



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evolución de los Métodos de Inventario de las Emisiones de  
Gases de Efecto Invernadero en las Ciudades: Revisión  
Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Lazo Arteaga Marilyn Cristhina (ORCID: 0000-0003-1479-0392)

Yancapallo Cruz Shirley Sofia (ORCID: 0000-0003-0559-4971)

**ASESOR:**

Dr. Espinoza Farfán, Eduardo Ronald (ORCID: 0000-0003-4418-7009)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riegos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a nuestros queridos abuelos y padres. Fue su compañía y el amor que impulso para concluir esta etapa.

A mi madre Cristina que desde el cielo ella me guía desde muy pequeña y me acompaña en cada logro y aún más en las derrotas.

## **Agradecimiento**

A los docentes de la Universidad Cesar Vallejo de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas, tiempo y apoyo.

A mis familiares y amigos cercanos que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente en todo momento.

## Índice de contenidos

Caratula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de Diagramas	vi
Índice de Abreviaturas	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	15
3.3. Escenario de estudio	18
3.4. Participantes	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.6. Procedimientos	19
3.6.1. Preguntas de investigación, bases de datos y términos de búsqueda	19
3.6.2. Protocolo de revisión	19
3.7. Rigor científico	21
3.8. Método de análisis de información	21
3.9. Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS	24
4.1. Resumen de la literatura seleccionada	24
4.2. Análisis de los métodos de inventario de GEI a escala urbana	30
4.3. Método de estimación del transporte según los métodos de inventario de GEI	33
V. DISCUSIÓN	37
5.1. Resumen de la literatura seleccionada	37

5.2.	Métodos de inventario de GEI a escala urbana	39
5.3.	Métodos de contabilidad de las emisiones del transporte por carretera en toda la ciudad	41
VI.	CONCLUSIONES	43
VII.	RECOMENDACIONES	45
VIII.	REFERENCIAS	46

## Índice de tablas

<b>Tabla N° 1:</b> Matriz de categorización apriorística	16
<b>Tabla N° 2:</b> Artículos analizados para la revisión sistemática	26
<b>Tabla N° 3:</b> Tipos de datos relacionados con el transporte	36

## Índice de figuras

<b>Figura Nº 1:</b>	Distribución de artículos entre los plazos revisados	19
<b>Figura Nº 2:</b>	Protocolo de revisión	21
<b>Figura Nº 3:</b>	Distribución de artículos por país y métodos de inventario de GEI	29
<b>Figura Nº 4:</b>	Red bibliométrica de relaciones de coautoría en la revisión Sistemática	31
<b>Figura Nº 5:</b>	Métodos de inventario de GEI identificados en la bibliografía ordenada según la etiqueta de la HCU	32
<b>Figura Nº 6:</b>	Métodos de inventario de GEI según el objetivo de los Artículos	34
<b>Figura Nº 7:</b>	Método de estimación del transporte según los métodos de inventario de GEI	35

## Resumen

La capacidad de las ciudades para actuar en la mitigación del cambio climático es esencial para cumplir el objetivo del Acuerdo de París. Para ello, las ciudades deberían establecer una política climática eficaz que requiera, como primer paso, un inventario completo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El inventario preciso de GEI a escala urbana permite a las ciudades desarrollar, implementar y rastrear medidas de solución climática, principalmente las relacionadas con el transporte. La compilación de un inventario de GEI a escala de ciudad requiere un método estandarizado y datos de actividad actualizados. Esta revisión sistemática examina críticamente 40 artículos en los últimos 20 años para (1) identificar los métodos de inventario de GEI a escala de ciudad que se están aplicando en todo el mundo, (2) evaluar cómo están evolucionando estos métodos, (3) explicar cómo se están estimando las emisiones del sector del transporte, y (4) determinar qué tipos de datos y fuentes de datos relacionados con el transporte se están utilizando. El examen se limitó a los artículos que trataban del proceso de compilación de un inventario de GEI. Los resultados demuestran que los métodos de inventario de GEI a escala urbana evolucionaron de las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) a una variedad de métodos de contabilidad de GEI que ofrecen niveles de complejidad para estimar las emisiones a escala urbana. Aunque los métodos de inventario de GEI para las ciudades han avanzado a lo largo de los años, casi un tercio de los artículos examinados se centraron en la propuesta de un marco de inventario de GEI, ajustando los métodos actuales a la realidad de cada ciudad o proponiendo otros nuevos. La mayoría de las ciudades analizadas carecen de datos relacionados con el transporte local para medir las emisiones de GEI sobre la base del enfoque ascendente. Sin embargo, más del 40% de los artículos lograron entregar el inventario ascendente utilizando una diversidad de tipos de datos y fuentes. Esta revisión muestra que todavía hay un camino para lograr un método globalmente compatible.

**Palabras clave:** Cambio climático; Ciudades; Datos relacionados con el transporte; Emisiones de CO<sub>2</sub>; Métodos de inventario de GEI



## Abstract

The ability of cities to act on climate change mitigation is essential to meet the objective of the Paris Agreement. To this end, cities should establish an effective climate policy that requires, as a first step, a comprehensive inventory of greenhouse gas (GHG) emissions. Accurate urban-scale GHG inventory enables cities to develop, implement and track climate solution measures, primarily those related to transport. The compilation of a city-wide GHG inventory requires a standardized method and up-to-date activity data. This systematic review critically examines 40 items over the past 20 years to (1) identify city-wide GHG inventory methods being applied worldwide, (2) assess how these methods are evolving, (3) explain how emissions from the transport sector are being estimated, and (4) determine what types of transport-related data and data sources are being used. The review was limited to items that dealt with the process of compiling a GHG inventory. Results show that urban-scale GHG inventory methods evolved from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines a variety of GHG accounting methods that offer levels of complexity for estimating emissions at the urban scale. Although GHG inventory methods for cities have advanced over the years, almost one third of the items reviewed focused on the proposal for a GHG inventory framework, adjusting current methods to the reality of each city or proposing new ones. Most cities analysed lack local transport-related data to measure GHG emissions based on the bottom-up approach. However, more than 40 per cent of the items managed to deliver the bottom-up inventory using a variety of data types and sources. This review shows that there is still a way to achieve a globally compatible method.

**Keywords:** Cities; Climate change; GHG inventory methods; CO<sub>2</sub> emissions; Transport-related data

## I. INTRODUCCIÓN

Muchas ciudades de todo el mundo reconocen su impacto en el cambio climático y se han comprometido a alcanzar ambiciosos objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a largo plazo. El hecho de que las ciudades se comprometan a reducir sus emisiones de GEI sugiere que las acciones autoorganizadas a escala urbana podrían compensar las deficiencias de los tratados internacionales sobre el clima, la regulación y el financiamiento climático/mercados de carbono (United Nations Framework Convention on Climate Change 2015). Las metas típicas de mitigación a corto plazo de las ciudades oscilan entre un 30% y un 50% de reducción para 2030 en comparación con las emisiones estimadas en el año de referencia elegido por una ciudad. Las ciudades más ambiciosas tienen como objetivo lograr la neutralidad del carbono o ser emisores netos cero para 2050 (ONU-Hábitat 2016).

Una contabilidad completa, o inventario, de las emisiones de GEI no sólo establece una base de referencia a partir de la cual priorizar las acciones, sino que también ayuda a una ciudad a monitorear el progreso si se actualiza periódicamente. Aunque existen diferentes formas de contabilizar las emisiones, todos los enfoques tienen por objeto obtener estimaciones precisas, comparables, exhaustivas y completas (Rosenzweig et al. 2010). Se han desarrollado varias directrices, cada una de las cuales tiene una perspectiva ligeramente diferente de cómo una ciudad debe dar cuenta de sus emisiones. (Mi et al. 2019)

Las ciudades, como lugares de prosperidad e innovación, tienen los recursos y las herramientas necesarias para disminuir las causas del cambio climático (Rosenzweig et al. 2010). Como primer paso para completar una política climática efectiva, las autoridades de las ciudades deben establecer inventarios de emisiones de GEI (Wright et al. 2011). Las emisiones de GEI pueden liberarse dentro de los límites políticos espaciales de la ciudad, como las emisiones de transporte, la quema de

combustibles fósiles para calefacción, etc. Además, hay emisiones de GEI que resultan de las actividades de la ciudad, como la generación de electricidad, pero estas emisiones generalmente ocurren fuera de los límites de las ciudades. Por último, las emisiones adicionales fuera de los límites suelen estar relacionadas con la energía incorporada de materiales urbanos esenciales, por ejemplo, hormigón, combustibles para el transporte, alimentos y agua (Ramaswami et al. 2008).

Utilizando este marco, las emisiones se estiman combinando datos de actividad con factores de emisión sectoriales obtenidos, por ejemplo, de la base de datos de factores de emisión del IPCC, para proporcionar emisiones por sector económico. Desde esta perspectiva, sólo se registran las emisiones de GEI del alcance 1 (es decir, las emisiones resultantes directamente de actividades que tienen lugar dentro de la jurisdicción de una ciudad) (Ibrahim, Sugar y Hoornweg 2012). La huella de carbono se convirtió en sinónimo de contabilidad integral de GEI durante las etapas del ciclo de vida de los productos y/o actividades (Pandey, Agrawal y Pandey 2011). Aunque son necesarias metodologías holísticas para evaluar la huella de carbono de las ciudades, éstas siguen faltando a escala urbana. De hecho, existen pocas métricas para evaluar y mejorar la sostenibilidad de las ciudades. En la actualidad, teniendo en cuenta la creciente concienciación sobre el cambio climático y la escasez de agua, la huella de carbono es el método más utilizado para evaluar el comportamiento ambiental de las ciudades, a pesar de su limitado alcance. (Galli et al. 2012; Wiedmann y Minx 2008).

La actual crisis climática exige que las autoridades de las ciudades realicen inventarios de GEI con precisión para facilitar que las ciudades desarrollen, implementen y rastreen los tipos de soluciones climáticas, principalmente las relacionadas con el transporte, que están mejor posicionadas para influir (Erickson y Morgenstern 2016). Dos componentes son esenciales para informar sobre las emisiones de GEI a escala urbana: un método estandarizado y datos de actividad actualizados (Sugar, Kennedy y Leman 2012). Sin embargo, persisten algunas lagunas

de conocimiento en este campo. Todavía se piensa en la compilación de un inventario completo de GEI a escala de ciudad debido a: la falta de datos; la definición de límites urbanos físicos; y la elección de métodos de cálculo (Creutzig et al. 2019; Lombardi et al. 2017; Martire, Mirabella y Sala 2018).

Con el fin de comparar diferentes Huella de Carbono Urbana (HCU) y hacer posible la adopción de estrategias y acciones climáticas comunes en todo el mundo, es necesario un "protocolo global acordado" para estandarizar los marcos de contabilidad y presentación de informes de GEI (Lombardi et al. 2017). Aunque se ha avanzado mucho en el desarrollo de una metodología estándar de inventario de GEI para las ciudades, como el Protocolo Global para la Escala Comunitaria (PGEC) (World Resources Institute 2014), todavía faltan directrices confiables sobre emisiones fuera de límites (Wiedmann, Chen y Barrett 2016).

El Protocolo Mundial para los Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (CPG) ofrece un marco que se basa en las metodologías existentes para calcular y notificar las emisiones de GEI en toda la ciudad. No ofrece una metodología exclusiva, pero presenta las directrices para medir y divulgar un inventario completo de las emisiones de GEI y contabilizar todas estas emisiones. Las emisiones totales consideradas incluyen las emisiones procedentes de actividades de consumo/producción que tienen lugar dentro de los límites de la ciudad; estas emisiones se clasifican según el lugar en que se producen. Creutzig et al. (2019) describieron tres rutas para obtener datos urbanos de alta calidad para soluciones climáticas: la recopilación de datos en ciudades de todo el mundo; la explotación del big data; y la aplicación de técnicas de ciencia de datos para explorar la información publicada.

El sector del transporte se centra cada vez más en la mitigación del cambio climático. Las emisiones de GEI del transporte pueden variar según la base económica y la forma urbana de la ciudad (Dulal y Akbar 2013). De un análisis de 79 ciudades en todo el mundo, en el 70% de las

ciudades las emisiones del sector del transporte contribuyeron hasta un 20-45% a las emisiones de gases de efecto invernadero de la ciudad (Cities 2019). Sin embargo, debido a las técnicas de estimación y también a la disponibilidad de datos, las emisiones procedentes del transporte presentan un mayor nivel de incertidumbre en la cuenta total de emisiones de GEI a escala urbana (Kennedy et al. 2010).

Los investigadores también están mejorando activamente los elementos del proceso de inversión que conducen a una cierta incertidumbre sobre las emisiones estimadas. Estos incluyen: mejorar los modelos de transporte que vinculan las observaciones a las emisiones en lugares específicos, separar el CO<sub>2</sub> atmosférico que entra en el dominio de una ciudad, distinguir las fuentes antropogénicas de los flujos biogénicos, y ampliar el conjunto de medidas para restringir sectores específicos, etc. (La Notte, Tonin y Lucaroni 2018; Zhang et al. 2019).

El propósito de este examen sistemático es determinar qué métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se están aplicando en las ciudades como resultado de los progresos realizados en la contabilidad de GEI, y también estudiar la manera en que las ciudades están superando los problemas conocidos de completar un inventario. Además, la revisión tiene por objeto clasificar cómo se estiman las emisiones del sector del transporte y cuáles son los tipos de datos y las fuentes de datos relacionados con el transporte que se utilizan para evaluar la disponibilidad de datos para la movilidad urbana.

En base a lo expuesto, se desprende el problema general de la investigación: ¿Cómo han evolucionado los métodos de inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades? Así mismo, de este se formulan los problemas específicos siguientes:

- **PE1:** ¿Qué métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se están aplicando en todo el mundo?

- **PE2:** ¿Qué tipos y fuentes de datos relacionados con el transporte se están utilizando para el inventario de GEI a escala de ciudad?

El objetivo general fue Evaluar la evolución de los métodos de inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- **OE1:** Analizar los métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se están aplicando en todo el mundo.
- **OE2:** Identificar los tipos y fuentes de datos relacionados con el transporte que se están utilizando para el inventario de GEI a escala de ciudad

## II. MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan los antecedentes más relevantes en respuesta a evaluar la evolución de los métodos de inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades.

Pulselliet al. (2019) presentaron una metodología de contabilidad de carbono optimizada para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en entornos urbanos específicos e informar las políticas y el diseño urbanos. El procedimiento se inició perfilando el hogar típico como unidad funcional, cuya huella de carbono se estimó en 6,93 tCO<sub>2</sub>-eq/año, referido al uso de energía para vivienda y movilidad, tratamiento de residuos domésticos y uso de agua. El impacto de la vecindad europea promedio se obtuvo escalando hasta 10,000 hogares (23,000 habitantes) como punto de referencia para futuras aplicaciones. Un resultado adicional se refiere a la visualización espacial innovadora de los resultados en términos de tierras forestales equivalentes (por ejemplo, la emisión de un hogar europeo promedio corresponde a la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida anualmente por 0,51 ha de bosque), que permite comprender la intensidad y el tamaño de los impactos en con el fin de apoyar de manera constante las iniciativas de sensibilización dirigidas a los ciudadanos y las partes interesadas, además de las actividades de comunicación y difusión.

Lu y Li (2019) en su estudio intentaron construir un marco de inventario de emisiones de GEI basado en investigaciones para las ciudades. Incluyeron emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub> de cinco fuentes: actividad energética, procesos industriales / uso de productos, cambio en el uso de la tierra / silvicultura y eliminación de desechos. Este estudio luego utiliza Baoding como un caso de estudio para analizar sus características de emisión, Baoding es una ciudad piloto de bajas emisiones de carbono en China. Los resultados muestran que la actividad energética es la fuente de emisión más alta seguida por los procesos de eliminación de residuos en Baoding. Las emisiones inducidas por la entrada de electricidad

procedente de otras provincias o ciudades representan también otra proporción considerable de emisiones. Además, la actividad agrícola, que es una industria pilar en Baoding, es la que más contribuye a las emisiones de metano. Se proporcionaron varias recomendaciones de política de reducción de emisiones.

Bellinson y Chu (2019) basaron su investigación en las teorías del aprendizaje institucional y la gobernanza urbana para ofrecer una distinción conceptual entre las innovaciones en la gobernanza y la gobernanza de las innovaciones en el contexto de la resiliencia y la adaptación climáticas. Aplicaron estos conceptos para evaluar los estudios de caso de Rotterdam y Berkeley, donde destacaron los actores, redes y recursos necesarios para motivar y sostener acciones contra intereses sectoriales concurrentes. Las experiencias de las dos ciudades mostraron que las vías de aprendizaje se construyen y cosifican a través de procesos de comunicación y negociación, lo que puede resultar en la puesta a tierra de los recursos de las redes municipales transnacionales. Concluyeron en que un enfoque en analizar las variaciones en el aprendizaje y la implementación dentro de las ciudades en diversos contextos políticos y económicos puede ofrecer información sobre las oportunidades para permitir formas de innovación más significativas y sostenidas.

Feola et al. (2019) analizan lo que se conceptualiza como la dinámica más 'gradual' y 'ordinaria' del despojo de tierras en los espacios periurbanos de la pequeña ciudad de Sogamoso, Colombia. Sobre la base de 38 entrevistas semiestructuradas con informantes clave, exploraron las acciones cotidianas, los actores y las relaciones de poder involucradas en el expansionismo urbano, la minería, la agricultura y la conservación de los ecosistemas, ya que estas actividades buscan coexistir y competir por la misma cantidad relativamente escasa de áreas periurbanas. Descubrieron que la apropiación de la tierra se ve facilitada por la incoherencia de las políticas de varios niveles y las fallas de la gobernanza municipal. La incoherencia de las políticas genera incertidumbre



normativa y una gobernanza ambiental débil, mientras que la falta de gobernanza municipal coordinada en los espacios periurbanos conduce a más conflictos a pequeña escala, 'ordinarios' y, por lo tanto, 'invisibles', en detrimento de los medios de vida de los ciudadanos. Este artículo contribuye a comprender la apropiación de suelo urbano espacialmente diferenciado y su articulación con conflictos de uso de suelo, regímenes de gobernanza y relaciones de poder locales, graduales, sutiles y más ocultos a la escala de lo cotidiano.

Muñiz y Rojas (2019) analizaron la densidad de población como determinante de la movilidad y las emisiones de GEI residenciales en Gran Concepción (Chile) mediante modelos de regresión multivariante. En el caso de la densidad de población, argumentan que promueve los desplazamientos de pie y transporte público, y que los típicos apartamentos de tejidos compactos requieren menos energía que las viviendas unifamiliares. Se expone el cuestionamiento de esta asociación porque: a) pueden existir comportamientos compensatorios, más consumo de energía y más emisiones de GEI en movilidad y vivienda durante los fines de semana y festivos, y b) el hecho de no considerar los efectos de la endogeneidad asociada a autoselección. Los resultados obtenidos indicaron que la densidad no ejerce un impacto significativo sobre las emisiones de GEI en movilidad y vivienda. Son las diferencias de ingresos las que explicaron principalmente la variabilidad de las emisiones de GEI individuales. Esto pone en duda la posible eficacia de la compacidad, políticas en contextos regionales, culturales y climáticos diferentes a los de EE. UU. y Europa, y el que están excesivamente orientadas al mantenimiento y aumento de la densidad en los centros urbanos y ralentizar la expansión de los barrios suburbanos.

Jones, Wheeler y Kammen (2018) para su estudio cuantifican el potencial de las políticas y programas locales para alcanzar objetivos agresivos de reducción de GEI utilizando un modelo de planificación de alta resolución geoespacial basado en el consumo para el estado de California. Encontraron que aproximadamente el 35% de todo el potencial de

reducción de la huella de carbono en todo el estado proviene de actividades, al menos parcialmente, que están bajo el control de los gobiernos locales. El estudio muestra una gran variación en el tamaño y la composición de las huellas de carbono y las oportunidades de reducción en ~ 23,000 grupos de bloques censales (es decir, a escala de vecindario dentro de las ciudades), 717 ciudades y 58 condados en todo el estado. Estos datos y las herramientas en línea complementarias pueden ayudar a las ciudades a comprender mejor las prioridades para reducir los gases de efecto invernadero desde una perspectiva integral basada en el consumo, con una posible aplicación a todo Estados Unidos e internacionalmente.

Sówka y Bezyk (2018) analizaron el proceso de construcción de un inventario de emisiones de GEI, que probablemente permitiría a las ciudades gestionar con más fuerza sus esfuerzos y establecer objetivos realistas de reducción de emisiones. El trabajo incluye la determinación de herramientas de estimación de emisiones de GEI y enfoques utilizados para la estimación de fuentes clave de estas emisiones a nivel local. La tarea real fue la determinación de los principales sectores emisores de GEI, incluidas las características clave de estas fuentes de emisiones a nivel local, estableciendo objetivos para la reducción de emisiones en el área urbana de Wrocław, Polonia. Las emisiones totales de gases de efecto invernadero del municipio de Wrocław en 2013 fueron un 7,2 por ciento más bajas que las de 1990. El consumo de energía es uno de los principales contribuyentes de las emisiones responsables del 63% del CO<sub>2</sub> en toda la ciudad a través del consumo de electricidad y calefacción de distrito e individual utilizando energía de carbón y gas natural. fuentes. Con el fin de determinar el progreso de la ciudad hacia la neutralidad de carbono urbano, se proyectó la reducción de las emisiones en un 25% para 2020 y un 80% para 2050.

Jing et al. (2018) para su investigación construyeron un método de arriba hacia abajo para la estimación de emisiones de carbono relacionadas con la energía a escala de ciudad en China. Basándose en las tablas de

balance energético provincial y utilizando los datos socioeconómicos a nivel de ciudad disponibles como indicadores, redujeron el consumo de energía provincial al nivel de la ciudad. Compararon sus resultados de estimación con datos de fuentes puntuales a nivel de ciudad y encontramos que para las 41 ciudades chinas a las que aplicaron este método, la diferencia estaba dentro del 10%, mientras que para 25 de estas ciudades, la diferencia estaba dentro del 5%. Por lo tanto, consideraron que su método es razonablemente preciso. También subdividieron las emisiones de carbono de la ciudad en tres categorías principales de energía (relacionadas con el carbón, relacionadas con el petróleo y relacionadas con el gas) y encontraron que la diferencia podría atribuirse principalmente a las emisiones de energía relacionadas con el carbón.

Long y Yoshida (2018) para cuantificar las emisiones a escala de ciudad teniendo en cuenta el flujo de energía regional, aplicaron la tabla de entrada-salida de Tokio para evaluar el consumo de energía a escala de ciudad. En Japón, Tokio se considera representativo de la estructura energética urbana japonesa contemporánea, y su consumo de energía y CO<sub>2</sub> asociado. Aquí, la producción nacional de Tokio y otras regiones se utilizaron para cuantificar las emisiones directas e indirectas derivadas del consumo final de Tokio. Sus resultados se dividen en específicos del sector y específicos de la fuente de combustibles fósiles (carbón, petróleo crudo y gas natural) para las emisiones directas e indirectas. Los principales hallazgos fueron los siguientes: (1) El sector del transporte representa la mayor parte de las emisiones directas en Tokio. (2) Los sectores de suministro de energía, construcción y servicios privados representan la mayor parte de las emisiones indirectas en Tokio. (3) Hubo tres alcances de responsabilidad de emisión evaluados en este estudio: emisión directa antes de la asignación (BE) como 12,88 MtC, después de la asignación (AE) como 18,91 MtC, y el total, incluidas las emisiones indirectas, es 27,24 MtC, que es más del doble de las emisiones directas antes de la asignación.

Kleingeld et al. (2018) informaron sobre la variabilidad temporal de los flujos de dióxido de carbono en el centro de la ciudad de Arnhem, una ciudad holandesa de tamaño medio. Los flujos se midieron continuamente durante cuatro años (2012-2016) utilizando el método de covarianza de remolinos. Además, se realizaron mediciones meteorológicas continuas. También analizaron datos de recuentos de tráfico de 30 minutos realizados durante esos años. Los resultados indicaron que el centro de la ciudad de Arnhem es una fuerte fuente de emisión de CO<sub>2</sub>. La heterogeneidad dentro de la huella de la torre EC pareció tener poca o ninguna influencia en los flujos de carbono anuales y estacionales estimados. El análisis del sector mostró que el flujo de CO<sub>2</sub> está claramente correlacionado con la intensidad del tráfico, mientras que la variación estacional puede explicarse en gran medida por la demanda de calefacción de espacios. La división del flujo total en un flujo relacionado con la calefacción y el tráfico reveló que la calefacción de espacios representa hasta el 60% del flujo total durante el invierno. Concluyeron que la intensidad del tráfico se mantuvo más o menos constante durante todo el año. La contribución de la pequeña fracción de verde urbano en el centro de la ciudad es probablemente mínima.

Se procede a explicar el impacto del urbanismo y del CO<sub>2</sub> atmosférico en el cambio climático de las ciudades de Latinoamérica y el Caribe con el fin de esclarecer previamente conceptos para facilitar la comprensión de los resultados.

Cuatro aspectos del desarrollo urbano de la región determinan las fuentes y trayectorias de las emisiones, los determinantes de las capacidades de adaptación diferenciadas y la eficacia de las respuestas de mitigación y adaptación. En primer lugar, la transición demográfica ya tuvo lugar en la región, con un aumento de 6,7 veces la población urbana y niveles de urbanización del 75,3% para 2020 (CEPAL 2020). ALC se define por un predominio muy alto de las grandes ciudades, con corredores de diferente importancia económica, situados tanto dentro de las ciudades como fuera de las localidades. Las áreas básicas de estos centros han estado

perdiendo población mientras que la población en las áreas suburbanas ha aumentado, contribuyendo a la expansión urbana. Esto, con las tendencias recientes de motorización, arroja una sombra preocupante que contribuye al gran aumento proyectado de las emisiones de GEI en la región. Las emisiones del transporte son la fuente de carbono de más rápido crecimiento en ALC. Una de las razones de esto es que mientras que el uso de vehículos privados está alcanzando alturas sin igual, el transporte público está disminuyendo a un ritmo relativamente constante (Wright y Fulton 2015; Bank 2017).

En segundo lugar, los cambios en los patrones de localización de las actividades económicas y la población, así como el aumento del uso del automóvil privado, son parte de una transición urbana de formas monocéntricas (un distrito central de negocios) a formas urbanas policéntricas o compuestas en las grandes ciudades de ALC (Muñiz y Rojas 2019). Aunque ha recibido relativamente poca atención en ALC, la implicación de esto para la mitigación (Kuntsi-Reunanen 2007) es que el uso de energía y las emisiones de GEI aumentan a medida que la densidad de población disminuye (en una correlación negativa) y el uso relativo de los cambios en los sistemas de transporte alternativos (por ejemplo, peso de los modos públicos frente a los privados) (Schmidt Dubeux y Rovere 2007; Muñiz y Rojas 2019).

Sin embargo, en términos de adaptación, si las poblaciones urbanas carecen de infraestructura, servicios y marcos institucionales para minimizar los riesgos (como muchos lo hacen en ALC), el aumento de la densidad puede aumentar los riesgos (Dodman 2009). Una cuestión no explorada es cómo convertir la forma y la densidad urbanas en fuentes de oportunidades para mejorar el desempeño económico y la calidad de vida, al tiempo que se reducen las emisiones de GEI mediante políticas relacionadas con los sistemas de transporte, la planificación urbana, el bienestar, normas de construcción y suministro de energía a los hogares.

En tercer lugar, surgen dificultades a medida que se produce y se producirá la mayor parte del nuevo crecimiento urbano en zonas urbanas más pequeñas (CEPAL 2020). La desventaja de este modelo de desarrollo es que estas zonas urbanas más pequeñas son a menudo débiles desde el punto de vista institucional y no pueden promover medidas eficaces de mitigación y adaptación. Sin embargo, también hay una posible ventaja a ser recogido aquí como el desarrollo en ebullición de estos centros puede ser redirigido de maneras que reducen sus niveles de emisión a un mínimo deseado (por ejemplo, mediante la promoción de estructuras urbanas monocéntricas basadas en el uso de autobuses, trenes y otros medios de transporte público de alta capacidad); y se mejora su capacidad de recuperación y de hacer frente a los peligros climáticos y otras tensiones (por ejemplo, mediante el desarrollo de infraestructuras urbanas resistentes al cambio climático y sistemas eficaces de respuesta de emergencia).

En cuarto lugar, la urbanización ha ido acompañada de muchos otros problemas de desarrollo aparentemente insuperables. Con todo su dinamismo, altos niveles de integración en la economía global y presencia de una clase media fuerte y creativa (Eakin y Lemos 2010), las áreas urbanas de ALC todavía se enfrentan a altos niveles de pobreza, indigencia e informalidad (Irazábal y Angotti 2017). Más del 40% de la población urbana de estos países está empleada en sectores de baja productividad e informales; además, el 34,1% de los pobres y el 15,1% de los extremadamente pobres están ubicados en centros urbanos.

Riqueza y pobreza, las dos caras de la moneda del desarrollo urbano, también tienen implicaciones para las diferencias de contexto específicas en la adaptación y mitigación que cristalizan en la relación inversa entre ser el más culpable de las causas del cambio climático y sufrir sus consecuencias más profundas (Barona et al. 2020). En la Ciudad de México, los automóviles privados sólo contribuyen con el 18% de los segmentos de viajes diarios de la ciudad, sin embargo, representan el 40,8% de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>. Por el contrario, el

transporte público representa el 82% de esos segmentos de viaje, pero emite el 25,9% de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> (Lankao 2017). Por lo tanto, un determinante clave de las emisiones urbanas de GEI son las pautas de consumo de los sectores de ingresos medios y altos - una minoría en la región - junto con los sistemas de producción que se benefician de ese consumo (Krause et al. 2019). Sin embargo, la realidad política es que estos sectores también tienen una mayor influencia en las estructuras políticas en juego, lo que dificulta en el mejor de los casos esa distribución equitativa de la responsabilidad (Mal et al. 2018).

Por el lado de la adaptación, el desarrollo desigual y las estructuras de infraestructura y gobernanza inadecuadas limitan la capacidad de las poblaciones y autoridades urbanas para adaptarse al cambio climático actual y futuro y a otras tensiones medioambientales y sociales (Mal et al. 2018). ALC tiene déficits en determinantes claves de la capacidad de adaptación como la salud (con tasas de mortalidad infantil de 25.6/1000), la educación (con alrededor del 25% de la población de 15 años y más que nunca termina la educación primaria) y en vivienda (con aproximadamente 128 millones de habitantes de barrios marginales en las zonas urbanas). Además, con frecuencia las zonas periurbanas están habitadas por poblaciones marginadas, con servicios inadecuados, una cartera de mecanismos de subsistencia precarios y la ausencia de instituciones adecuadas de gestión de riesgos (García-Soriano, Quesada-Román y Zamorano-Orozco 2020).

Aunque algunos centros urbanos de América Latina y el Caribe (por ejemplo, Sao Paulo, Ciudad de México, Buenos Aires) desempeñan un papel fundamental en el sistema internacional de ciudades globalizadas, la economía regional depende en gran medida de los recursos naturales y los servicios turísticos como fuentes de exportación y medios de vida (Lindsay 2018). Esto, junto con las capacidades de adaptación diferenciadas, hace que ALC sea sensible a la inestabilidad recurrente del mercado de productos básicos y a las perturbaciones y tensiones ambientales. Por ejemplo, y aunque los cálculos de costes son

controvertidos (Kim, Ha y Kim 2017), los impactos de huracanes, inundaciones, temperaturas extremas, los deslizamientos de tierra y otros desastres hidrometeorológicos pueden superar el producto interno bruto y la formación bruta de capital en porcentajes que van a más del 50% en regiones menos desarrolladas, menos diversificadas y más dependientes de los recursos naturales como en ALC (Pardo Martínez, Alfonso Piña y Moreno 2018).

Algunos centros urbanos están participando activamente en el ámbito climático (Bellinson y Chu 2019) y la población y las organizaciones de la región tienen una larga experiencia de respuesta a los peligros relacionados con el clima (Eakin y Lemos 2010; Barona et al. 2020). Estas respuestas han tenido lugar en el contexto de una profunda reforma del Estado que se ha traducido en procesos contradictorios y controvertidos de democratización, reducción del Estado, descentralización y mayor participación del sector privado y las organizaciones de la sociedad civil (Ruckert, Macdonald y Proulx 2017). En algunos casos, estas transformaciones han abierto oportunidades para la participación de grupos no gubernamentales (Rodríguez y Vargas-Chaves 2018) y para el ingenio societal y empresarial en el diseño de lugares urbanos más sostenibles (Feola et al. 2019). Sin embargo, en muchos casos han ido acompañados de la pérdida de la capacidad de los gobiernos para responder a las fuentes de estrés socioambientales y han reforzado los factores subyacentes de la vulnerabilidad social (Ruckert, Macdonald y Proulx 2017).



### **III. MÉTODO**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Que el diseño cualitativo sea sistemático implica que hay una disciplina para realizar la investigación científica y que no se dejan los hechos a la casualidad. (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p.34)

En el enfoque cualitativo se estudian fenómenos de manera sistemática, el investigador comienza el proceso examinando los hechos en sí y revisado los estudios previos, ambas acciones de manera simultánea, a fin de generar una teoría que sea consistente con lo que está observando que ocurre. (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p. 46)

Esta investigación cumple con el propósito fundamental de producir conocimiento y teorías, investigación básica (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p. 29), puesto que responde al propósito de evaluar la evolución de los métodos de inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades.

La lista de verificación PRISMA-P está destinada principalmente a la preparación de protocolos de revisiones sistemáticas y metanálisis que resumen los datos agregados de los estudios, en particular las evaluaciones de los efectos de las intervenciones. La lista de verificación final de PRISMA-P contiene 17 elementos numerados (26 que incluyen sub-elementos) Los elementos se clasifican en tres secciones principales: información administrativa, introducción y métodos (Kamioka 2019).

#### **3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística**

A continuación se presentan las categorías, subcategorías en la matriz de categorización apriorística.

**Tabla Nº 1. Matriz de categorización apriorística**

<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>SUBCATEGORÍAS</b>
<p><b>Evaluar la evolución de los métodos de inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades.</b></p>	<p>Analizar los métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se están aplicando en todo el mundo.</p>	<p>¿Qué métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se están aplicando en todo el mundo?</p>	<p>Métodos de inventario de GEI a escala de ciudad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos de Análisis Insumo-Producto (AIP)</li> <li>• Modelos de Análisis del Ciclo de Vida (LCA)</li> <li>• Modelos híbridos de análisis del ciclo de vida (LCA híbrido)</li> <li>• Directrices del IPCC</li> <li>• IPCC* - Emisiones de Referencia (ER) (Covenant of Mayors, 2010), la Norma Internacional para los Gases de Efecto Invernadero en las Ciudades (GEIC) (Banco Mundial et al., 2010) y el Protocolo Mundial para las Emisiones de GEI a escala comunitaria (PMEGEIC) (World Resources Institute 2014)</li> <li>• Framework propio</li> <li>• Covariancia de Eddy</li> </ul>

	<p>Identificar los tipos y fuentes de datos relacionados con el transporte que se están utilizando para el inventario de GEI a escala de ciudad</p>	<p>¿Qué tipos y fuentes de datos relacionados con el transporte se están utilizando para el inventario de GEI a escala de ciudad?</p>	<p>Fuentes de datos relacionados con el transporte para el inventario de GEI a escala de ciudad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huella de carbono (Lu y Li) directo</li> <li>• Huella de carbono basado en el ciclo de vida (BCV)</li> </ul>
--	---	---	---	---

### **3.3. Escenario de estudio**

Puesto que se trata del escenario en dónde se ha dado respuesta de la pregunta de investigación (Aguilera y Arroyo 2016). En lo que se refiere al escenario de estudio del presente estudio, se considera una distribución que abarca un indeterminado espacio, teniendo en cuenta que las diferentes metodologías de inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades se aplicaron alrededor del mundo.

### **3.4. Participantes**

La búsqueda primaria resultó en una base de datos de 163 artículos. La selección de los artículos se limitó a los estudios que aplicaban el inventario de GEI a nivel de ciudad, incluidos todos los sectores de las fuentes de emisiones de GEI, por lo que no se seleccionaron artículos que se centraban en sectores individuales (industrial, de residuos, doméstico, de transporte).

Por las razones presentadas en apartados posteriores se seleccionaron un total de 73 artículos para el paso preliminar y se recogieron los datos bibliográficos de cada artículo, como año, título y nombre de la revista, y resumen.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

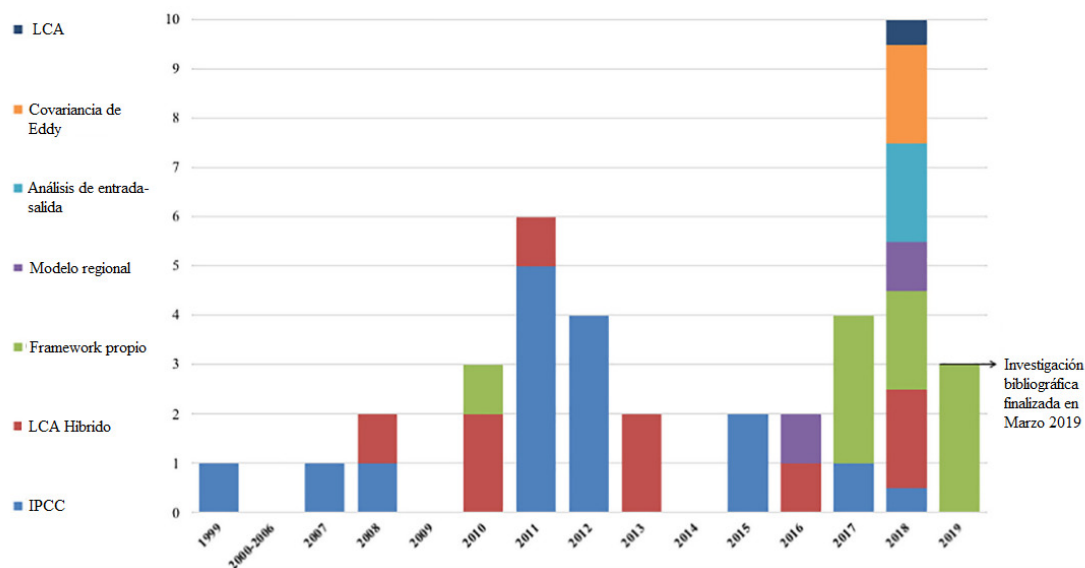
La búsqueda sistemática de métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se realizó hasta marzo del 2019 a través de artículos de revistas académicas revisadas por pares. El primer paso de la revisión sistemática definió las preguntas de investigación (PE), la base de datos y los términos de búsqueda adecuados.

### 3.6. Procedimientos

#### 3.6.1. Preguntas de investigación, bases de datos y términos de búsqueda

Con el fin de identificar los métodos de inventario de GEI a escala urbana y cómo se contemplan las emisiones del transporte, las preguntas de investigación (PE) para la revisión sistemática son: PE1. ¿Cuál es el impacto del urbanismo y del CO<sub>2</sub> atmosférico en el cambio climático a escala de ciudad?; PE2. ¿Qué métodos de inventario de GEI a escala de ciudad se están aplicando en todo el mundo?; PE3. ¿Qué tipos y fuentes de datos relacionados con el transporte se están utilizando para el inventario de GEI a escala de ciudad?

**Figura N° 1. Distribución de artículos entre los plazos revisados**



#### 3.4.2. Protocolo de revisión

Se determinó un protocolo de revisión para el análisis de contenido de los artículos (Fig. 1). Los artículos fueron proyectados y, si el contenido del título o resumen no se alineaba con el propósito del estudio, el artículo fue excluido.

En la etapa de evaluación del contenido, se evaluaron los artículos previamente examinados y, sobre la base de su contenido, se respondió a dos preguntas para ser elegibles para la investigación. La primera pregunta fue: "¿Aplica el estudio un inventario de GEI a escala de ciudad?" a fin de verificar si el estudio tuvo en cuenta la aplicación de un inventario debido a la verificación del proceso metodológico. La segunda pregunta era: "¿incluye el inventario las emisiones del sector del transporte?". Comprender mejor cómo se calculan las emisiones del sector del transporte y de qué fuente se recogen los datos sobre el transporte. Después de la evaluación del contenido, 37 artículos permanecieron en la revisión sistemática.

Los artículos restantes se leyeron en su totalidad y los datos se extrajeron en la etapa 3 del protocolo de examen. Los artículos se clasificaron según tres alcances de ocurrencia de emisiones de carbono a escala de ciudad: (i) alcance 1, cuando involucra solamente emisiones territoriales; (ii) alcance 2, cuando considera emisiones del uso de electricidad dentro de los límites de la ciudad; (iii) ámbito 3, para las emisiones incorporadas en productos y servicios importados (World Resources Institute 2014).

Con respecto al enfoque de las emisiones del transporte, en las Directrices del IPCC para el transporte por carretera se consideran dos enfoques para calcular las emisiones de GEI: de arriba abajo, que se basa en la cantidad de combustible vendido; y de abajo arriba, que se basa en los kilómetros recorridos por los vehículos (KRV). El enfoque contable descendente para el sector del transporte puede determinar únicamente las emisiones totales de GEI del sector, mientras que un enfoque ascendente puede proporcionar datos detallados sobre las emisiones de GEI por modo de transporte, tipo de vehículo, finalidad del viaje, y tipo de combustible, que son útiles para diseñar medidas de intervención (Vieweg 2017).

**Figura N° 2. Protocolo de revisión**

<b>Etapas de revisión</b>	<b>Información recolectada</b>
1- Búsqueda de bases de datos y sección preliminar	Año Título Revista Resumen
2- Evaluación del contenido	Objetivos del artículo  <i>La respuesta es sí para las preguntas</i> ¿Aplica el estudio un inventario GEI a nivel de ciudad? ¿Incluye el inventario las emisiones del sector transporte?
3- Extracción de datos y búsqueda de bolas de nieve	Objetivo principal País donde se hizo el estudio Etiqueta UCF Alcance Método de inventario GHC Enfoque para las emisiones del transporte Tipos de datos sobre transporte

### **3.7. Rigor científico**

La utilización de los estudios identificados para un examen sistemático riguroso de las estrategias de difusión y aplicación de las directrices garantiza una muestra amplia y representativa (Davies, Walker y Grimshaw 2010). Sin embargo, no se busca explícitamente evaluaciones de procesos publicadas junto con los estudios identificados que podrían ser más propensos a reportar consideraciones teóricas. La presente se dirigió bajo el sistema de *snowballing* (Wohlin 2014), se consideraron las bases *ISI Web of Science*, de las que se seleccionaron un total de 40 artículos.

### **3.8. Método de análisis de información**

Las revisiones sistemáticas necesitan especificar una pregunta de investigación y los métodos que se utilizarán para investigar la pregunta. Esto se escribe a menudo como un protocolo antes de emprender la revisión. Escribir un protocolo o plan de los métodos al comienzo de una revisión puede ser una actividad muy útil. Ayuda al equipo de revisión a obtener una comprensión compartida del alcance de la revisión y los

métodos que usarán para responder a las preguntas de la revisión. (Van-Klaveren y De-Wolf 2019)

El protocolo de revisión constó de tres pasos (Fig. 1): (i) búsqueda de bases de datos y selección preliminar; (ii) evaluación de contenido; y (iii) extracción de datos y eliminación de redundancia. Los términos de búsqueda se eligieron en base al PE1, y se utilizaron tres variaciones del término "gases de efecto invernadero" para garantizar la cobertura completa de la literatura debido a su variedad.

La cadena de búsqueda era '((invernadero y gas) O GEI O CO<sub>2</sub>) E inventario Y ciudad', y se inscribió en la categoría 'Tema' de la Red de Ciencia ISI. A razón de la categorización de Huella de Carbono Urbana (HCU) sugerida por Lombardi et al. (2017), todos los artículos se clasificaron como HCU directo al incluir emisiones de alcance 1 y alcance 2, y como HCU basado en el ciclo de vida (BCV) al incluir emisiones adicionales de alcance 3.

La categorización de tipo de datos y fuente de datos para artículos de abajo hacia arriba siguió las variables de entrada del modelo ASIF (Schipper, Marie-Lilliu y Gorham 2008), mostradas en la Ec. (1).

Este modelo describe cuatro causantes del carbono emitido en las ciudades por el sector transporte: (i) El trayecto total recorrido medido en pasajeros/k 'A'; (ii) la estructura del transporte, siendo 'S' un vector de la cuota de cada modal  $i$ ; (iii) expresada por la intensidad energética, siendo 'I' la intensidad energética modal por kilómetro de vehículo para cada modo  $i$  y tipo de combustible  $j$ ; y (iv) la mezcla de combustible en uso, siendo 'F' la constante de carbono por energía para cada tipo de combustible  $j$  en cada modo  $i$ .

$$G = A * S_i * I_{ij} * F_{ij}$$



### **3.9. Aspectos éticos**

Con el fin de exponer el interés por indagar la realidad en forma sistemática proponiendo soluciones a las problemáticas ambientales respecto a qué tanto se conoce sobre la Evolución de los métodos de inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades, además de su práctica sostenible a futuro. Siendo así, se destaca lo siguiente sobre esta investigación:

- A. Respeto a la autoría de las fuentes de información. Esto se logra citando apropiadamente con estilos internacionales.
- B. Cumplimiento de los principios éticos del colegio profesional al que pertenecerán los autores.
- C. Cumplimiento de los aspectos relevantes del código de ética de la investigación de la universidad o de la institución que autoriza la investigación.

## IV. RESULTADOS

A lo largo de este apartado se presentan los resultados del análisis de los artículos seleccionados en la revisión sistemática. En primer lugar, en la sección 4.1 se ofrece una visión general de la literatura seleccionada. Las siguientes subsecciones tienen como objetivo responder a las preguntas de investigación PE1, PE2 y PE3 de la revisión sistemática.

### 4.1. Resumen de la literatura seleccionada

La ordenación de los artículos en base al año en que fueron publicados está expresada en la fig. 2. El periodo está indicado entre los años 1999 y 2019, las barras ilustran el número de artículos publicados en cada año, además indican el método de inventario de GEI identificado en las publicaciones.

Se clasificó un total de 7 métodos: modelos de Análisis Insumo-Producto (AIP) y modelos de Análisis del Ciclo de Vida (LCA) que son métodos utilizados para el enfoque de contabilidad basada en el consumo (Lombardi et al. 2017); modelos híbridos de análisis del ciclo de vida (LCA híbrido) que estiman tanto la producción como la producción y las emisiones basadas en el consumo en las ciudades (Ibrahim, Sugar y Hoornweg 2012); Método de *Eddy-Covariance*, que es una técnica de medición in situ utilizada para medir los flujos de CO<sub>2</sub> (Kotthaus y Grimmond 2012); el marco propio se clasificó como artículos en los que los autores propusieron o adaptaron un método; el método de los modelos regionales se clasificó como las ciudades que aplicaban un escenario particular fijado específicamente para el país en estudio; respecto a los inventarios nacionales de GEI se basaron en las Directrices del IPCC (IPCC 1996; 2006), siendo este un procedimiento extensamente empleado para la divulgación de los inventarios de GEI. Los protocolos a escala comunitaria que surgieron de las Directrices del IPCC - como el Inventario de Emisiones de Referencia (ER) (Convenant of Mayors, 2010), la Norma Internacional para los Gases de Efecto Invernadero en las

Ciudades (GEIC) (Banco Mundial et al., 2010) y el Protocolo Mundial para las Emisiones de GEI a escala comunitaria (PMEGEIC) (World Resources Institute 2014) - fueron clasificados como IPCC e identificados en la Tabla 1 con un asterisco indicado en la columna del método de inventario.

El 2011 y 2018 representan los años que contienen la mayor cantidad de publicaciones. Casualmente estas fechas coinciden con compromisos de los gobiernos locales en el contexto de las negociaciones mundiales sobre el cambio climático como la 15ª Conferencia de las Partes, COP 15, las que podrían haber influido en ese indicador (Bäckstrand et al. 2017). En segundo lugar, el Acuerdo de París de la CP 21, en 2015, prevé que las ciudades sean un elemento esencial de la mitigación y la adaptación al cambio climático en el proceso de la Convención Marco. (Hale 2013).

La totalidad de los 40 artículos empleados en esta revisión que dan respuesta a los objetivos previamente planteados se muestran en la Tabla 2. La numeración de los artículos responde al año de su publicación, además de especificar el país, la Marca UCP, el Método de Inventario, la Aproximación a la estimación del transporte, como dicta el modelo de revisión (Fig. 2).

La distribución de artículos por país, con un total de 9 países representados además de la Unión Europea, y métodos de inventario de GEI identificados en este examen sistemático, se aprecian en la fig. 3. Entiéndase que el diámetro de los círculos expresa la proporcionalidad a la cantidad de estudios analizados respectivamente por país.

En consistencia con el rango de los países con mayor emisión de CO<sub>2</sub> del mundo, la revisión identifica a las ciudades europeas, norteamericanas y chinas como las predominantes en cuanto a inventariados de GEI (World Resources Institute 2019).

**Tabla Nº 2. Artículos analizados para la revisión sistemática**

#	Autores/Año	País	Marca UCP	Método de Inventario	Aproximación a la estimación del transporte
1	(Baldasanomanga, Soriano y Boada 1999)	España	Directa	IPCC	Ascendente
2	(Schmidt Dubeux y Rovere 2007)	Brasil	Directa	IPCC	Descendente
3	(Ramaswami et al. 2008)	EE. UU.	BCV	LCA Híbrido	Ascendente
4	(Ridolfi et al. 2008)	Italia	Directa	IPCC	Descendente
5	(Bun et al. 2010)	Ucrania	Directa	Framework propio	Ascendente
6	(Himan 2010)	EE. UU.	BCV	LCA Híbrido	Ascendente
7	(Kennedy et al. 2010)	Canadá, Sudáfrica, España, Tailandia, Reino Unido, EE. UU.	BCV	LCA Híbrido	Ascendente
8	(Bi et al. 2011)	China	Directa	IPCC	Ascendente
9	(Geng, Peng y Tian 2011)	China	Directa	IPCC	Descendente
10	(Heinonen y Junnila 2011)	Finlandia	BCV	LCA Híbrido	Descendente
11	(Liu, Geng y Xue 2011)	China	Directa	IPCC	Descendente
12	(Majumdar y Gajghate 2011)	India	Directa	IPCC	Descendente
13	(Xi et al. 2011)	China	BCV	IPCC <sup>a</sup>	Descendente

#	Autores/Año	País	Marca UCP	Método de Inventario	Aproximación a la estimación del transporte
14	(Kennedy, Demoullin y Mohareb 2012)	Canadá, Inglaterra, Alemania, EE. UU.	BCV	IPCC <sup>a</sup>	Descendente
15	(Liu et al. 2012)	China	Directa	IPCC	Descendente
16	(Sugar, Kennedy y Leman 2012)	China	BCV	IPCC	Descendente
17	(Yu, Pagani y Huang 2012)	China	Directa	IPCC <sup>b</sup>	Ascendente
18	(Li et al. 2013)	China	BCV	LCA Híbrido	Descendente
19	(Lin et al. 2013)	China	BCV	LCA Híbrido	Descendente
20	(Montelongo-Reyes et al. 2015)	México	Directa	IPCC	Ascendente
21	(Ramachandra, Aithal y Sreejith 2015)	India	Directa	IPCC	Ascendente
22	(Kumar y Shiva Nagendra 2016)	India	Directa	Modelo regional	Ascendente
23	(Tong et al. 2016)	China	BCV	LCA Híbrido	Ascendente
24	(Gately y Hutyra 2017)	EE. UU.	Directa	Framework propio	Ascendente
25	(Li, Du y Huisingh 2017)	China	BCV	IPCC <sup>c</sup>	Descendente
26	(Li et al. 2017)	Japón	Directa	Framework propio	Descendente
27	(Shan et al. 2017)	China	Directa	Framework propio	Descendente
28	(Bhanarkar et al. 2018)	India	Directa	Modelo regional	Ascendente

#	Autores/Año	País	Marca UCP	Método de Inventario	Aproximación a la estimación del transporte
29	(Björkegren y Grimmond 2018)	Reino Unido	Directa	Covariancia de Eddy	Medición in situ
30	(Cellura, Cusenza y Longo 2018)	Italia	BCV	IPCC y LCA	Ascendente
31	(Fry et al. 2018)	China	BCV	AIP	Descendente
32	(Jing et al. 2018)	China	Directa	Framework propio	Descendente
33	(Kleingeld et al. 2018)	Países Bajos	Directa	Covariancia de Eddy	Medición in situ
34	(Long y Yoshida 2018)	Japón	BCV	AIP	Descendente
35	(Qi et al. 2018)	China	BCV	LCA Híbrido	Descendente
36	(Sówka y Bezyk 2018)	Polonia	BCV	LCA Híbrido	Ascendente
37	(Zhang et al. 2018)	China	Directa	Framework propio	Descendente
38	(Cai et al. 2019)	China	Directa	Framework propio	Descendente
39	(Lu y Li 2019)	China	Directa	IPCC	Ascendente
40	(Pulselli et al. 2019)	Unión Europea	Directa	Framework propio	Ascendente

**Figura N° 3. Distribución de artículos por país y métodos de inventario de GEI**

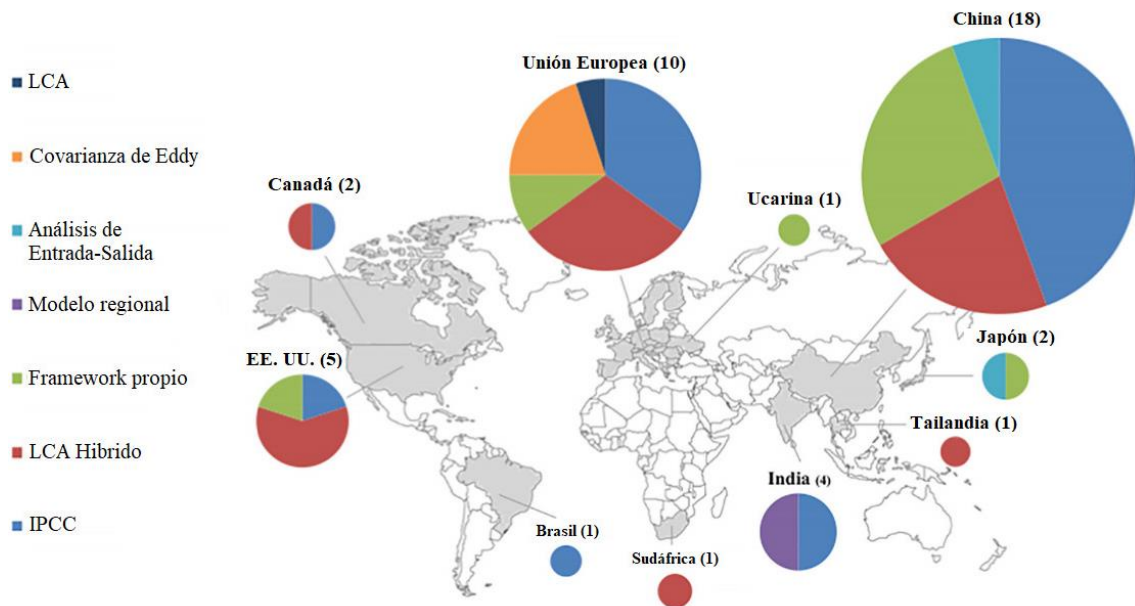


Fig. 4 muestra la red bibliométrica de interacciones realizadas con el software *VOSviewer*® (van Eck y Waltman 2010). La red consideró la relación de coautorías en la revisión sistemática. De los 40 artículos seleccionados, 10 tienen relaciones de coautoría y patrones de colaboración y reflejan el periodo entre 2008 y 2019. La identificación de los artículos y de su respectivo autor se basan en la numeración de la Tabla 1. Se identificaron el IPCC, el LCA híbrido y un tercer método clasificado como marco propio, como los tres principales métodos de inventariado a partir de la red bibliométrica. La mayor ocurrencia de los artículos publicados están representados por los métodos LCA híbrido y del IPCC. En primer lugar, Ramaswami et al. (2008), presentaron uno de los primeros estudios en los que se adoptó el LCA híbrido del método de inventario de GEI: una combinación de emisiones directas estimadas mediante el programa informático de protección del clima en un aire limpio (PIPC) de ICLE (PIPC, 2009) y las emisiones indirectas estimadas mediante el modelo de LCA y las cuentas de flujos de materiales (CFM) de conformidad con el ámbito 3 del Protocolo sobre GEI (World Resources Institute 2004). Ramaswami también fue coautor de otros tres estudios (Himan 2010; Kennedy et al. 2010; Tong et al. 2016).

#### **4.2. Análisis de los métodos de inventario de GEI a escala urbana**

A partir de la etiqueta de los 40 artículos estudiados, 24 de estos clasifican como HCU directo (60%) y 16 como HCU basado en el ciclo de vida (BCV) (40%), como se muestra en la Fig. 5. Cabe recalcar que la mitad de los descritos como HCU se basaron en las Directrices del IPCC, entendible porque esta representa la primera metodología ajustada para el inventario de GEI a nivel de ciudad. Por otro lado, más de la tercera parte de los artículos analizados desarrollaron su propio marco, en base a las Directrices del IPCC en la mayoría de los casos. LCA Híbrido fue empleado en su mayoría por los estudios clasificados como HCU BCV, en base a las directrices de los protocolos institucionales descritos por la CIPF.



Figura N° 4. Red bibliométrica de relaciones de coautoría en la revisión sistemática

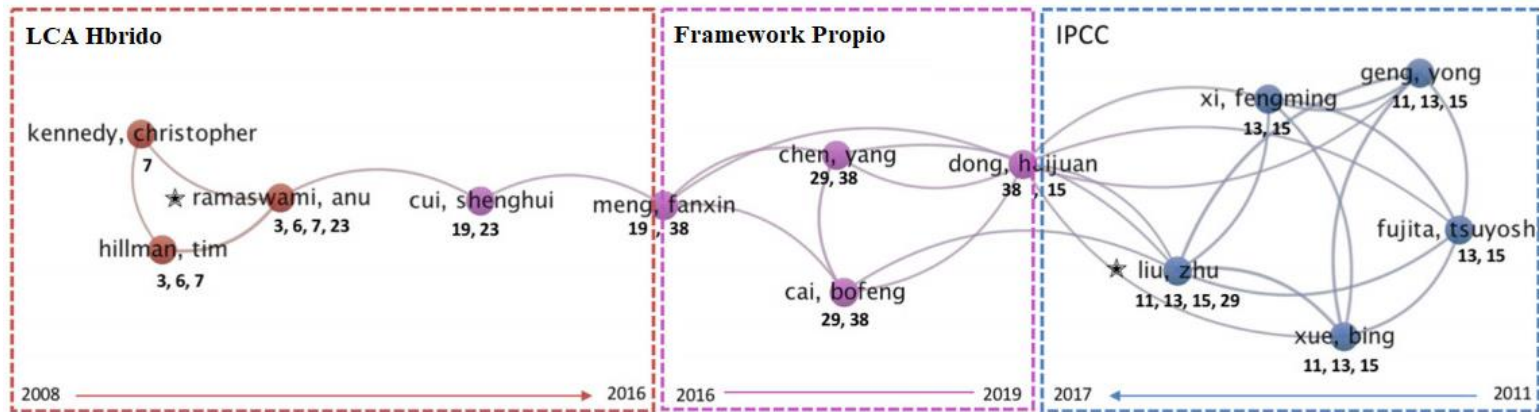
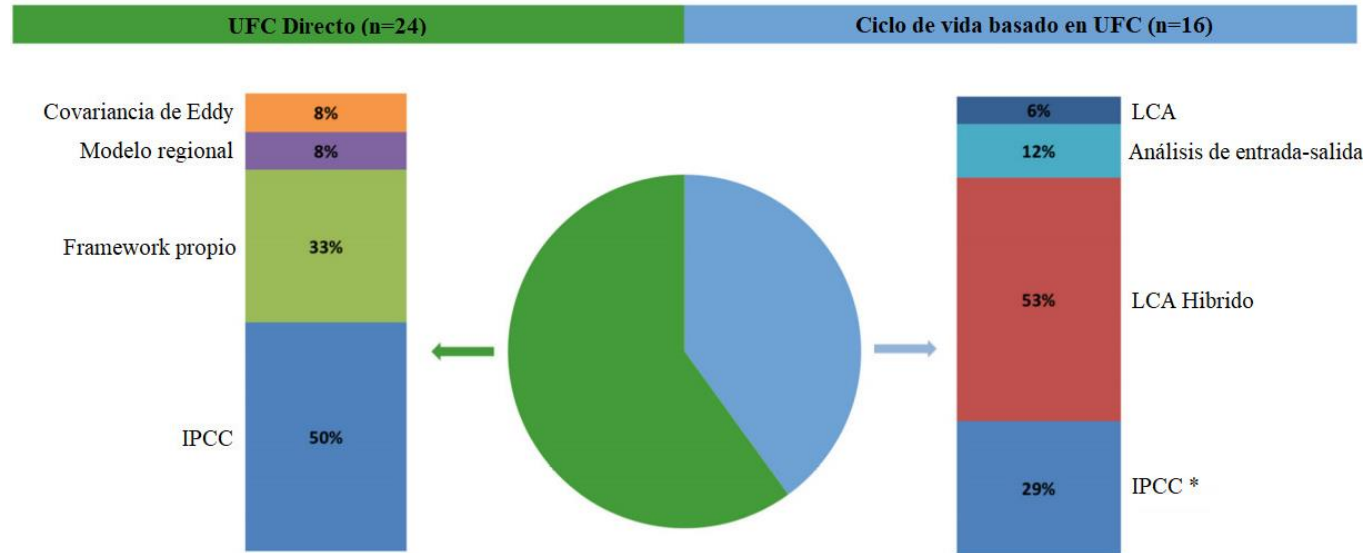


Figura N° 5. Métodos de inventario de GEI identificados en la bibliografía ordenada según la etiqueta de la HCU



Los artículos también se clasificaron de acuerdo con los objetivos de cada estudio a fin de obtener una visión general de los artículos e identificar cualquier posible relación entre el método de inventario de GEI adoptado y el propósito del artículo. En general, el objetivo de los artículos es caracterizar las fuentes de las emisiones de GEI de la ciudad, sin embargo, se identificaron objetivos complementarios como: comparación de dos o más métodos de inventario de GEI para calcular con precisión las diferencias, deducir las tendencias futuras de las emisiones y explorar posibles errores e incertidumbres. La Fig. 6 muestra el objetivo de los artículos y el número total asociado con el método de inventario de GEI.

Alcanzaron casi la mitad (45 %) de los artículos revisados los que tuvieron por objetivo elaborar un inventario de GEI con el fin de caracterizar las emisiones, para estos casos, los modelos empleados variaron entre el LCA híbrido, el IPCC, el modelo regional y el AIP. Por su parte, los que sentaron su interés en proponer un nuevo método, casi la tercera parte del total (33 %) se basaron el modelo híbrido LCA y de marco propio. Los artículos restantes, se centraron en comparar métodos entre sí: el IPCC y de Eddy Covariance (Björkegren y Grimmond 2018; Kleingeld et al. 2018); IPCC y LCA (Cellura, Cusenza y Longo 2018); y entre los protocolos internacionales del IPCC y el GEIC (Sugar, Kennedy y Leman 2012). Hubieron otros con alcance exploratorio respecto a la tendencia de las emisiones, como Liu et al. (2012), Schmidt Dubeux, Bhanarkar et al. (2018), La Rovere (2007) y Yu et al. (2012). Por último, estudios mucho más detallados categorizados como BCV de la HCU, destacaron la importancia de impartir nuevos métodos más congruentes que abarquen las emisiones de alcance 1 y 2, mediante la exploración de posibles errores de cálculo.

#### **4.3. Método de estimación del transporte según los métodos de inventario de GEI**

El gráfico circular de la Fig. 7 muestra el porcentaje de artículos revisados según el enfoque de las emisiones de GEI del transporte. De los 40

documentos, más de la mitad (52,5%) estimó las emisiones de GEI para el sector del transporte sobre la base de un enfoque descendente, seguido de una medición ascendente, del 42,5% y del 5% in situ. La relación para la estimación de GEI entre el método de inventariado y la actividad de transporte es representada mediante el gráfico de barras. El eje horizontal representa el número de artículos, y el método se expresa en el eje vertical. El enfoque para la estimación de GEI para cada método está expresado en las barras apiladas.

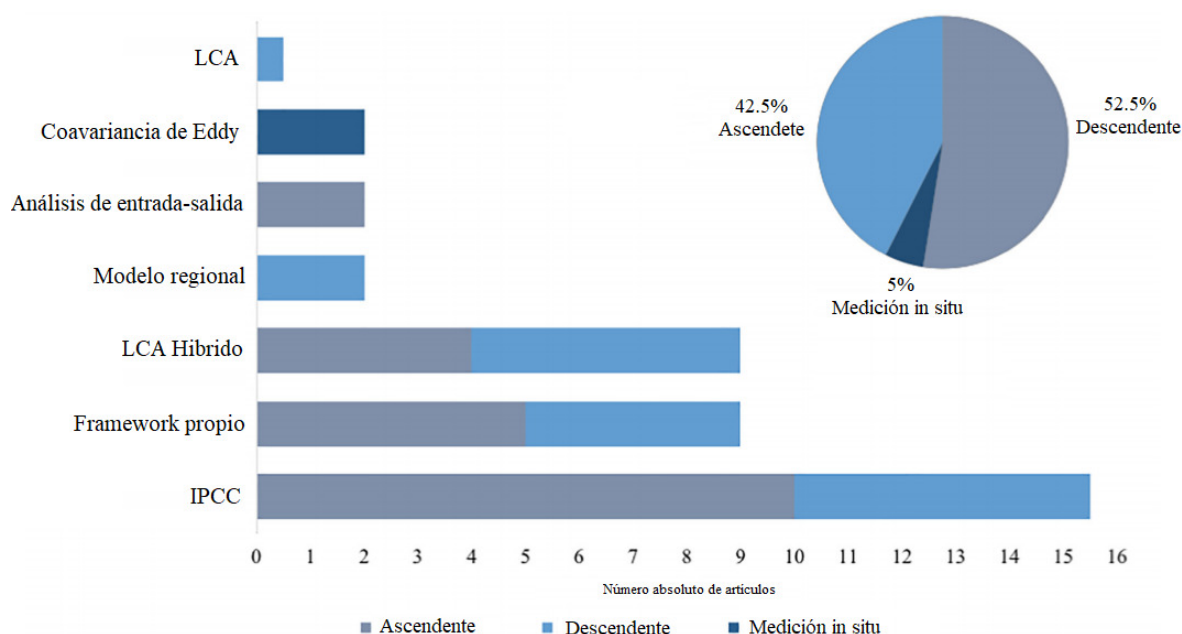
**Figura N° 6. Métodos de inventario de GEI según el objetivo de los artículos**

	UFC Directo				Ciclo de vida en UFC			Total	Porcentaje
	Covariancia de Eddy	Modelo Regional	Framework propio	IPCC	LCA Híbrido	IOA	LCA		
Perfil de emisión de GEI		1		11	5	1		18	45%
Propuesta de un framework de inventario			9		3			12	30%
Comparación	2			1			1	4	10%
Tendencia de emisión de GEI		1		3				4	10%
Explorar incertidumbres					1	1		2	5%
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	
<b>Porcentaje</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>	<b>23%</b>	<b>38%</b>	<b>23%</b>	<b>5%</b>	<b>3%</b>		

La Tabla 2 muestra el tipo de datos para las estimaciones de las emisiones del transporte en los enfoques de arriba abajo y de abajo arriba. La mayoría de los datos de los artículos de arriba abajo se basan en estadísticas de balance energético a nivel nacional y municipal, en algunos casos se utilizaron bases de datos de inventarios de GEI anteriores (Kennedy, Demoullin y Mohareb 2012; Schmidt Dubeux y Rovere 2007; Zhang et al.

2018). Un mayor número de conjuntos de datos diferentes requieren de estimaciones más precisas, además de un volumen masivo de recopilación y tratamiento de datos, esto a medida que el enfoque ascendente es más preciso. Después de evaluar la base de datos de los 17 artículos de abajo hacia arriba, se encontró una cierta tendencia en los artículos de las ciudades de América del Norte, China e India. La adopción de modelos de transporte locales para estimar las emisiones de GEI refieren en su mayoría a los estudios de ciudades norteamericanas (Gately y Hutyra 2017; Himan 2010; Ramaswami et al. 2008). De los artículos revisados correspondientes a ciudades chinas, solo 4 de 18 estudios optaron por enfoques ascendentes, ello podría responder a la ausencia de la totalidad de datos disponibles. De estos 4 artículos, Tong et al. (2018), Nguyen et al. (2018) y Yu et al. (2012) utilizaron datos relacionados con el transporte de la base de datos de estadísticas nacionales, la base de datos municipal y los estudios existentes. Los artículos que contextualizan las ciudades indias (Bhanarkar et al. 2018; Kumar y Shiva Nagendra 2016; Ramachandra, Aithal y Sreejith 2015) se destacan por el uso de datos de calidad del aire de una agencia india de contaminación del aire y la base de datos estadísticos municipales.

**Figura N° 7. Método de estimación del transporte según los métodos de inventario de GEI**



**Tabla N° 3. Tipos de datos relacionados con el transporte**

TIPO DE DATO	DESCENDENTE	ASCENDENTE			
	VENTAS DE COMBUSTIBLE	ACTIVIDAD	ESTRUCTURA	INTENSIDAD	COMBUSTIBLE
<b>Estadísticas nacionales</b>	X	X	X	X	
<b>Estadísticas regionales/ del estado</b>			X		
<b>Estadísticas municipales</b>	X	X	X	X	
<b>Encuestas</b>	X		X		
<b>Estudios existentes</b>		X		X	
<b>Estimaciones de modelos</b>	X	X	X	X	X
<b>Propias estimaciones</b>				X	X
<b>IPCC predeterminado</b>					X
<b>Valores nacionales por defecto</b>					X

## **V. DISCUSIÓN**

El objetivo principal de este examen era determinar los métodos de inventario de GEI a escala de ciudad y su evolución. Los principales resultados de la pregunta de investigación PE1 se analizan en las secciones 4.1 y 4.2. Derivaron a su vez, en resultados que llevaron a evaluar el estado actual respecto a los métodos de inventariado empleados en el sector del transporte. Es en base a ello que el apartado 4.3 guiaron la discusión respecto a las preguntas de investigación PE2 y PE3.

### **5.1. Resumen de la literatura seleccionada**

Los principales hallazgos se resumen en la red bibliométrica (Fig. 4), que presenta dos contrastes principales. Por un lado, la literatura presenta un grupo de artículos cuyos autores elaboraron y aplicaron métodos híbridos de LCA y se ocuparon de mejorar la viabilidad, exactitud y replicabilidad de la metodología. Todos los estudios incluyeron el cálculo de las emisiones directas e indirectas, a su vez estimaron las emisiones del transporte utilizando el enfoque ascendente. Además, las directrices IPCC aplicadas por los autores, comprendían las emisiones directas y el enfoque descendente. También se encontraron artículos en los que optaron por proponer su propio marco, debido en su mayoría a la escasez de datos completos, entre los grupos de IPCC y los grupos híbridos del LCA.

Un método híbrido de LCA fue desarrollado por Ramaswami et al. (2008) y evaluado en ocho ciudades estadounidenses (Himan 2010). En Kennedy et al. (2010), la metodología presentada alienta la contabilización de las emisiones del ciclo de vida completo de las ciudades para disponer de una medición más completa a escala urbana de la contribución al calentamiento global.

Hubo una coincidencia entre los autores respecto a la generalidad y pragmatismo de las metodologías utilizadas anteriormente al Programa de

Ciudades para la Protección del Clima del ICLEI y el Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales (Betsill y Bulkeley 2004). Afirmaron a su vez que, para permitir la comparación de las emisiones per cápita entre ciudades, a fin de buscar mejores prácticas e influir en otras ciudades, se precisa de métodos más sólidos. Se rescata la evolución a través de los años del método propuesto por Ramaswami et al. (2008), el método híbrido de LCA. La huella de la infraestructura comunitaria (CIF) adoptada por Tong et al. (2016) es una de las huellas contempladas entre la variedad de métodos desarrollados en las ciudades chinas. La estimación de las emisiones territoriales de las ciudades chinas, además de la adopción de las Directrices del IPCC, se pueden contemplar en el extremo derecho de la Fig. 4. En ese momento, Xi et al. (2011) y Liu et al. (2011) afirmaron que, aunque se habían realizado numerosos estudios relacionados con las emisiones urbanas de GEI, pocos estudios se habían centrado en el inventario de GEI a escala urbana, especialmente en China. No se evidenció la facilitación de las decisiones respecto a los encargados de formular políticas de desarrollo con bajas emisiones de carbono, puesto que la mayoría de los métodos y protocolos no estaban diseñados particularmente para ser ajustables a las bases locales de datos de las ciudades chinas.

La falta de datos en las ciudades del Sur Global, según lo declarado por Nagendra et al. (2018), fue asegurada por los estudios en las ciudades chinas, especialmente por Li et al. (2017a) que confirmaron la falta de datos como un problema importante para completar un inventario de GEI. Para superar la ausencia de una base de datos estadísticas sistematizada y de datos de baja calidad en China, los artículos, encontrados entre el LCA híbrido y el IPCC en la red bibliométrica, se centraron en la construcción de inventarios de emisiones de GEI de ciudades chinas sobre la base de los datos disponibles. En primer lugar, Shan et al. (2017) establecieron marcos para compilar inventarios de emisiones de GEI para las ciudades chinas, teniendo en cuenta la tabla de balance energético. Luego, Cai et al. (2019) presentaron un inventario de emisiones de GEI para casi 300 ciudades chinas combinando una diversidad de bases de datos - datos estadísticos

públicos, datos de encuestas in situ y una base de datos de alta resolución - para establecer una ciudad consistente con los inventarios de emisiones de CO<sub>2</sub> para permitir un punto de referencia para la mitigación de las emisiones de GEI.

## 5.2. Métodos de inventario de GEI a escala urbana

Esta revisión sistemática analizó estudios a lo largo de un período de 21 años.

El método de inventariado de GEI IPCC, seguido por el LCA híbrido, fueron los principales métodos empleados durante 16 años, encontrándose un único caso de marco propio, por como se aprecia en la Fig. 2. Es ya en los últimos 4 años se identificaron 2 casos categorizados como IPCC, en un total de 19 artículos revisados, uno comparó entre IPCC y LCA, y otro adoptó PGEC, a su vez nuevos marcos fueron propuestos en un total de 8 artículos, mientras que los otros estudios adoptaron *Eddy Covariance*, el modelo regional y AIP. El cómo están evolucionando los métodos de inventarios de GEI respondió a la gran variedad de métodos que se están empleando y desarrollando. Lombardi et al. (2017) destacan la necesidad de que las ciudades desarrollen métodos de contabilidad de GEI de la mano de la instituciones de investigación correspondientes, una especie de sinergia que facilite un protocolo conjunto de respuesta.

El Protocolo Mundial para las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (PGEC), lanzado en diciembre de 2014, fue descrito como "el nuevo estándar mundialmente reconocido para la notificación de emisiones a escala comunitaria" por el Pacto Mundial de Alcaldes - coalición internacional de ciudades y gobiernos locales. Sin embargo, más de 4 años después de la publicación, sólo un artículo identificado en esta revisión informó del proceso de elaboración de un inventario de GEI basado enteramente en CGP (Y. Li et al., 2017a). Los autores afirmaron que no podían cumplir todos los requisitos del PGEC debido a la enorme ausencia



de datos de actividad y de baja calidad. Según Erickson y Morgenstern (2016), la complejidad de este protocolo no permite a los gobiernos locales tomar decisiones políticas precisas.

Los resultados de esta revisión sistemática revelaron que todavía hay un camino para lograr un método globalmente compatible, como se puede ver en los artículos que recientemente propusieron nuevos marcos.

Tras evidenciar la necesidad de continuar investigando para mejorar la precisión con que se estiman las emisiones de las ciudades, Shan et al. (2017) y Cai et al. (2019) desarrollaron marcos propios basados en modelos más completos sobre las ciudades chinas. Por su parte, un enfoque de contabilidad espacial explícita para una gestión más eficiente de las emisiones de GEI fueron propuestos por Zhang et al. (2018) y Li et al. (2017b). Fue en ambos estudios que el modelo de inventariado sugerido empleó datos georreferenciados, estudios para la distribución espacial de las emisiones, además de informes sobre las emisiones de GEI de las empresas. Y, Gately y Hutyra (2017) diseñaron un nuevo método de inventario de GEI, el Sistema de Emisiones de Carbono Antropogénico (SECA), para facilitar la actualización, permitiendo el monitoreo de emisiones en ciudades que carecen de los recursos para realizar regularmente sus propios inventarios. Se pudo apreciar que la disponibilidad de bases de datos regularon la adaptación hacia nuevos modelos, que respondieron a su vez a métricas congruentes con las realidades locales.

A partir del análisis de los artículos que propusieron su propio marco, se podría inferir que los niveles de reporte del PGEC no están atendiendo a la realidad de las ciudades. Actualmente, PMEGEIC ofrece dos niveles para reportar las emisiones de la ciudad: Basic y Basic+. Estos dos niveles fueron desarrollados para ajustar las disparidades de la ciudad en la disponibilidad de datos y la capacidad técnica (World Resources Institute 2014). Tal vez sería necesario desarrollar niveles de informe antes del nivel de informe básico del PGEC. Además, las autoridades de las ciudades deben hacer un

esfuerzo por establecer un sistema estadísticamente completo para asegurar la recopilación de datos, especialmente en las ciudades del Sur Global que presentan una brecha importante en la disponibilidad de datos. El logro de un "protocolo mundial convenido" requeriría un esfuerzo conjunto entre los investigadores y las autoridades municipales para que los protocolos sean más compatibles con la disponibilidad de datos de cada ciudad, junto con la mejora de la recopilación de datos de las ciudades.

### **5.3. Métodos de contabilidad de las emisiones del transporte por carretera en toda la ciudad**

Los resultados de esta revisión revelaron el predominio de la adopción del enfoque de arriba hacia abajo. Y, a pesar del conocido desafío de la disponibilidad de datos, el 42,5% de los artículos estimaba las emisiones del transporte según un enfoque ascendente. Las autoridades de las ciudades deberían decidir qué enfoque contable utilizar teniendo en cuenta la disponibilidad de datos y la finalidad principal del inventario. El enfoque de arriba hacia abajo resulta más útil cuando no se contemplan acciones de mitigación, sino tan solo la caracterización de las emisiones. Por otro lado, resulta más factible el uso del enfoque ascendente, cuando las intenciones responden además de caracterizar las emisiones, el proponer e implementar planes de mitigación y monitoreo continuo.

Aún se presentan desafíos respecto a que la caracterización de los datos asegure una medición precisa de la realidad, en el marco de la obtención de los datos. Se ha corroborado que los datos de transporte deben responder a análisis a escala de ciudad y no ha promedios nacionales o de escalas mayores, puesto que además de que estos no permiten identificar los progresos, no son factibles en cuanto el interés sea el de dar seguimiento a medidas de mitigación. No se evidenció el empleo del modelo ASIF ni de sus cuatro componentes en ninguno de los 17 estudios de modelo de abajo hacia arriba.

En base a los datos estimados localmente de reportes municipales, los estudios de Delhi e India fueron los más cercanos a estimar las emisiones del transporte comprendidas en base a las variables del ASIF (Bhanarkar et al. 2018). La disponibilidad de datos respecto a flotas de taxis y transporte público también fue bien aprovechada por algunos estudios (Cellura, Cusenza y Longo 2018; Yu, Pagani y Huang 2012). En cambio los vehículos motorizados particulares aún representan un desafío mayor respecto a su métrica en cuanto a emisiones.

Tras el análisis de los tipos de datos y las fuentes de los artículos de abajo hacia arriba, no se pudo definir un patrón para los componentes del modelo del ASIF. Las bases de datos variaban considerablemente y era evidente el intento de los autores de compilar un inventario detallado de GEI para el sector del transporte. Cada artículo presentaba una combinación diferente de tipos de datos que pueden encontrarse en la Tabla 2.

En los últimos años, el aumento del volumen y la disponibilidad de datos ha permitido descubrir nuevas fuentes de datos relacionados con el transporte. Los macrodatos pueden explotar la información a una escala sin precedentes y podrían resolver los problemas tradicionales del sector del transporte basados en datos. Se evidenció un prometedor empleo de la infraestructura de transporte por parte de los investigadores, en cuanto a la combinación de herramientas de análisis de macrodatos y las mediciones con sensores, teléfonos móviles o navegadores GPS, que combinado, resaltando las variables de distancia recorrida, clase o tipo de transporte, velocidad y más (Torre-Bastida et al. 2018).

La movilidad urbana ha visto recientemente un peculiar aprovechamiento por parte de las redes sociales, la teledetección y otras fuentes de datos (Ilieva y McPhearson 2018). El modelo ASI podría aprovechar eficientemente estos datos, para obtener datos de vehículos motorizados privados y estimar más eficientemente las emisiones de GEI del transporte.

## VI. CONCLUSIONES

La reducción de la temperatura mundial en 2 °C responde a un esfuerzo mundial que debe contemplar sin duda el papel que desempeñan las ciudades en el calentamiento ambiental. Operativizar esos cambios responde en primera instancia a contar con un inventario de emisiones de GEI. Por consiguiente, en esta revisión sistemática se hizo una reseña de los métodos de inventario de GEI a escala de ciudad, en la que se evaluó la evolución de esos métodos a pesar de la falta de datos locales. La amplia variedad de métodos aplicados en las ciudades analizados en esta revisión, permitieron aclarar el cómo se calculan las emisiones en el transporte público. Precizando que este estudio se restringió a publicaciones científicas y a artículos que a escala de ciudad plantearon el inventariado de emisiones de GEI. Tras el examen crítico de 40 artículos, se expusieron las principales conclusiones y perspectivas futuras de los métodos de inventario de GEI en las ciudades en los últimos 20 años.

Más recientemente, se identificaron y documentaron varios métodos de inventario de GEI a escala urbana. La propuesta de nuevas alternativas respecto al ajuste de los métodos actuales de inventariado de GEI en las ciudades, fueron tema de interés en casi un tercio del total de los artículos analizados. Esta tendencia mostró que los métodos de los inventarios de GEI a escala urbana siguen evolucionando, aunque todavía carecen de los medios necesarios para lograr un "protocolo mundial convenido". El poner en relevancia la formulación de políticas locales en respuesta la contabilización de las emisiones respondió a la atención de algunos autores (Erickson y Morgenstern, 2016), quienes concuerdan en que la transparencia de estos procesos resulta igual de importante que la adopción de una metodología estandarizada. Considerando que las ciudades podrían hacer contribuciones significativas para combatir el cambio climático, la normalización de la contabilidad de las emisiones de GEI debería ser una prioridad para apoyar la medición, notificación y verificación (MIV) de las

emisiones y reducciones de las emisiones para cumplir los objetivos de reducción establecidos en el Acuerdo de París.

El principal problema detectado al compilar un inventario de GEI era la disponibilidad de datos, especialmente en el sector del transporte, que era uno de los ámbitos de este examen. La mayoría de las ciudades analizadas carecen de los datos necesarios relacionados con el transporte local para medir las emisiones de GEI sobre la base del enfoque ascendente, que representa el 42,5% de los artículos examinados. Fue que empleando la diversidad en las clases de datos que se tuvo la capacidad de generar inventarios de abajo hacia arriba. La actual potencialidad en materia de macrodatos puede suponer la superación de las brechas de obtención de datos completos en el sector transporte. Considerando el proceso de construcción de un "protocolo global acordado", es necesaria una investigación futura para explorar niveles adicionales de presentación de informes de la PGEC para ofrecer más opciones para las ciudades al adoptar un protocolo estandarizado. Además, en lo que respecta a la falta de datos, es necesario seguir investigando la forma en que los macrodatos podrían apoyar la recopilación de datos en la elaboración de los inventarios de GEI.

## VII. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

1. Los resultados obtenidos se rigen por la calidad y consistencia de los datos utilizados y las asunciones practicadas, por lo que pueden ser mejorados considerando nuevos escenarios de medidas proyectadas y nueva información disponible o de mejor calidad, de modo que se vayan ajustando mejor a la realidad y las proyecciones sirvan como herramientas de decisión.
2. Se puede establecer un año base más reciente usando información consistente. También se pueden aplicar otros modelos para comparar los resultados y realizar un mejor análisis comparativo de las proyecciones.
3. Es importante contar con datos de factores de emisiones nacionales que se ajusten a la realidad del país, por lo que sería recomendable realizar un nuevo estudio de factores de emisiones con las características de los vehículos actuales disponibles en el mercado y los nuevos combustibles más populares como el gas natural vehicular y el biodiesel.
4. En ese sentido. El MINAM debería promover medidas más expeditivas para garantizar la difusión de la información en la web de las instituciones, o canalizarlas a través del 'Infocarbono' para facilitar el acceso a los usuarios, mejorando así su transparencia.
5. El MINAM debería promover que las empresas de los diferentes sectores del país incluyan en sus memorias el consumo de combustible de sus procesos y ser trasladadas al 'Infocarbono'.
6. Mejorar la aplicación de las guías de buenas prácticas del IPCC, en particular: calcular cuantitativamente la incertidumbre a nivel de fuente, aplicar procedimientos básicos de garantía y control de la calidad.
7. Compartir los resultados con expertos de otros países, a fin de revisar la coherencia y precisión de los inventarios.

## VIII. REFERENCIAS

AGUILERA, R. y ARROYO, P., 2016. ¿Revisión Sistemática?, ¿Metaanálisis? O ¿Resumen de Revisiones Sistemáticas? *Nutrición Hospitalaria* [en línea], vol. 33, no. 2, pp. 503-504. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.20960/nh.528> .

BÄCKSTRAND, K., KUYPER, J.W., LINNÉR, B.O. y LÖVBRAND, E., 2017. Non-state actors in global climate governance: from Copenhagen to Paris and beyond. *Environmental Politics* [en línea], vol. 26, no. 4, pp. 561-579. ISSN 17438934. DOI 10.1080/09644016.2017.1327485. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09644016.2017.1327485>.

BAI, X., DAWSON, R.J., ÜRGE-VORSATZ, D., DELGADO, G.C., BARAU, A.S., DHAKAL, S., DODMAN, D., LEONARDBSEN, L., MASSON-DELMOTTE, V., ROBERTS, D. y SCHULTZ, S., 2018. Six research priorities for cities. *Nature* [en línea], vol. 555, pp. 23-25. ISSN 0028-0836. DOI 10.1038/d41586-018-02409-z. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-02409-z>.

BALDASANOMANGA, J.M., SORIANO, C. y BOADA, L., 1999. Emission inventory for greenhouse gases in the City of Barcelona, 1987-1996. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 33, no. 23, pp. 3765-3775. ISSN 13522310. DOI 10.1016/S1352-2310(99)00086-2. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00086-2).

BANK, W., 2017. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 29 Transport and Climate : Lessons from the Partnership between Mexico City and the World Bank Sustainable Development Working Paper No . 29 Transport and Climate : Lessons from the. *Sustainable Development* [en línea], no. May. Disponible en: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/650151468120542000/pdf/409090MX0Transport0and0Climate01PUBLIC1.pdf>.

BARONA, C.O., DEVISSCHER, T., DOBBS, C., AGUILAR, L.O., BAPTISTA, M.D., NAVARRO, N.M., DA SILVA FILHO, D.F. y ESCOBEDO, F.J., 2020. Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis. *Urban Forestry and Urban Greening* [en línea], vol. 47. ISSN 16108167. DOI 10.1016/j.ufug.2019.126544. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126544>.

BELLINSON, R. y CHU, E., 2019. Learning pathways and the governance of innovations in urban climate change resilience and adaptation. *Journal of Environmental Policy and Planning* [en línea], vol. 21, no. 1, pp. 76-89. ISSN 15227200. DOI 10.1080/1523908X.2018.1493916. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1523908X.2018.1493916>.

BETSILL, M.M. y BULKELEY, H., 2004. Transnational networks and global environmental governance: The cities for climate protection program. *International Studies Quarterly* [en línea], vol. 48, no. 2, pp. 471-493. ISSN 00208833. DOI 10.1111/j.0020-8833.2004.00310.x. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3693583>.

BHANARKAR, A.D., PUROHIT, P., RAFAJ, P., AMANN, M., BERTOK, I., COFALA, J., RAO, P.S., VARDHAN, B.H., KIESEWETTER, G., SANDER, R., SCHÖPP, W., MAJUMDAR, D., SRIVASTAVA, A., DESHMUKH, S., KAWARTI, A. y KUMAR, R., 2018. Managing future air quality in megacities: Co-benefit assessment for Delhi. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 186, pp. 158-177. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2018.05.026. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.026>.

BI, J., ZHANG, R., WANG, H., LIU, M. y WU, Y., 2011. The benchmarks of carbon emissions and policy implications for China's cities: Case of Nanjing. *Energy Policy* [en línea], vol. 39, no. 9, pp. 4785-4794. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2011.06.045. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.045>.



BJÖRKEGREN, A. y GRIMMOND, C.S.B., 2018. Net carbon dioxide emissions from central London. *Urban Climate* [en línea], vol. 23, pp. 131-158. ISSN 22120955. DOI 10.1016/j.uclim.2016.10.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.10.002>.

BUN, R., HAMAL, K., GUSTI, M. y BUN, A., 2010. Spatial GHG inventory at the regional level: Accounting for uncertainty. *Climatic Change* [en línea], vol. 103, no. 1-2, pp. 227-244. ISSN 01650009. DOI 10.1007/s10584-010-9907-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9907-5>.

CACP, 2009. Clean Air and Climate Protection Software. [en línea]. Disponible en: <http://www.4cleanair.org/%0AOldmembers/members/committee/software.html>.

CAI, B., LU, J., WANG, J., DONG, H., LIU, X., CHEN, Y., CHEN, Z., CONG, J., CUI, Z., DAI, C., FANG, K., FENG, T., GUO, J., LI, F., MENG, F., TANG, W., WANG, G., XIE, Y. y ZHANG, J., 2019. A benchmark city-level carbon dioxide emission inventory for China in 2005. *Applied Energy* [en línea], vol. 233-234, no. October 2018, pp. 659-673. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.10.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.016>.

CELLURA, M., CUSENZA, M.A. y LONGO, S., 2018. Energy-related GHG emissions balances: IPCC versus LCA. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 628-629, pp. 1328-1339. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.02.145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.145>.

CEPAL, 2020. *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe* [en línea]. S.I.: Naciones Unidas. ISBN 9789211220674. Disponible en: [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46739/S2000544\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46739/S2000544_es.pdf).

CITIES, 2019. C40 Greenhouse Gas Protocol for Cities Interactive Dashboard. *Open Data* [en línea]. Disponible en: [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/C40-cities-greenhouse-gas-emissions-interactive-dashboard?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/C40-cities-greenhouse-gas-emissions-interactive-dashboard?language=en_US).

CREUTZIG, F., LOHREY, S., BAI, X., BAKLANOV, A., DAWSON, R., DHAKAL, S., LAMB, W.F., MCPHEARSON, T., MINX, J., MUNOZ, E. y WALSH, B., 2019. Upscaling urban data science for global climate solutions. *Global Sustainability* [en línea], vol. 2, no. May. ISSN 20594798. DOI 10.1017/sus.2018.16. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/sus.2018.16>.

DODMAN, D., 2009. Greenhouse gas emissions and climate vulnerability. *Population Dynamics and Climate Change* [en línea], pp. 64-79. Disponible en: [http://www.urbandensity.org/sites/default/files/Dodman 2009.pdf](http://www.urbandensity.org/sites/default/files/Dodman%202009.pdf).

DULAL, H.B. y AKBAR, S., 2013. Greenhouse gas emission reduction options for cities: Finding the « Coincidence of Agendas» between local priorities and climate change mitigation objectives. *Habitat International* [en línea], vol. 38, pp. 100-105. ISSN 01973975. DOI 10.1016/j.habitatint.2012.05.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.05.001>.

EAKIN, H. y LEMOS, M.C., 2010. Institutions and change: The challenge of building adaptive capacity in Latin America. *Global Environmental Change* [en línea], vol. 20, no. 1, pp. 1-3. ISSN 09593780. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2009.08.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.08.002>.

ERICKSON, P. y MORGENSTERN, T., 2016. Fixing greenhouse gas accounting at the city scale. *Carbon Management* [en línea], vol. 7, no. 5-6, pp. 313-316. ISSN 17583012. DOI 10.1080/17583004.2016.1238743. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/17583004.2016.1238743>.

FEOLA, G., SUZUNAGA, J., SOLER, J. y GOODMAN, M.K., 2019. Ordinary land grabbing in peri-urban spaces: Land conflicts and governance in a small Colombian city. *Geoforum* [en línea], vol. 105, no. January, pp. 145-157. ISSN 00167185. DOI 10.1016/j.geoforum.2019.05.018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.05.018>.

FRY, J., LENZEN, M., JIN, Y., WAKIYAMA, T., BAYNES, T., WIEDMANN, T., MALIK, A., CHEN, G., WANG, Y., GESCHKE, A. y SCHANDL, H., 2018. Assessing carbon footprints of cities under limited information. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 176, pp. 1254-1270. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.11.073. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.073>.

GALLI, A., WIEDMANN, T., ERCIN, E., KNOBLAUCH, D., EWING, B. y GILJUM, S., 2012. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a «footprint Family» of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 16, pp. 100-112. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2011.06.017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>.

GARCÍA-SORIANO, D., QUESADA-ROMÁN, A. y ZAMORANO-OROZCO, J.J., 2020. Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City. *Journal of South American Earth Sciences* [en línea], vol. 102, no. March, pp. 102667. ISSN 08959811. DOI 10.1016/j.jsames.2020.102667. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102667>.

GATELY, C.K. y HUTYRA, L.R., 2017. Large Uncertainties in Urban-Scale Carbon Emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* [en línea], vol. 122, no. 20, pp. 11,242-11,260. ISSN 21698996. DOI 10.1002/2017JD027359. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2017JD027359>.

GENG, Y., PENG, C. y TIAN, M., 2011. Energy use and CO2 emission inventories in the four municipalities of China. *Energy Procedia* [en línea], vol. 5, pp. 370-376. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2011.03.063. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.063>.

HALE, T., 2013. Studying Global Environmental Meetings. *Global Environmental Politics* [en línea], vol. 13, no. August, pp. 46-64. ISSN 1526-3800. DOI 10.1162/GLEP. Disponible en: [https://doi.org/10.1162/GLEP\\_a\\_00362](https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00362).

HEINONEN, J. y JUNNILA, S., 2011. Case study on the carbon consumption of two metropolitan cities. *International Journal of Life Cycle Assessment* [en línea], vol. 16, no. 6, pp. 569-579. ISSN 09483349. DOI 10.1007/s11367-011-0289-3. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0289-3>.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. y MENDOZA TORRES, C.P., 2018. *Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-1-4562-6096-5. Disponible en: [http://www.mhhe.com/latam/sampieri\\_mi1e](http://www.mhhe.com/latam/sampieri_mi1e).

HIMAN, T., 2010. Greenhouse Gas Emission Footprints and Energy Use Benchmarks for Eight U.S. Cities. *Environmental Science & Technology* [en línea], vol. 44, no. 6, pp. 1902-1910. DOI 10.1021/es9024194. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es9024194>.

IBRAHIM, N., SUGAR, L. y HOORNWEG, D., 2012. Local Environment : The International Journal of Justice and Sustainability Greenhouse gas emissions from cities : comparison of international inventory frameworks. *Local Environment* [en línea], vol. 17, no. 2, pp. 223-241. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13549839.2012.660909>.

ILIEVA, R.T. y MCPHEARSON, T., 2018. Social-media data for urban sustainability. *Nature Sustainability* [en línea], vol. 1, no. 10, pp. 553-565.

ISSN 23989629. DOI 10.1038/s41893-018-0153-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-018-0153-6>.

IPCC, 1996. *An overview of the revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology for nitrous oxide from agriculture* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(99\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(99)00022-2).

IPCC, 2006. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* [en línea]. S.l.: Environmental Science and Policy. ISBN 9291693200. Disponible en: <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/1885455>.

IRAZÁBAL, C. y ANGOTTI, T., 2017. Planning Latin American Cities: Housing and Citizenship. *Latin American Perspectives* [en línea], vol. 44, no. 3, pp. 4-8. ISSN 1552678X. DOI 10.1177/0094582X16689558. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0094582X16689558>.

JING, Q., BAI, H., LUO, W., CAI, B. y XU, H., 2018. A top-bottom method for city-scale energy-related CO<sub>2</sub> emissions estimation: A case study of 41 Chinese cities. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 202, pp. 444-455. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.179>.

KENNEDY, C., DEMOULLIN, S. y MOHAREB, E., 2012. Cities reducing their greenhouse gas emissions. *Energy Policy* [en línea], vol. 49, pp. 774-777. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2012.07.030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.030>.

KENNEDY, C., STEINBERGER, J., GASSON, B., HANSEN, Y., HILLMAN, T., HAVRANEK, M., PATAKI, D., PHDUNGSILP, A., RAMASWAMI, A. y MENDEZ, G.V., 2010. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. *Energy Policy* [en línea], vol. 38, no. 9, pp. 4828-4837. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2009.08.050. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.050>.

KIM, K., HA, S. y KIM, H., 2017. Using real options for urban infrastructure adaptation under climate change. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 143, pp. 40-50. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.12.152. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.152>.

KLEINGELD, E., VAN HOVE, B., ELBERS, J. y JACOBS, C., 2018. Carbon dioxide fluxes in the city centre of Arnhem, A middle-sized Dutch city. *Urban Climate* [en línea], vol. 24, no. November, pp. 994-1010. ISSN 22120955. DOI 10.1016/j.uclim.2017.12.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.003>.

KOTTHAUS, S. y GRIMMOND, C.S.B., 2012. Identification of Micro-scale Anthropogenic CO<sub>2</sub>, heat and moisture sources - Processing eddy covariance fluxes for a dense urban environment. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 57, pp. 301-316. ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2012.04.024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.024>.

KRAUSE, R.M., Y. S. PARK, A., HAWKINS, C. V. y FEIOCK, R.C., 2019. The effect of administrative form and stability on cities' use of greenhouse gas emissions inventories as a basis for mitigation. *Journal of Environmental Policy and Planning* [en línea], vol. 21, no. 6, pp. 826-840. ISSN 15227200. DOI 10.1080/1523908X.2019.1680273. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1680273>.

KUMAR, M.K. y SHIVA NAGENDRA, S.M., 2016. Quantification of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions in a tropical urban environment. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 125, pp. 272-282. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2015.11.024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.024>.

KUNTSI-REUNANEN, E., 2007. A comparison of Latin American energy-related CO<sub>2</sub> emissions from 1970 to 2001. *Energy Policy* [en línea], vol. 35, no. 1, pp. 586-596. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2006.01.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.01.003>.

LA NOTTE, A., TONIN, S. y LUCARONI, G., 2018. Assessing direct and indirect emissions of greenhouse gases in road transportation, taking into account the role of uncertainty in the emissions inventory. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 69, no. November 2017, pp. 82-93. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2017.11.008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.11.008>.

LANKAO, P.R., 2017. Are we missing the point? Particularities of urbanization, sustainability and carbon emissions in Latin American cities. *Environment and Urbanization*, vol. 19, no. 1, pp. 159-175. ISSN 09562478. DOI 10.1177/0956247807076915.

LI, J.S., CHEN, G.Q., LAI, T.M., AHMAD, B., CHEN, Z.M., SHAO, L. y JI, X., 2013. Embodied greenhouse gas emission by Macao. *Energy Policy* [en línea], vol. 59, pp. 819-833. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2013.04.042. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.042>.

LI, Y., DU, W. y HUISINGH, D., 2017. Challenges in developing an inventory of greenhouse gas emissions of Chinese cities: A case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 161, pp. 1051-1063. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.06.072. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.072>.

LI, Y., QIAN, X., ZHANG, L. y DONG, L., 2017. Exploring spatial explicit greenhouse gas inventories: Location-based accounting approach and implications in Japan. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 167, pp. 702-712. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.08.219. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.219>.

LIN, J., LIU, Y., MENG, F., CUI, S. y XU, L., 2013. Using hybrid method to evaluate carbon footprint of Xiamen City, China. *Energy Policy* [en línea], vol. 58, pp. 220-227. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2013.03.007. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.007>.

LINDSAY, A., 2018. Water and climate in latin america: symposium conclusion. *Journal of Environmental Studies and Sciences* [en línea], vol. 8, no. 4, pp. 517. ISSN 21906491. DOI 10.1007/s13412-018-0513-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13412-018-0512-7>.

LIU, Z., GENG, Y. y XUE, B., 2011. Inventorying energy-related CO<sub>2</sub> for City: Shanghai study. *Energy Procedia* [en línea], vol. 5, pp. 2303-2307. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2011.03.396. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.396>.

LIU, Z., LIANG, S., GENG, Y., XUE, B., XI, F., PAN, Y., ZHANG, T. y FUJITA, T., 2012. Features, trajectories and driving forces for energy-related GHG emissions from Chinese mega cities: The case of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing. *Energy* [en línea], vol. 37, no. 1, pp. 245-254. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2011.11.040. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.040>.

LOMBARDI, M., LAIOLA, E., TRICASE, C. y RANA, R., 2017. Assessing the urban carbon footprint: An overview. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 66, no. March, pp. 43-52. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2017.06.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.06.005>.

LONG, Y. y YOSHIDA, Y., 2018. Quantifying city-scale emission responsibility based on input-output analysis – Insight from Tokyo, Japan. *Applied Energy* [en línea], vol. 218, no. October 2017, pp. 349-360. ISSN



03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.02.167. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.167>.

LU, C. y LI, W., 2019. A comprehensive city-level GHGs inventory accounting quantitative estimation with an empirical case of Baoding. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 651, no. 689, pp. 601-613. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.09.223. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.223>.

MAJUMDAR, D. y GAJGHATE, D.G., 2011. Sectoral CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and SO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel consumption in Nagpur City of Central India. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 45, no. 25, pp. 4170-4179. ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2011.05.019. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.019>.

MAL, S., SINGH, R.B., HUGGEL, C. y GROVER, A., 2018. Introducing Linkages Between Climate Change, Extreme Events, and Disaster Risk Reduction. *Sustainable Development Goals Series* [en línea], pp. 1-14. DOI 10.1007/978-3-319-56469-2\_1. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56469-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56469-2_1).

MARTIRE, S., MIRABELLA, N. y SALA, S., 2018. Widening the perspective in greenhouse gas emissions accounting: The way forward for supporting climate and energy policies at municipal level. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 176, pp. 842-851. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.12.055. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.055>.

MI, Z., GUAN, D., LIU, Z., LIU, J., VIGUIÉ, V., FROMER, N. y WANG, Y., 2019. Cities: The core of climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 207, pp. 582-589. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.10.034. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.034>.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J. y ALTMAN, D.G., 2010. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *International Journal of Surgery* [en línea], vol. 8, no. 5, pp. 336-341. ISSN 17439191. DOI 10.1016/j.ijssu.2010.02.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2010.02.007>.

MONTELONGO-REYES, M.M., OTAZO-SÁNCHEZ, E.M., ROMO-GÓMEZ, C., GORDILLO-MARTÍNEZ, A.J. y GALINDO-CASTILLO, E., 2015. GHG and black carbon emission inventories from Mezquital Valley: The main energy provider for Mexico Megacity. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 527-528, pp. 455-464. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.03.129. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.129>.

MUÑIZ, I. y ROJAS, C., 2019. Urban form and spatial structure as determinants of per capita greenhouse gas emissions considering possible endogeneity and compensation behaviors. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 76, no. February 2018, pp. 79-87. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2019.02.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.002>.

NAGENDRA, H., BAI, X., BRONDIZIO, E.S. y LWASA, S., 2018. The urban south and the predicament of global sustainability. *Nature Sustainability* [en línea], vol. 1, no. 7, pp. 341-349. ISSN 23989629. DOI 10.1038/s41893-018-0101-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-018-0101-5>.

NGUYEN, H.T., AVISO, K.B., LE, D.Q., KOJIMA, N. y TOKAI, A., 2018. A linear programming input–output model for mapping low-carbon scenarios for Vietnam in 2030. *Sustainable Production and Consumption* [en línea], vol. 16, no. xxxx, pp. 134-140. ISSN 23525509. DOI 10.1016/j.spc.2018.07.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.07.004>.

ONU-HÁBITAT, 2016. Urbanization and Development: Emerging Futures, UN Habitat World Cities Report. *Cities* [en línea], vol. 20, no. 3, pp. 167-174. ISSN 02642751. DOI 10.1016/S0264-2751(03)00010-6. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(03\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(03)00010-6).

PANDEY, D., AGRAWAL, M. y PANDEY, J.S., 2011. Carbon footprint: Current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea], vol. 178, no. 1-4, pp. 135-160. ISSN 01676369. DOI 10.1007/s10661-010-1678-y. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>.

PARDO MARTÍNEZ, C.I., ALFONSO PIÑA, W.H. y MORENO, S.F., 2018. Prevention, mitigation and adaptation to climate change from perspectives of urban population in an emerging economy. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 178, pp. 314-324. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.12.246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.246>.

PULSELLI, R.M., MARCHI, M., NERI, E., MARCHETTINI, N. y BASTIANONI, S., 2019. Carbon accounting framework for decarbonisation of European city neighbourhoods. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 208, pp. 850-868. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.10.102. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.102>.

QI, C., WANG, Q., MA, X., YE, L., YANG, D. y HONG, J., 2018. Inventory, environmental impact, and economic burden of GHG emission at the city level: Case study of Jinan, China. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 192, pp. 236-243. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.04.259. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.259>.

RAMACHANDRA, T. V., AITHAL, B.H. y SREEJITH, K., 2015. GHG footprint of major cities in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 44, pp. 473-495. ISSN 18790690. DOI

10.1016/j.rser.2014.12.036. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.036>.

RAMASWAMI, A., HILLMAN, T., JANSON, B., REINER, M. y THOMAS, G., 2008. A demand-centered, hybrid life-cycle methodology for city-scale greenhouse gas inventories. *Environmental Science and Technology* [en línea], vol. 42, no. 17, pp. 6455-6461. ISSN 0013936X. DOI 10.1021/es702992q. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es702992q>.

RIDOLFI, R., KNELLER, M., DONATI, A. y PULSELLI, R.M., 2008. The greenhouse gas balance of the Province of Siena. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 86, no. 2, pp. 365-371. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2006.04.012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.04.012>.

RODRÍGUEZ, G.A. y VARGAS-CHAVES, I., 2018. Participation in Environmental Decision Making as an Imperative for Democracy and Environmental Justice in Colombia. *Mediterranean Journal of Social Sciences* [en línea], vol. 9, no. 6, pp. 145-155. DOI 10.2478/mjss-2018-0170. Disponible en: <https://www.mcser.org/journal/index.php/mjss/article/view/10339>.

ROSENZWEIG, C., SOLECKI, W., HAMMER, S.A. y MEHROTRA, S., 2010. Cities lead the way in climate-change action. *Nature* [en línea], vol. 467, no. 7318, pp. 909-911. ISSN 00280836. DOI 10.1038/467909a. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/467909a>.

RUCKERT, A., MACDONALD, L. y PROULX, K.R., 2017. Post-neoliberalism in Latin America: a conceptual review. *Third World Quarterly* [en línea], vol. 38, no. 7, pp. 1583-1602. ISSN 13602241. DOI 10.1080/01436597.2016.1259558. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01436597.2016.1259558>.

SCHIPPER, L., MARIE-LILLIU, C. y GORHAM, R., 2008. Flexing the Link between Transport and Greenhouse Gas Emissions - A Path for the World Bank. *International Energy Agency* [en línea]. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/851906>.

SCHMIDT DUBEUX, C.B. y ROVERE, E.L. La, 2007. Local perspectives in the control of greenhouse gas emissions - The case of Rio de Janeiro. *Cities* [en línea], vol. 24, no. 5, pp. 353-364. ISSN 02642751. DOI 10.1016/j.cities.2007.01.012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2007.01.012>.

SHAN, Y., GUAN, D., LIU, Jianghua, MI, Z., LIU, Z., LIU, Jingru, SCHROEDER, H., CAI, B., CHEN, Y., SHAO, S. y ZHANG, Q., 2017. Methodology and applications of city level CO2 emission accounts in China. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 161, pp. 1215-1225. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.06.075. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.075>.

SÓWKA, I. y BEZYK, Y., 2018. Greenhouse gas emission accounting at urban level: A case study of the city of Wroclaw (Poland). *Atmospheric Pollution Research* [en línea], vol. 9, no. 2, pp. 289-298. ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2017.10.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2017.10.005>.

SUGAR, L., KENNEDY, C. y LEMAN, E., 2012. Greenhouse gas emissions from Chinese cities. *Journal of Industrial Ecology* [en línea], vol. 16, no. 4, pp. 552-563. ISSN 10881980. DOI 10.1111/j.1530-9290.2012.00481.x. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00481.x>.

TONG, K., FANG, A., BOYER, D., HU, Y., CUI, S., SHI, L., KALMYKOVA, Y. y RAMASWAMI, A., 2016. Greenhouse gas emissions from key infrastructure sectors in larger and smaller Chinese cities: method development and benchmarking. *Carbon Management* [en línea], vol. 7, no. 1-2, pp. 27-239.

ISSN 17583012. DOI 10.1080/17583004.2016.1165354. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17583004.2016.1165354>.

TONG, K., FANG, A., LI, Y., SHI, L., WANG, Y., WANG, S. y RAMASWAMI, A., 2018. The collective contribution of Chinese cities to territorial and electricity-related CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 189, pp. 910-921. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.04.037. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.037>.

TORRE-BASTIDA, A.I., DEL SER, J., LAÑA, I., ILARDIA, M., BILBAO, M.N. y CAMPOS-CORDOBÉS, S., 2018. Big Data for transportation and mobility: Recent advances, trends and challenges. *IET Intelligent Transport Systems* [en línea], vol. 12, no. 8, pp. 742-755. ISSN 1751956X. DOI 10.1049/iet-its.2018.5188. Disponible en: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5188>.

TRANFIELD, D., DENVER, D. y SMART, P., 2003. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *Supply Chain Forum* [en línea], vol. 15, no. 2, pp. 20-32. ISSN 16246039. DOI 10.1111/1467-8551.00375. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2015. *Adoption of the Paris Agreement* [en línea]. (1/CP.21). Paris: UNFCCC. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.

VAN ECK, N.J. y WALTMAN, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp. 523-538. ISSN 01389130. DOI 10.1007/s11192-009-0146-3.

VIEWEG, M., 2017. *Bottom-Up GHG Inventory and MRV of Measures* [en línea]. Germany: TraCS - Advancing Climate Strategies in Rapidly Motorising Countries. Disponible en: <http://transferproject.org/wp-content/uploads/2017/09/Bottom-Up-Inventory-and-MRV-of-Transport->

Measures.pdf.

WIEDMANN, T. y MINX, J., 2008. A definition of “carbon footprint”. *Ecological Economics Research Trends* [en línea], pp. 1-11. DOI 10.1088/978-0-750-31040-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/978-0-750-31040-6>.

WIEDMANN, T.O., CHEN, G. y BARRETT, J., 2016. The Concept of City Carbon Maps: A Case Study of Melbourne, Australia. *Journal of Industrial Ecology* [en línea], vol. 20, no. 4, pp. 676-691. ISSN 15309290. DOI 10.1111/jiec.12346. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jiec.12346>.

WOHLIN, C., 2014. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *ACM International Conference Proceeding Series* [en línea], DOI 10.1145/2601248.2601268. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>.

WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2004. A Corporate Accounting and Reporting Standard. *Greenhouse Gas Protocol* [en línea], pp. 116. Disponible en: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.

WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2014. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities. *World Resources Institute*. [en línea]. Disponible en: [http://ghgprotocol.org/files/ghgp/GHGP\\_GPC.pdf](http://ghgprotocol.org/files/ghgp/GHGP_GPC.pdf).

WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2019. CAIT Climate Data Explorer. *World Resources Institute*. [en línea]. Disponible en: <https://cait.wri.org/>.

WRIGHT, L. y FULTON, L., 2015. Climate change mitigation and transport in developing nations. *Transport Reviews* [en línea], vol. 25, no. 6, pp. 691-717. ISSN 01441647. DOI 10.1080/01441640500360951. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01441640500360951>.

WRIGHT, L.A., COELLO, J., KEMP, S. y WILLIAMS, I., 2011. Carbon footprinting for climate change management in cities. *Carbon Management* [en línea], vol. 2, no. 1, pp. 49-60. ISSN 17583004. DOI 10.4155/cmt.10.41. Disponible en: <https://doi.org/10.4155/cmt.10.41>.

XI, F., GENG, Y., CHEN, X., ZHANG, Y., WANG, X., XUE, B., DONG, H., LIU, Z., REN, W., FUJITA, T. y ZHU, Q., 2011. Contributing to local policy making on GHG emission reduction through inventorying and attribution: A case study of Shenyang, China. *Energy Policy* [en línea], vol. 39, no. 10, pp. 5999-6010. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2011.06.063. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.063>.

YU, W., PAGANI, R. y HUANG, L., 2012. CO2 emission inventories for Chinese cities in highly urbanized areas compared with European cities. *Energy Policy* [en línea], vol. 47, pp. 298-308. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2012.04.071. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.071>.

ZHANG, G., GE, R., LIN, T., YE, H., LI, X. y HUANG, N., 2018. Spatial apportionment of urban greenhouse gas emission inventory and its implications for urban planning: A case study of Xiamen, China. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 85, no. April 2017, pp. 644-656. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2017.10.058. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.058>.

ZHANG, L., LONG, R., CHEN, H. y GENG, J., 2019. *A review of China's road traffic carbon emissions* [en línea]. S.I.: Elsevier B.V. ISBN 1395229805. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.003>.





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotras, LAZO ARTEAGA MARILYN CRISTHINA, YANCAPALLO CRUZ SHIRLEY SOFIA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulado “EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS DE INVENTARIO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LAS CIUDADES: REVISIÓN SISTEMÁTICA”, es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Apellidos y Nombres del Autor</b>	<b>Firma</b>
LAZO ARTEAGA MARILYN CRISTHINA <b>DNI:</b> <b>ORCID:</b> 0000-0003-1479-0392	
YANCAPALLO CRUZ SHIRLEY SOFIA <b>DNI:</b> 70687619 <b>ORCID:</b> 0000-0003-0559-4971	