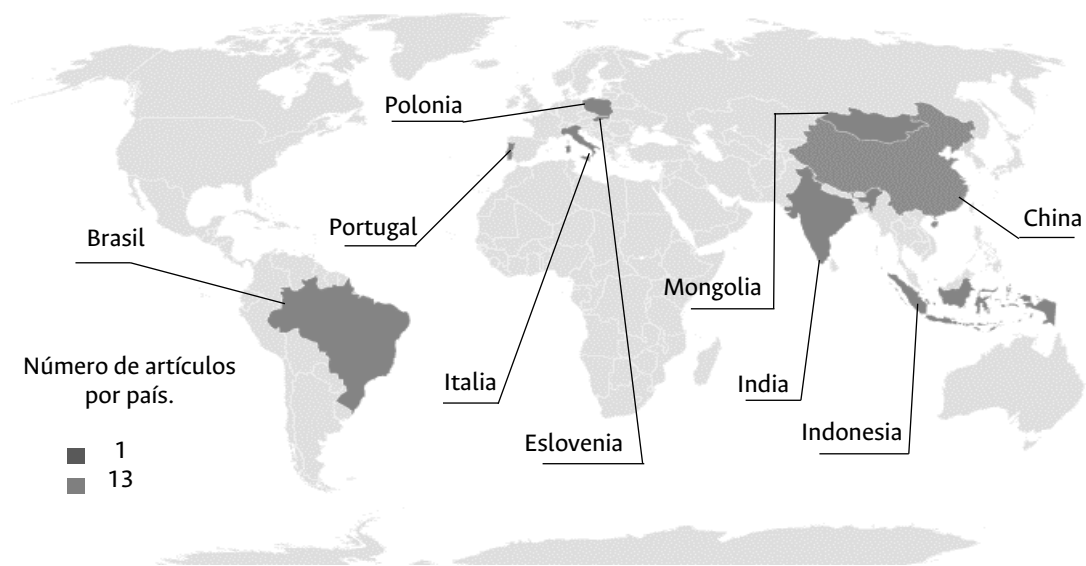


Figura 9. Distribución de los sujetos de estudio por países. Fuente: elaboración propia.

Las escalas que utilizaron los diversos autores se concentran en dos categorías: i) GHA, cuando realizaron la medición de la huella con los datos del sistema de cuentas de Global Footprint Network (GFN), y ii) hectáreas per cápita (ha/per cap), cuando la información se extrae de encuestas, haciéndolo más complejo y costoso de aplicar.

### *Metodologías utilizadas*

Las diversas metodologías utilizadas en los artículos incluidos presentan cuatro categorías:

La de Wackernagel y Rees (2001) es la más utilizada, con catorce escritos, de los cuales tres realizaron modificaciones: la incorporación del modelo de predicción Grey (Li et al. 2011); las emisiones contaminantes y los recursos hídricos con un análisis de datos panel (Shi et al., 2020), y modelos ARIMA y GM (1,1) de estimación y predicción (Yao et al., 2021).

La del sistema de cuentas del GFN con dos escritos, sin cambio alguno (Santoso y Aulia, 2018; Wackernagel et al., 2006).

La tridimensional sin modificaciones (Xun y Hu, 2019) y con la intensidad de la capacidad de carga ecológica (intensidad EC) (Wang et al., 2019).

La que incorpora los flujos comerciales, sin alteraciones (Belčáková et al., 2017) y la que incluye el modelo multirregional de entrada y salida (MRIO) (Baabou et al., 2017).

### *Reflexiones y propuestas de trabajos de HE-CD*

Las deducciones finales giraron en torno a las decisiones críticas que hacen que la HE-CD genere un déficit ecológico, como el tipo de consumo que se realiza (Baabou et al., 2017; Yao et al., 2021), el consumo de combustible (Lage Morais et al., 2020; Wang et al., 2019), el consumo de energía fósil (Zhang, 2013) y el crecimiento demográfico (Li et al., 2011).

En algunos estudios se mostró por medio de la HE que, a lo largo del tiempo, en las ciudades se ha tenido una condición de sobrecarga de sus recursos, lo cual es altamente insostenible (Belčáková et al., 2017; Tao, 2012; Wang et al., 2007; Wu et al., 2012; Xun & Hu, 2019; Zhou et al., 2009). Algunos afirmaron que tienen una mayor huella las zonas residenciales (Sharma et al., 2016) y los de residentes de mayor ingreso (Zhang et al., 2012). Además, existe el caso de ciudades que han reducido su HE, pero no significativamente (Li et al., 2009). Se proponen estrategias y sugerencias para reducir el déficit ecológico y lograr el desarrollo sustentable en la zona de estudio (Sai et al., 2012). También se dieron resultados sobre incremento de la conciencia ambiental (Galli et al., 2020) y apoyar las políticas públicas locales (Wackernagel et al., 2006).

La eficiencia del desarrollo verde de las ciudades turísticas debe mejorarse, porque la HE también afecta la competitividad del destino (Shi et al., 2020), ya que este tiene su mayor impacto en el transporte y en el consumo de alimentos (Liu et al., 2011). Hay casos especiales en donde los cálculos de la HE se vieron afectados por las limitaciones de los datos (Świąder et al., 2020).

En cuanto a los trabajos a futuro, la mayoría concuerda en que los hallazgos de la HE se pueden utilizar para ayudar a diseñar políticas públicas de sustentabilidad (Baabou et al., 2017), ya que el cuidado y preservación de la biocapacidad puede brindar una alerta temprana a las partes interesadas sobre los niveles de déficit ecológico que se tiene (Santoso & Aulia, 2018), con fines de mejorar la planificación ambiental municipal (Lage Morais et al., 2020).

En cuanto a la medición de la HE-CD, es posible realizar una mejora, con la definición de otros indicadores relevantes y análisis cuidadoso de datos (Lage Morais et al., 2020), ya que esta medición tiene áreas de

oportunidad para optimizarse como la integración de la estabilidad ecológica de una ciudad, por medio de funciones microclimáticas de las áreas verdes (Belčáková et al., 2017), así como incorporar los aspectos que inciden en el desarrollo sustentable (el desarrollo económico, el equilibrio del bienestar social, la eficiencia de uso de recursos económicos y el avance de la tecnología) (Wang et al., 2007).

## DISCUSIÓN

Ante la problemática medioambiental por el crecimiento económico (producción y consumo acelerado) y demográfico, el análisis de la HE en general permite proponer cambios para una producción sustentable y consumo consciente, orientando la toma de decisiones a diferentes escalas, aunque no es el único indicador que lo hace. La HE ha mejorado en su contabilidad para una evaluación fiable del desarrollo sustentable.

Un análisis temporal del concepto de HE parte de 1996 cuando este fue propuesto para estimar los impactos ambientales de una población humana en un territorio (Rees & Wackernagel, 1996). Para el 2001, esta se consolida en el cálculo de los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresados en unidades de superficie productiva (Wackernagel & Rees, 2001). En el 2008 se crea la HE-CORP, que es un concepto propuesto por Doménech (2006), donde retoma el impacto ambiental en GHA, propuesto por Wackernagel y Rees (2001). Su característica principal es que se miden los impactos negativos en una empresa o corporación, para mantener cadenas de producción-consumo sustentables (Doménech, 2006).

Con respecto a la medición de la HE, esta se está robusteciendo y se refleja en los diferentes usos y aplicaciones que hacen los investigadores. Algunas modificaciones de mejora son las siguientes: para HE y ACV, la articulación de ambos métodos; para HE-CORP, la aplicación de la calculadora del método MC3 en diferentes giros comerciales y países; y para HE-CD, su evaluación por medio de información obtenida de encuestas y no solo de la HE de país.

El método de HE se considera un enfoque útil para determinar la sustentabilidad de las acciones humanas, aunque se han señalado algunos defectos y controversias del modelo básico como la suposición de los tipos de uso del suelo biológicamente productivo que son mutuamente excluyentes cuando se contabilizan, ignorando su complejidad (calidad del suelo, funciones ecológicas, factores socioeconómicos, entre otros) (Zhou et al., 2015), y la necesidad de factores de equivalencia/rendimiento que se utilizan y aplican bajo razonamientos distintos. Además, este método tiene limitaciones para analizar el uso excesivo de la tierra, el agotamiento de los recursos renovables, así como la medición inexacta del componente más relevante en ella: la huella de carbono (Zhang et al., 2017).

El aporte de esta revisión sistemática parte desde la búsqueda de la aplicación HE en distintas escalas (ACV, corporativa y de ciudad). Además, proporciona a los interesados en su valoración una guía sobre las aportaciones a las metodologías más utilizadas, para seleccionar aquella que se adapte mejor a su objeto de estudio. Conjuntamente, se identifica como la HE establece áreas de oportunidad para mitigar los efectos negativos en el medio ambiente. Pero la revisión tiene limitaciones, por realizarse con una sola base de datos (Scopus), así como haber seleccionado los 100-102 documentos de mayor relevancia de acuerdo a la base mencionada.

La innovación de la medición de los impactos ambientales ha traído consigo múltiples revisiones de literatura de HE, como los hallazgos de Herva y Roca sobre las ventajas de combinar HE, ACV y evaluación del riesgo ambiental (Herva & Roca, 2013). Asimismo, se identificó que es enriquecedor integrar HE con ACV (Lo-lacono-Ferreira et al., 2016).

En la revisión de Martínez et al. (2019), los autores mencionan que hay un creciente interés en el dominio de la HE. China es un ejemplo de ello, ya que los trabajos analizados en el eje HE-CD en su mayoría se concentraron en este país, por su política pública medioambiental con el financiamiento de estudios de la NSFC (Zhang et al., 2012, p. 1253). Xie et al. (2020) investigan la visión general de las diversas huellas (hídrica, carbono, energía, entre otras), para identificar las ventajas y los inconvenientes de ellas.

Los artículos examinados fueron publicados desde 1992 y hasta el 2021, haciendo de la HE un tema vigente y un concepto popular en la web, ya que una búsqueda a través de Google Scholar en el 2021 resultó en 51.100 documentos que abordan el tema en diferentes formatos (Google Scholar, 2021). Desde el 2010 a la fecha, en algunos países como en México ha incrementado su estudio (Google Trends, 2021). El concepto de HE en los trabajos parte de la propuesta de Wackernagel y Rees (2001), haciéndolo aún actual. No obstante, algunos trabajos no los citan directamente, pero los autores que ellos citan sí lo hacen (Fiala, 2008; Stöglehner, 2003).

En relación con los hallazgos del análisis de los tres ejes se encontró lo siguiente:

- a. Para HE-ACV existe la dificultad de definir la UF de acuerdo con el bien o servicio (Freitas de Alvarenga et al., 2012; Lo-lacono-Ferreira et al., 2016; Zhang & Bai, 2021), aunado a que, cuanto más compleja sea su estructura o proceso, más lo será su evaluación (Castellani & Sala, 2012; Usubharatana & Phungrassami, 2016). Existen programas como SIMA PRO que facilitan su valoración. En cuanto a su integración, algunos autores afirman que la HE no es adecuada para la evaluación agrícola, pero sí el ACV; sin embargo, otros aseguran que la enriquece (Lo-lacono-Ferreira et al., 2016). En general, la asociación HE-ACV es bien vista por los investigadores en el tema.
- b. El método de HE ha mejorado al igual que el de ACV. Este último tiene complementos específicos como el análisis *input-output*, la productividad primaria neta y la modelización tridimensional. La HE tiene como área de oportunidad definir una taxonomía para comparar su evaluación y así estandarizarla (Lo-lacono-Ferreira et al., 2016). Algunas estrategias de la reducción de los impactos ambientales son proponer el uso de tecnologías sustentables (Husain & Prakash, 2019; Liu et al., 2017; Lo-lacono-Ferreira et al., 2016); informar a los ciudadanos para promover un consumo consciente (Kissinger et al., 2013); y fomentar productos locales ante los importados (Vintilă, 2011).
- c. En el eje HE-CORP, del total de documentos incluidos en la revisión, predominan los trabajos con la metodología MC3, por su practicidad para la evaluación (Álvarez & Rubio, 2015), la cual tiene diferentes niveles de aplicación y es ideal para empresas (Soares & Chaves, 2017), ya que la calculadora que trae consigo permite ser aplicada con la información que se genera en ellas. Esta identifica en qué parte del proceso se generan mayores impactos negativos, dando oportunidad

de crear estrategias específicas para mitigarlos. De los tres ejes analizados en esta revisión, esta es la única aplicada en México.

Las áreas de oportunidad son las siguientes: incrementar el tamaño de muestra para comparar los resultados de más corporaciones agrupándolas según su giro comercial (Szennay et al., 2021); utilizar la ecoeficiencia para establecer estrategias de reducción de impacto ambiental (Bravo-Olivas & Chávez-Dagostino, 2020); identificar la influencia significativa de factores exógenos para la ecoeficiencia (Soares & Chaves, 2017); apoyar el consumo sustentable (Álvarez & Rubio, 2015); analizar los enlaces de la cadena de valor e incluir sus impactos (Cagiao et al., 2011); crear un marco de ACV híbrido para HE-CORP (Ewing et al., 2011); y promover la aplicación del MC3 para la búsqueda de la estandarización (Mateo-Mantecón et al., 2011).

En el eje de HE-CD, los artículos muestran el déficit de la biocapacidad del territorio, ya sea por el tipo de consumo que se realiza (Baabou et al., 2017; Yao et al., 2021) o el crecimiento demográfico en ella (Li et al., 2011), los cuales generan sobrecarga de sus recursos (Belčáková et al., 2017; Tao, 2012; Wang et al., 2007; Wu et al., 2012; Xun & Hu, 2019; Zhou et al., 2009). Se subraya que hay una mayor huella en las zonas residenciales (Sharma et al., 2016) y de mayor ingreso. Además, existe el caso de ciudades que han reducido su HE, pero no significativamente (Li et al., 2009).

El método de Wackernagel y Rees es el más utilizado. No obstante, hay una limitante en cuanto a la falta de información para su evaluación (Świąder et al., 2020), por lo que se utiliza la información obtenida de la HE de país. En algunos casos se realizaron encuestas para acceder a los datos del consumo específico de una ciudad, pero esto implica tiempo y recursos. Para su mitigación se requiere de un incremento de la conciencia ambiental (Galli et al., 2020; Sai et al., 2012) y que su medición apoye las políticas públicas locales (Wackernagel et al., 2006), para que su diseño (Lage Morais et al., 2020) e implementación tengan un enfoque sustentable (Baabou et al., 2017). Las diferencias entre las metodologías utilizadas y cómo se han obtenido los datos, dificultan la comparación aún en la misma categoría.

Las áreas de oportunidad son: integrar en la HE las funciones microclimáticas de las áreas verdes de una ciudad (Belčáková et al., 2017) e incorporar aspectos de la complejidad del territorio; ejemplo de estos podrían ser los económicos, de bienestar social, recursos y tecnología (Wang et al., 2007).

## CONCLUSIONES

A partir del análisis de la revisión sistemática, se observó que la propuesta del concepto de HE de Wackernagel y Rees (2001) continúa vigente. En la metodología se resalta que la combinación de la base de datos Scopus con el modelo PRISMA robustece la realización de una revisión sistemática. Además, en los resultados de los tres ejes de análisis se ha podido profundizar en cada una de ellas para tener un panorama más amplio de sus respectivas aplicaciones.

Las contribuciones del artículo al campo disciplinar es que permite mostrar, por medio de la revisión de los documentos analizados, los cambios respecto al concepto y aplicaciones de la HE en los tres ejes de análisis. Se tiene en cuenta que el estudio de la HE advierte la capacidad de carga de un territorio, lo cual permite un proceso de cambio para la conservación de los recursos naturales, así como la evaluación de los impactos negativos en ellos, por un bien, servicio, corporación o ciudad.

Se reconoce que esta revisión sistemática tiene limitaciones, ya que se llevó a cabo con una sola base de datos. Otra limitante es la de haber seleccionado los 100-102 documentos de mayor relevancia de acuerdo con la base de datos, por cada eje del análisis del periodo 1992-2021 (primer semestre del 2021).

Los trabajos a futuro consistirían en aplicar la HE y ACV de forma integrada con un enfoque de producto; para el caso de las corporaciones, se recomienda aplicar la HE CORP por la metodología MC3 a grupos de empresas del mismo sector económico que permita entre ellas hacer un análisis de sus resultados y así construir alternativas de solución conjuntas. Para el caso de la HE-CD, se fortalecería su evaluación si se incorporara la información extraída de la HE de país, más encuestas o entrevistas a la población de interés.

### DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, D., Stefanoudis, P. V., Fletcher, D. H., Rangel, C., & Da Silva, E. (2014). Population traits of invasive bleak *Alburnus alburnus* between different habitats in Iberian fresh waters. *Limnologia*, 46, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2013.12.003>
- Álvarez, S., & Rubio, A. (2015). Compound method based on financial accounts versus process-based analysis in product carbon footprint: A comparison using wood pallets. *Ecological Indicators*, 49, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.005>
- Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet-Plamondon, C., Gressot, M., & Galli, A. (2017). The ecological footprint of Mediterranean cities: Awareness creation and policy implications. *Environmental Science & Policy*, 69, 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.013>
- Belčáková, I., Diviaková, A., & Belaňová, E. (2017). Ecological footprint in relation to climate change strategy in cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(6), 062021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062021>
- Bernatene, M. R., & Canale, G. J. (2019). Innovación sustentable en Diseño a partir de la integración del análisis de Ciclo de Vida (ACV) con Cadenas Globales de Valor (CGV). *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 69, 151-174. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi69.1106>
- Bravo-Olivas, M. L., & Chávez-Dagostino, R. M. (2020). Sustainable fishing? Ecological footprint analysis of an artisanal fishing organization. *The Open Environmental Research Journal*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/10.2174/1874213002013010001>
- Brunklaus, B., Rex, E., Carlsson, E., & Berlin, J. (2018). The future of Swedish food waste: An environmental

- assessment of existing and prospective valorization techniques. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.240>
- Cagiao, J., Gómez, B., Doménech, J. L., Gutiérrez Mainar, S., & Gutiérrez Lanza, H. (2011). Calculation of the corporate carbon footprint of the cement industry by the application of MC3 methodology. *Ecological Indicators*, 11(6), 1526-1540. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.013>
- Campbell, M., McKenzie, J. E., Sowden, A., Katikireddi, S. V., Brennan, S. E., Ellis, S., Hartmann-Boyce, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: Reporting guideline. *BMJ*, 368. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6890>
- Castellani, V., & Sala, S. (2012). Ecological footprint and life cycle assessment in the sustainability assessment of tourism activities. *Ecological Indicators*, 16, 135-147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.002>
- Doménech, J. L. (2006). *Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa* [Ponencia]. Terceros Encuentros Internacionales sobre “Desarrollo sostenible y población” (Universidad de Málaga). Málaga, España. [https://elimpactoambiental.files.wordpress.com/2008/11/huella\\_ecologica\\_corporativa.pdf](https://elimpactoambiental.files.wordpress.com/2008/11/huella_ecologica_corporativa.pdf)
- Doménech, J. L., & Carballo, A. (2009). Huella ecológica corporativa. El método compuesto de las cuentas contables (MC3): una alternativa para estimar la huella ecológica de empresas y organizaciones. *UAI Sostenibilidad*, 3(4), 34-52. <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/uaisreview/UAI Sostenibilidad4.pdf>
- Ecoil. (s. f.). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV)*. [http://www.ecoil.tuc.gr/LCA-2\\_SP.pdf](http://www.ecoil.tuc.gr/LCA-2_SP.pdf)
- Elsevier. (2021). *Acerca de Elsevier*. Consultado el 07 de junio de 2021, en <https://www.elsevier.com/es-mx/about>
- Eurofins. (2021, junio 1). *ISO 14040: Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. Eurofins. <https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/>
- Ewing, A., Thabrew, L., Perrone, D., Abkowitz, M., & Hornberger, G. (2011). Insights on the use of hybrid life cycle assessment for environmental footprinting. A case study of an Inland Marine Freight Transportation Company. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 937-950. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00374.x>
- Fiala, N. (2008). Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. *Ecological Economics*, 67(4), 519-525. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.023>
- Freitas de Alvarenga, R. A., Da Silva Júnior, V. P., & Soares, S. R. (2012). Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. *Journal of Cleaner Production*, 28, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.023>
- Galli, A., Iha, K., Moreno Pires, S., Mancini, M. S., Alves, A., Zokai, G., Lin, D., Murthy, A., & Wackernagel, M. (2020). Assessing the ecological footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. *Cities*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102442>
- Google Scholar. (2021). Ecological footprint 1990-2021. En *Google Académico*. Consultado el 15 de junio de 2021, en <https://scholar.google.com/>
- Google Trends. (2021). Huella ecológica. En *Google Trends México*. Consultado el 15 de junio de 2021, en <https://trends.google.es/trends/?geo=MX>



- Herva, M., & Roca, E. (2013). Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 39, 355-371.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.058>
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics*, 64(1), 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.023>
- Huijbregts, M. A. J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K., & Hendriks, A. J. (2008). Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. *Ecological Economics*, 64(4), 798-807.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.04.017>
- Husain, D., Garg, P., & Prakash, R. (2021). Ecological footprint assessment and its reduction for industrial food products. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(1), 26-38.  
<https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1665119>
- Husain, D., & Prakash, R. (2019). Life cycle ecological footprint assessment of an academic building. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 100(1), 97-110. <https://doi.org/10.1007/s40030-018-0334-3>
- Kissinger, M., Sussman, C., Moore, J., & Rees, W. E. (2013). Accounting for the ecological footprint of materials in consumer goods at the urban scale. *Sustainability*, 5(5), 1960-1973.  
<https://doi.org/10.3390/su5051960>
- Lage Morais, C. R., Cardoso Fernandes, A. R. A., Santos Franco, E., Marques, I. C., & Rodrigues Marques Sakiyama, N. (2020). The ecological footprint of João Monlevade city, Brazil - Conventional Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(1), 022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/2/022025>
- Li, B., Hao, L. X., & Liu, H. (2009, junio 11-13). *Dynamic analysis on the ecological footprint of Pinggu District, Beijing City* [Conference session]. 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, (ICBBE 2009). Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2009.5162666>
- Li, S., Yuan, W., Shi, T. M., & Zhou, L. (2011). Dynamic analysis of ecological footprints of Nanchong City in the process of urbanization. *Procedia Engineering*, 15, 5415-5419.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.1004>
- Liu, H., Wang, X., Yang, J., Zhou, X., & Liu, Y. (2017). The ecological footprint evaluation of low carbon campuses based on life cycle assessment: A case study of Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*, 144, 266-278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.017>
- Liu, X. T., Sheng, Z. F., & Wang, Y. L. (2011). Study on tourism ecological footprint of Loudi city in Hunan “3+5” urban agglomeration. *Applied Mechanics and Materials*, 55-57, 1566-1571.  
<https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.55-57.1566>
- Lo-Iacono-Ferreira, V. G., Torregrosa-López, J. I., & Capuz-Rizo, S. F. (2016). Use of Life Cycle Assessment methodology in the analysis of Ecological Footprint Assessment results to evaluate the environmental performance of universities. *Journal of Cleaner Production*, 133, 43-53.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.046>
- Martínez, S., Delgado, M. M., Martínez Marín, R., & Álvarez, S. (2019). Science mapping on the Environmental Footprint: A scientometric analysis-based review. *Ecological Indicators*, 106, 105543.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105543>
- Mateo-Mantecón, I., Coto-Millán, P., Doménech, J. L., & Pesquera-González, M. (2011). Measurement of

- the ecological and carbon footprint in Port Authorities: Comparative study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2222(1), 80-84. <https://doi.org/10.3141/2222-10>
- Onat, N. C., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2014). Towards life cycle sustainability assessment of alternative passenger vehicles. *Sustainability*, 6(12), 9305-9342. <https://doi.org/10.3390/su6129305>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(89), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Pickering, C., & Byrne, J. (2014). The benefits of publishing systematic quantitative literature reviews for PhD candidates and other early-career researchers. *Higher Education Research and Development*, 33(3), 534-548. <https://doi.org/10.1080/07294360.2013.841651>
- PRISMA. (2021). PRISMA Flow Diagram. PRISMA. <http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram>
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. P., Suh, S., Weidema, B. P., & Pennington, D. W. (2004). Review. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5), 701-720. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>
- Rees, W. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environment & Urbanization*, 4(2), 121-130. <https://doi.org/10.1177/095624789200400212>
- Rees, W., & Wackernagel, M. (1996). Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16(4-6), 223-248. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(96\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(96)00022-4)
- Sai, Y., Cai, J., Li, H., & Wang, W. (2012). Calculation and analysis of ecological footprint on cities of the Poyang Lake Ecological Economic Zone. *Advanced Materials Research*, 368-373, 3184-3191. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.368-373.3184>
- Santoso, E. B., & Aulia, B. U. (2018). Ecological sustainability level of Surabaya City based on ecological footprint approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 202(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/202/1/012044>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2012). Huella ecológica, datos y rostros. SEMARNAT. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001598.pdf>
- Sharma, K., Sharma, S. K., & Mathur, P. (2016). Calculation and analysis of the urban ecological footprint: A case study of Ajmer City, India. *Indian Journal of Ecology*, 43(1), 50-52.
- Shi, Y., Shao, C., & Zhang, Z. (2020). Efficiency and driving factors of green development of tourist cities based on ecological footprint. *Sustainability*, 12(20), 1-23. <https://doi.org/10.3390/SU12208589>
- Siddiqui, O., & Dincer, I. (2017). Comparative assessment of the environmental impacts of nuclear, wind and hydro-electric power plants in Ontario: A life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 164, 848-860. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.237>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.07.039>
- Soares, L., & Chaves, C. (2017). Sustainability and the firm: From the global to the corporate ecological footprint. En L. Zacher (Ed.), *Technology, society and sustainability* (pp. 397-423). Springer.

- [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47164-8\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47164-8_28)
- Stögllehner, G. (2003). Ecological footprint-a tool for assessing sustainable energy supplies. *Journal of Cleaner Production*, 11(3), 267-277. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00046-X)
- Sui, L., Yuan, W., Shi, T., & Zhou, L. (2011). Dynamic analysis of ecological footprints of Nanchong City in the process of urbanization. *Procedia Engineering*, 15, 5415-5419. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.1004>
- Świąder, M., Lin, D., Szewrański, S., Kazak, J. K., Iha, K., Van Hoof, J., Belčáková, I., & Altiok, S. (2020). The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment: A new approach for European cities. *Environmental Science and Policy*, 105, 56-74. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.12.010>
- Szennay, Á., Szigeti, C., Beke, J., & Radácsi, L. (2021). Ecological footprint as an indicator of corporate environmental performance – Empirical evidence from hungarian SMES. *Sustainability*, 13(2), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su13021000>
- Tao, X. (2012). Study on ecological security of resource-based city based on ecological footprint theory. *Proceedings of the 2012 24th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2012*, 1737-1741. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2012.6244279>
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaánalisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Usubharatana, P., & Phungrassami, H. (2016). Ecological footprint analysis of canned sweet corn. *Journal of Ecological Engineering*, 17(3), 22-29. <https://doi.org/10.12911/22998993/63320>
- Varun, M., D'Souza, R., Pratas, J., & Paul, M. S. (2012). Metal contamination of soils and plants associated with the glass industry in North Central India: Prospects of phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(1), 269-281. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0530-4>
- Vintilă, I. (2011). Ecological footprint evaluation of improved student's menus using fishery products. *AACL Bioflux*, 3(3), 247-254. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2010.3.247-253.pdf>
- Wackernagel, M., Kitzes, J., Moran, D., Goldfinger, S., & Thomas, M. (2006). The ecological footprint of cities and regions: Comparing resource availability with resource demand. *Environment and Urbanization*, 18(1), 103-112. <https://doi.org/10.1177/0956247806063978>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (2001). *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*. LOM ediciones.
- Wang, Y., Jiang, Y., Zheng, Y., & Wang, H. (2019). Assessing the ecological carrying capacity based on revised three-dimensional ecological footprint model in Inner Mongolia, China. *Sustainability*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/SU11072002>
- Wang, L., Liu, Y., & Chen, T. (2007). Change of ecological footprint and analysis of ecological sustainability—Taking Zhangjiakou City as an example. *Chinese Geographical Science*, 17(1), 40-46. <https://doi.org/10.1007/S11769-007-0040-Y>
- Wu, M., Yao, Y., Jia, F., & Wang, L. (2012). Ecological footprint analysis of resource-based and heavy industrial city sustainable development. *Advanced Materials Research*, 361-363, 1664-1668. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.361-363.1664>
- Xie, Y., Li, X., Hu, X., & Hu, X. (2020). The landscape of academic articles in environmental footprint family research: A bibliometric analysis during 1996-2018. *Ecological Indicators*, 118, 106733.

- <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106733>
- Xun, F., & Hu, Y. (2019). Evaluation of ecological sustainability based on a revised three-dimensional ecological footprint model in Shandong Province, China. *Science of the Total Environment*, 649, 582-591. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.116>
- Yao, H., Zhang, Q., Niu, G., Liu, H., & Yang, Y. (2021). Applying the GM(1,1) model to simulate and predict the ecological footprint values of Suzhou City, China. *Environment, Development and Sustainability*, 23(8), 11297-11309. <https://doi.org/10.1007/S10668-020-01111-3>
- Zhang, L., Dzakpasu, M., Chen, R., & Wang, X. C. (2017). Validity and utility of ecological footprint accounting: A state-of-the-art review. *Sustainable Cities and Society*, 32, 411-416. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2017.04.016>
- Zhang, L., & Bai, W. (2021). Sustainability of crop-based biodiesel for transportation in China: Barrier analysis and life cycle ecological footprint calculations. *Technological Forecasting and Social Change*, 164, 120526. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120526>
- Zhang, P. Y., Hu, C. H., Qin, M. Z., Yan, J. H., & Zhao, Y. P. (2012). The study on surveys and evaluation of living consumption level of urban residents based on the ecological footprint. *Advanced Materials Research*, 616-618, 1249-1253. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.616-618.1249>
- Zhang, X. J. (2013). Research on sustainable development capacity of yellow river wetland based on the ecological footprint model -A case of Dongying. *Advanced Materials Research*, 749, 110-117. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.749.110>
- Zhang, X., Xu, L., Chen, Y., & Liu, T. (2020). Emergy-based ecological footprint analysis of a wind farm in China. *Ecological Indicators*, 111, 106018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106018>
- Zhou, T., Wang, Y., Gong, J., Wang, F., & Feng, Y. (2015). Ecological footprint model modification and method improvement. *Shengtai Xuebao*, 35(14), 4592-4603. <https://doi.org/10.5846/STXB201311182756>
- Zhou, T., Wang, Y., & Wang, F. (2009, mayo 20-22). A dynamic assessment of ecological footprint and biocapacity in Guangzhou using RS and GIS [Conference session]. 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, Shanghai, China. <https://doi.org/10.1109/URS.2009.5137719>