

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento de Asuntos Públicos

Convocatoria 2021-2022 (Modalidad Virtual)

Tesina para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades

Estado del avance sobre los compromisos de reducción de emisiones en el sector transporte:

Un análisis sobre las ciudades de Quito, Bogotá y Lima

Juan Andrés Trujillo Cárdenas

Asesora: Diana Paz

Lector: Juan Carlos López

Quito, junio de 2022

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mi futuro yo, porque sé que los procesos de cambio climático son complicados de entender cuando eres abogado, para poder criticar algo hay que entenderlo. Lo dedico también a mis viejos, por siempre hacerme el aguante, en todas las situaciones. ¡Gracias, mamá y papá! Por último – pero no menos importante-, gracias negro, porque siempre me apoyaste en todas las metas que me he planteado. Gracias a la Copos, a la Kiara, al Cooper, al Luca, al Farith y a la Lola.

Epígrafe

En suma, utopía, arte, literatura y teoría social son complementarios e interdependientes: cada uno aporta con metodologías y perspectivas para comprender, criticar, imaginar posibilidades y transformar la sociedad. Como diría Bloch, expone y multiplica las zonas de esperanza.

La utopía del oprimido: Los derechos de la naturaleza y el buen vivir en el pensamiento crítico, el derecho y la literatura

Ramiro Ávila Santamaría.

Índice de contenidos

Resumen	IX
Agradecimientos	X
Introducción	1
1.1. Las emisiones de gases efecto invernadero y sus compromisos de medición: Lineamientos desde C40	10
1.2. Compromisos locales de inventario y reducción de emisiones	11
1.2.1. El sector transporte en los inventarios de emisiones	13
1.3. Inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero: Una revisión de los casos de Ecuador, Colombia y Perú	14
1.3.1. Inventario nacional de GEI en Ecuador	14
1.3.2. Inventario nacional de GEI en Colombia	16
1.3.3. Inventario nacional de GEI en Perú	17
1.4. Balances energéticos a nivel nacional: Una revisión de los tres países	19
Capítulo 2. Inventarios de emisiones en tres ciudades andinas: Un estudio sobre las ciudades de Quito, Bogotá y Lima	24
2.1. Contexto de las ciudades andinas: Un recorrido por las emisiones GEI en Quito, Bogotá y Lima	24
2.2. Inventario de emisiones en Quito	25
2.2.1. Composición energética del sector transporte en Quito	29
2.2.2. Proyectos para atenuar emisiones del transporte en Quito	32
2.3 Inventario de emisiones en Bogotá	35
2.3.1. Composición energética del sector transporte en Bogotá	38
2.3.2. Proyectos para atenuar emisiones del transporte en Bogotá	42
2.4. Inventario de emisiones en Lima	45
2.4.1. Composición energética del sector transporte en Lima	48
2.4.2. Proyectos para atenuar emisiones del transporte en Lima	51
Capítulo 3. Un análisis de los estudios de caso: Cumplimiento de compromisos para reducir las emisiones de GEI	54
3.1. Sobre los inventarios de emisiones de GEI levantados en Quito, Bogotá y Lima	54
3.2. Sobre el cumplimiento de los compromisos de C40	56
3.3. Análisis sobre ejecución de los proyectos	58
3.4. Recomendaciones de política pública	59
Conclusiones	60

Lista de abreviaturas62
Lista de referencias64

Lista de Ilustraciones

Tablas

Tabla 1.1. Objetivos del Plan de Trabajo C40 para 2024	12
Tabla 1.2. Inventario de emisiones de Ecuador por sectores entre 1994 y 2012 (en Gg CO ₂ eq)	15
Tabla 1.3. Evolución de los inventarios de emisiones de Perú por sectores (Gg CO ₂ eq).....	18
Tabla 2.1. Venta de vehículos eléctricos por segmento (Unidades / % de participación).....	30
Tabla 2.2. Consumo de electricidad por sector (GWh)	31
Tabla 2.3. Reducción estimada de emisiones en Quito, según proyectos en cada sector	32
Tabla 2.4. Proyectos en ejecución en Quito a 2021 y reducción de emisiones estimada	33
Tabla 2.5. Estimación de reducción de emisiones en proyectos del sector transporte en Quito	34
Tabla 2.6. Distribución de emisiones por tipo de transporte en Bogotá al 2018 en porcentaje	40
Tabla 2.7. Evolución en el tiempo de las emisiones del transporte público en Bogotá.....	41
Tabla 2.8. Proyectos de Bogotá para reducción de emisiones en el sector transporte.....	44
Tabla 2.9. Inventarios de emisiones en Lima por sectores bajo GPC.....	49
Tabla 2.10. Reducción de emisiones de GEI por escenario y por año.....	49
Tabla 2.11. Inventario de emisiones del fuentes móviles en Lima para el año 2003 (toneladas/año)	51
Tabla 2.12. Inventario de emisiones del transporte público de Lima (toneladas/año)	52
Tabla 2.13. Reducción estimada de emisiones en Lima por cada sector	53
Tabla 2.14. Reducción estimada de emisiones según proyectos del sector transporte en Lima (t CO ₂ eq)	54
Tabla 3.1. Inventarios de emisiones bajo GPC de tres capitales andinas	56

Gráficos

Gráfico 1.1. Inventario de emisiones de Ecuador a 2012.....	15
Gráfico 1.2. Fuentes secundarias de energía del sector transporte en Ecuador, 2020.....	20
Gráfico 1.3. Encuesta Latinobarómetro. Pregunta: Bienes que posee, Auto.....	21
Gráfico 1.4. Consumo final de energía por sector en Colombia, 2020.....	22
Gráfico 1.5. Consumo final de energía por sector en Perú, 2019	22
Gráfico 2.1. Avance interanual de emisiones GEI por fuente en Quito.....	26
Gráfico 2.2. Emisiones proyectadas BAU vs. Inventarios, Caso de Quito.....	28
Gráfico 2.3. Avance interanual de emisiones GEI por fuente en Quito.....	38
Gráfico 2.4. Distribución de tipos de automotores en Bogotá, 2018.....	39
Gráfico 2.5. Distribución de fuentes de emisiones GEI de Lima para 2012.....	47
Gráfico 3.1. Comparación de tres capitales andinas en emisiones clasificadas por sector....	56
Gráfico 3.2. Comparación de emisiones per cápita entre tres capitales andinas.....	57

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesina

Yo, Juan Andrés Trujillo, autor de la tesina titulada “Estado del avance sobre los compromisos de reducción de emisiones en el sector transporte: Un análisis comparado entre Quito, Bogotá y Lima” declaro, que la obra es de mi exclusiva autoría, que le he elaborado para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia de *Creative Commons* 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, junio de 2022



Escaneo electrónico firmado por
JUAN ANDRES
TRUJILLO
CARDENAS

Juan Andrés Trujillo Cárdenas

Resumen

Presentar periódicamente inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) es una obligación internacional dado que los distintos países han adherido a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, cuyo artículo 2 establece esta obligación. En menor escala, las distintas ciudades han adherido voluntariamente a iniciativas de inventarios a escala subnacional, para buscar a nivel local cumplir con los límites de reducción de emisiones establecidos en el Acuerdo de París. La iniciativa C40 (*Cities for Climate Leadership Group*) ha promovido el desarrollo de inventarios locales de emisiones bajo metodologías de estandarización global. A partir de este contexto, esta investigación realiza un análisis sobre el nivel de avance de las tres capitales andinas que forman parte de C40: Quito, Bogotá y Lima en cuanto a los compromisos de reducción de emisiones de gases efecto invernadero a nivel local, con énfasis en el sector transporte. Metodológicamente, se parte de un estudio mixto, tomando el enfoque cuantitativo apoyado de estadística descriptiva para definir el volumen de emisiones y se complementa con metodología cualitativa en la revisión de las políticas de transporte público en las tres ciudades. El propósito de este estudio es analizar el nivel de avance de cada ciudad de la muestra en función de sus compromisos adquiridos, para culminar con recomendaciones de política para las ciudades andinas.

Agradecimientos

Agradezco a mis viejos: Patricia y Tracy, gracias por todo. Agradezco al negro por siempre apoyarme en todo, también agradezco a mi asesora de este trabajo, Diana Paz por toda la ayuda que me brindó durante el programa y agradezco a la USFQ, porque me enseñó de todo.

Introducción

La información es fundamental para poder abordar una problemática con suficientes herramientas. Es así como los inventarios de emisiones de gases contaminantes sirven tanto para abordar problemáticas complejas como el cambio climático a nivel local, como para comprender y plantear soluciones a problemáticas específicas del territorio. Actualmente cada país remite periódicamente los inventarios de sus emisiones, pero es necesario también conocer las emisiones a nivel de ciudades, para tener adecuadas intervenciones en problemas locales.

Por la necesidad de obtener información sobre fenómenos de proporciones continentales, las investigaciones sobre cambio climático requieren plazos de observación largos, así como coordinación con investigadores de otros países. Por tal motivo, se ha desarrollado un amplio conjunto de procedimientos y conceptos a nivel mundial. La medición de indicadores climáticos ha sido elevada a una preocupación global desde hace muchos años. El inicio de mediciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en la atmósfera comenzó en 1958, cuando se celebró el Año Internacional Geofísico. El científico norteamericano Charles D. Keeling, logró convencer al gobierno de EE.UU. de instalar una estación medidora en Hawaii, en la cumbre del volcán Mauna Loa (Fernández 2016). Con el tiempo, las mediciones pasaron a ser una preocupación internacional.

Desde la suscripción de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en 1992, existe un compromiso internacional de los gobiernos por calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), conforme a su artículo 4. Hay dos instrumentos de reporte: las comunicaciones nacionales y los informes bienales de actualización. El Panel Intergubernamental de Científicos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) emitió en 1996 directrices sobre cómo levantar estos inventarios, las cuales se han actualizado en 2006, 2013 y 2019 (IPCC, 2022). Ecuador presentó su Primera Comunicación Nacional en 2001, cuya información correspondía al año 1990 (Ministerio del Ambiente 2017). Colombia por su parte, presentó en 2016 su Tercera Comunicación Nacional con información acumulada de 1990 a 2012 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2016). Finalmente, Perú presentó en 2016 su Tercera Comunicación Nacional, con inventarios de emisiones del año 2012 (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020).

La presentación de inventarios nacionales a la comunidad internacional permite llevar registro de los esfuerzos en reducción de emisiones, así como la distribución de la responsabilidad compartida, aunque diferenciada, en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero.

Desde la COP 8, ocurrida en 2012 en Nueva Delhi, se recomienda a los países no incluidos en el Anexo I utilizar las directrices para reportar los compromisos de la Convención (Ministerio del Ambiente 2017). Es importante resaltar que sólo desde la COP21 realizada en 2015 en París, existe un compromiso de reducción de emisiones por parte de países no desarrollados, que son los países no incluidos en el Anexo I de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, entre los que se incluyen Colombia, Ecuador y Perú.

En 1992 durante la Cumbre de Río, los países suscribieron la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo artículo 1 define a este fenómeno como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (CMNUCC 1992). Desde 1995 los países celebran anualmente una Conferencia de las Partes, donde se abordan los compromisos y cooperaciones entre países y demás actores del concierto internacional.

Los principales actores presentes en esta conferencia son los organismos internacionales o las asociaciones de países, que tienen como fin alcanzar las metas sobre los cuatro objetivos que plantea el artículo 2 de dicha Convención, a saber: “Estabilizar la emisión de gases de efecto invernadero para evitar que la intervención humana sea negativa hacia el sistema climático, Permitir a los ecosistemas adaptarse al cambio climático, Evitar que la producción de alimentos se vea amenazada, y Permitir un desarrollo económico que sea sustentable”.

En la Tercera Conferencia de las Partes llevada a cabo en 1997 en Kioto, se suscribió un Protocolo anexo a la Convención Marco, el cual estableció mecanismos de financiamiento para medidas de adaptación y mitigación, así como el canje de emisiones de carbono. En este Protocolo, se establecieron metas obligatorias de reducción de emisiones para los países más desarrollados que se enumeran en el Anexo I.¹ En el caso de EE.UU., dicho Protocolo fue expresamente repudiado en 2001 por la administración de George W. Bush (Anglés 2002).

¹ En total 39 países y la Unión Europea se consideran países desarrollados para efectos del Protocolo de Kioto.

Para estandarizar los inventarios de emisiones, el IPCC ha emitido y actualizado desde 1996 determinados criterios para levantar la información que compone los inventarios de cada país. A partir de 2002, la Organización de Estándares Internacionales ISO por sus siglas en inglés, ha venido desarrollando estándares de gestión ambiental en la línea 14000. La norma 14064 fue emitida en marzo de 2006 y provee especificaciones para cuantificar y reportar tanto emisiones como capturas de GEI a nivel de organizaciones, así como para verificar y validar este tipo de inventarios (Wintergreen y Delaney 2006). En términos generales, la metodología se compone de cuatro etapas: levantamiento de datos, cálculo de emisiones netas, validación y reporte.

La norma ISO 14064-1 enumera como gases de efecto invernadero el dióxido de carbono CO₂; el óxido nitroso N₂O; el metano CH₄; los hidrofluorocarbonos HFC; los perfluorocarbonos PFC; el hexafluoruro de azufre SF₆ y el Trifluoruro de Nitrógeno NF₃ (Organización Internacional de Normalización, 2018). En 2006 el IPCC actualizó su metodología para estandarizarla con esta norma ISO. Los tres países siguen las directrices de inventarios establecidas en la Conferencia de las Partes de Nueva Delhi de 2002, que corresponde a países no incluidos en el Anexo I de la Convención Marco, que son países no desarrollados. En cumplimiento de la decisión 8/CP.11 adoptada en 2006, la periodicidad de las comunicaciones nacionales son cada cuatro años.

Presentar inventarios periódicos de emisiones de gases de efecto invernadero es una obligación establecida en la Convención Marco, cuyos requisitos y metodología se han venido adoptando y afinando con el tiempo. Actualmente, el reporte de Contribuciones Nacionales Determinadas (INDC, por sus siglas en inglés) sigue los parámetros establecidos en el Acuerdo de París de 2015. La 26^a conferencia de las partes -celebrada en Glasgow en 2021- esperaba alcanzar un acuerdo concreto de reducción de emisiones que incluya a países en desarrollo que son grandes emisores, pero no se alcanzó esa meta (Grisby et al 2021).

Es difícil alcanzar acuerdos o metas de reducción de emisiones a nivel de países, tanto por motivos económicos como diplomáticos. Hay economías nacionales dependientes de sectores económicos altamente emisores de GEI y hay una carrera entre países por alcanzar el más alto nivel de desarrollo posible, aún a expensas de lo que el artículo 284 de la Constitución ecuatoriana denomina “límites biofísicos de la naturaleza”. Por tal motivo, 20 alcaldes de las principales ciudades del mundo formaron en 2005 una alianza que aborda la reducción de

emisiones como política local. Desde 2006 este grupo se denomina *C40 Cities Climate Leadership Group* y abarca a 88 ciudades (C40 2022). El compromiso actual de esta red de liderazgo es disminuir las emisiones a la mitad para 2030, planificar, ejecutar y difundir esfuerzos para lograrlo, así como liderar a otras ciudades para que reduzcan también su impacto ambiental (C40 2021).

Producto de distintos instrumentos científicos y diplomáticos, se puede afirmar con certeza que existe un consenso sobre la utilidad de llevar inventarios de las emisiones de gases de efecto invernadero. La estimación de emisiones de carbono se realiza de manera agregada al considerar tanto la actividad económica, como la estructura del consumo energético en la actividad productiva, la intensidad en el consumo de energía y el tipo de combustible utilizado en dicho proceso (Barbero 2012). Todas las actividades económicas tienen diversas fuentes y flujos de energía, por lo que establecer criterios estandarizados para inventariar sus emisiones tiene su complejidad. Esto ha llevado a que desde distintas fuentes se vuelva común la conversión a toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂eq).

Barbero y Rodríguez (2012) citan a Schipper para describir en síntesis el levantamiento de inventario de emisiones: la elaboración de una línea de base de actividades, consumo de combustibles, emisiones de CO₂ y otros contaminantes; luego se elaboran proyecciones de actividad de transporte considerando cambios y variables que puedan incidir en el consumo de combustible; y finalmente evaluar el impacto de políticas orientadas a la sostenibilidad.

Los países reportan inventarios nacionales ante el mecanismo de la propia Convención, pero no hay mecanismos oficiales de reporte de inventarios subnacionales o locales. En 2014, el Instituto de Recursos del Mundo (*World Resources Institute*) desarrolló el Protocolo Global de Emisiones de GEI para escala de comunidad, siendo GHG Protocol la entidad certificadora del cumplimiento de este protocolo, usado por la iniciativa C40 (Fong et al 2014).

Este protocolo es el estándar que C40 considera para la medición de los avances de las ciudades que lo integran y se denomina GPC por sus siglas en inglés, mide los siete tipos de gases descritos por el Protocolo de Kioto, provenientes de seis grandes sectores: Emisiones de fuente fija, Sector transporte, Sector residuos, Sector industrial (proceso industrial y uso de productos), sector Agricultura, forestal y otros usos de suelo (AFOLU) y Otras emisiones (Fong et al 2014). El protocolo GPC plantea tres enfoques para definir los inventarios locales:

el enfoque 1 se limita a emisiones de fuentes fijas y móviles ubicadas dentro de los límites locales. El enfoque 2 agrega aquellas emisiones producto de consumo y transmisión de energía, sea que ocurran dentro o fuera de los límites de la ciudad o localidad analizada. Finalmente, el enfoque 3 se refiere a emisiones ocurridas fuera de la ciudad como resultado de actividades que ocurren dentro de la ciudad, como gestión de residuos, transporte hacia fuera de la ciudad, entre otras (Fong et al 2014).

Esta separación permite utilizar el enfoque 1 para poder sumar aritméticamente los inventarios de las distintas ciudades o localidades para obtener un inventario nacional, lo que no es posible con los enfoques 2 y 3 que requieren un análisis más complejo para hallar la suma nacional, evitando duplicidad de cálculo en emisiones fuera de los límites locales. Debido a la complejidad del levantamiento de información, este protocolo permite la presentación de los inventarios en varios niveles de alcance, siendo el modelo básico de inventario a las fuentes fijas del enfoque 1, excepto proceso industrial, uso de productos y AFOLU (Fong et al 2014).

El protocolo GPC requiere que las ciudades levanten sus inventarios siguiendo los principios de relevancia, integridad, consistencia, transparencia y exactitud. La forma de convertir los valores de emisiones de otros gases a equivalentes de CO₂ es mediante la multiplicación de los valores obtenidos por los coeficientes de potencial calentamiento global en 100 años que publica en sus guías el IPCC. Una herramienta sencilla se encuentra en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., EPA, pero estudios científicos requieren investigaciones de mayor rigurosidad.²

Al calcular las emisiones del sector transporte, incluimos a los vehículos automotores, los trenes, transporte naviero, aviación y transporte fuera de carreteras (como maquinaria agrícola u otra industria). El Protocolo Global de Emisiones no establece una metodología específica para este sector, aunque sí describe como prácticas comunes, las metodologías *top-down* y *bottom-up*. Las metodologías *top-down* calculan las emisiones multiplicando el volumen vendido de cada carburante por el factor de emisión de cada uno. En cambio, las metodologías

² La herramienta de EPA para calcular las equivalencias de gases de efecto invernadero en CO₂ puede consultarse en: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero>

bottom-up se aplican cuando es posible levantar información sobre la operación de cada vehículo (Unidad de Planeación Minero Energética 2020, 14).

Estas metodologías se rigen por un marco denominado ASIF, donde A (*Activity*) representa la longitud de viajes, medidos en kilómetros por vehículo); S (*Mode Share*) es la combinación multimodal de transporte; I (*Intensity*) es la energía que cada modo de transporte requiere y F (*Fuel*) es el factor combustible; es decir, cómo se compone el combustible en la ciudad o sector analizado. (Fong et al 2014, 74). Generalmente, las ciudades parten de una metodología *top-down* y posteriormente, conforme obtienen más información de cada vehículo, pueden avanzar a metodologías *bottom-up* (Unidad de Planeación Minero Energético 2020, 14).

En todo caso, el Protocolo Global de Escala Comunitaria plantea medir únicamente el transporte de pasajeros y carga cuando se investigue el enfoque 1. Bajo el enfoque 2, únicamente se agregan las emisiones de transporte de energía para vehículos eléctricos y bajo el enfoque 3, se incorporan las emisiones de viajes que lleguen de fuera o salgan de la ciudad. Una forma de realizar el análisis bajo la metodología *top-down* es sumar la totalidad de ventas de combustibles al interior de la ciudad, que se suele seguir cuando la ciudad no tiene un modelo planificado de transportación (Fong et al 2014).

La cantidad de combustible comercializada se multiplica por el contenido de cada tipo de gas que su combustión emite: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Otros métodos son los de: actividad inducida (requiere encuestas o reportes por vehículo), método territorial (uso estimado del parque automotor local) y método de actividad de los residentes (basado en registros o encuestas) (Unidad de Planeación Minero Energético 2020, 16).

En este sentido, realizar un inventario de emisiones es una investigación académica o técnica de mayor profundidad. Esta investigación plantea más bien un análisis sobre los datos existentes y revisa el estado actual frente a la reducción de emisiones de gases en las tres ciudades planteadas: Bogotá, Quito y Lima. La tesina presenta como estructura un primer capítulo, en donde se desarrolla un marco conceptual que respalda el levantamiento de inventarios como compromiso internacional de los países, así como los compromisos por ciudades a nivel internacional.

Este trabajo realiza un análisis descriptivo sobre el nivel de cumplimiento de compromisos de reducción de emisiones efecto invernadero en ciudades capitales de países andinos, así como de los proyectos de mitigación en el sector transporte. Utilizamos la revisión de tres casos de estudio para establecer conclusiones y recomendaciones de política pública. Para la selección de estos casos se toma en cuenta la presencia de las ciudades dentro de la red C40 y se delimitan las capitales de países andinos que son parte de esta asociación, con el fin de analizar los avances sobre el nivel de reducción de emisiones GEI en tres ciudades latinoamericanas geográficamente cercanas.

La selección de estos casos se realiza bajo el método de más similares (Seawright y Gerring 2008) en el que se toma al contexto de la Región Andina como la variable similar presente en los casos, pero con diferentes resultados. Es de interés académico conocer cuánto de las emisiones de las tres capitales andinas (Bogotá, Quito y Lima) se puede atribuir al sector transporte. También cuánto han avanzado estas ciudades en sus propósitos de reducción de emisiones, que debería alcanzar a 2030 la reducción de las emisiones a la mitad para alcanzar la meta global de C40. En general, las ciudades son fuente principal de las emisiones de gases de efecto invernadero y las ciudades latinoamericanas son un ámbito de estudio en las ciencias sociales en las últimas décadas. Un estudio analítico alrededor de los tres estudios de caso permitirá tener un nivel de conocimiento sobre el aporte de los gobiernos locales al propósito mundial de reducción de emisiones, en los países andinos de Colombia, Ecuador y Perú.

Esta comparación busca establecer el nivel de reducción de emisiones en las tres capitales andinas de la muestra, también describe el grado de avance en cuanto a descarbonización del sector transporte. Metodológicamente, esta investigación propone un análisis mixto. Desde un enfoque cuantitativo, el uso de estadística descriptiva para analizar los indicadores de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector transporte.

Cualitativamente, se propone realizar un análisis sobre las políticas públicas de transporte público de cada ciudad con el fin de comparar las metas que se propone con el avance (o no) de emisiones de gases efecto invernadero.

La investigación toma información secundaria disponible en investigaciones internacionales y locales, como los inventarios de GEI presentados en C40, políticas públicas locales, planes de desarrollo, políticas nacionales, artículos académicos y tesis de postgrado. Esto con el fin de

conocer los indicadores más recientes disponibles sobre reducción de emisiones de las ciudades seleccionadas.

Mediante esta investigación busco responder a la pregunta de investigación: ¿Qué avances han logrado las ciudades de Quito, Lima y Bogotá en reducción de emisiones provenientes del sector transporte? Esta pregunta lleva implícita la necesidad de conocer los inventarios de emisiones de estas ciudades, debido a que no puede medirse el nivel de reducción de emisiones sin saber la línea base y los actuales niveles de emisiones.

El objetivo general de esta investigación es analizar los avances sobre los compromisos de reducción de emisiones en el sector transporte en las ciudades de Quito, Lima y Bogotá. Para alcanzar este objetivo, es necesario cumplir los siguientes objetivos específicos:

1. Conocer el volumen de emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades de Bogotá, Quito y Lima, tanto de manera agregada como del sector transporte en específico.
2. Identificar los compromisos de reducción de GEI por parte de Quito, Lima y Bogotá, ante el grupo C40 relacionados con la reducción de emisiones en el sector transporte.
3. Definir el avance de los compromisos de reducción de GEI en el sector transporte por parte de las capitales andinas parte de la red C40: Quito, Lima y Bogotá.
4. Generar recomendaciones de política pública dirigidas a las autoridades de las tres ciudades en relación a los compromisos de reducción de GEI en el sector transporte.

Esta investigación se presenta en tres capítulos, comenzando con el que resume la obligación internacional de reporte periódico de inventarios de emisiones de GEI a nivel de países. En 1992, los países celebraron la Conferencia de Río, donde se debatió sobre la relación entre el ambiente y el desarrollo, producto del cual se suscribió, entre otros instrumentos, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Anualmente se reúnen conferencias de las partes para evaluar avances en el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos en virtud de haber suscrito dicha Convención.

En la reunión 21 (COP21, *conference of parties*), se suscribió el Acuerdo de París de 2015, que fija de manera explícita la meta de reducción de emisiones, buscando no llegar a un

incremento de temperatura de 2°C frente a niveles previos a la Revolución Industrial. También se aspira a limitar tal incremento a 1,5°C.

El segundo capítulo desarrolla los niveles de información disponible para las tres ciudades del estudio de casos que plantea esta investigación, así como los compromisos que cada ciudad ha declarado en el contexto de C40 *Cities for Climate Leadership Group*. Se presenta también el grado de avance en el cumplimiento de estos compromisos por parte de las tres ciudades.

Finalmente, se realiza un análisis a partir de estadística descriptiva sobre las emisiones de gases y se compara alrededor de los compromisos adquiridos por cada ciudad, lo cual permite plantear recomendaciones para que las ciudades materia de este estudio puedan presentar avances significativos en cuanto a reducción de emisiones locales provenientes del sector transporte, de cara a la evaluación intermedia que C40 plantea para 2024.

Capítulo 1. Medición de Gases de Efecto Invernadero y su relevancia en la toma de decisiones locales

Este capítulo realiza una revisión conceptual alrededor de lo que ha significado la medición de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global. Se identifican los principales acuerdos alrededor de estos compromisos y finalmente se realiza una revisión desde un nivel nacional de tres países: Colombia, Ecuador y Perú, lo cual permitirá en el segundo capítulo de esta investigación aterrizar al nivel local sobre cada una de sus capitales.

1.1. Las emisiones de gases efecto invernadero y sus compromisos de medición:

Lineamientos desde C40

Dado que el 80% de emisiones de gases de efecto invernadero provienen de las ciudades (CEPAL 2016) y considerando que las autoridades locales tienen competencia para regular aspectos como el transporte, el uso de suelo o las actividades económicas, es razonable abordar los esfuerzos para afrontar el cambio climático en una escala local. Identificar las fuentes de emisiones y el volumen de tales emisiones es el primer paso para que las autoridades locales puedan enfocar sus esfuerzos en aplicar estrategias adecuadas a cada ciudad para lograr reducir sus emisiones.

Desde 2014 el compacto C40 aplica el Protocolo Global de Emisiones de escala comunitaria (GPC) como mecanismo de estandarización de la información que provee cada ciudad en cuanto a emisiones (Fong et al 2014). C40 sirve como un mecanismo de cooperación que permite identificar proyectos de adaptación y de mitigación, así como enlazarlos con fuentes de financiamiento y enlaza a los distintos actores sociales y gubernamentales que intervienen en el quehacer de la acción ante el cambio climático, para que compartan su conocimiento y mejores prácticas. A 2020, se estima que ha logrado enlazar a proyectos y mecanismos de financiamiento por \$650 millones, a través de su mecanismo *C40 Cities Finance Facility* (C40 2021). Por este motivo, se necesita poder estandarizar la información sobre los distintos proyectos, siendo uno de los criterios de comparación la capacidad de reducción de emisiones.

Las ciudades que integran C40 se han comprometido a reducir a la mitad sus emisiones para el año 2030. La cooperación ciudad-ciudad y la capacidad de compartir entre sí mejores prácticas son los fundamentos de C40 para apoyar a las ciudades a alcanzar la reducción de emisiones. Una de las formas de apoyo ocurre también entre municipalidades. El recibir

asesoría sobre ciudades entre pares, con sinceridad y sin costo provee múltiples ventajas a las ciudades: les permite reducir costos, evitar errores y construir capacidades para la acción climática (C40 2021).

Otras ventajas de la cooperación entre ciudades es la presión positiva entre pares y la capacidad de calcular de manera agregada los impactos de los esfuerzos conjuntos e individuales de las ciudades que integran este grupo. Cuando una ciudad alcanza un hito importante, éste se vuelve un nuevo estándar para el resto de ciudades. Solo para mencionar cuatro ejemplos, C40 ha comparado cómo han progresado las ciudades en ámbitos de transporte, generación de energía o seguridad alimentaria entre los años 2009 y 2020. De 14 ciudades con un sistema de renta pública de bicicletas en 2009 pasó a 86 ciudades en 2020. Asimismo, la cantidad de ciudades que han impuesto límites a vehículos altamente contaminantes subió de 3 a 23 ciudades. En 2009, solo 4 ciudades tenían energías renovables en su oferta energética, pasando a 26 en la actualidad (2020). Se incrementó de 4 a 55 las ciudades con proyectos de inversión sobre riesgo alimentario (combate al hambre y la desnutrición). Estos ejemplos muestran la capacidad agregada que tienen las ciudades que actúan en conjunto (C40 2021).

1.2. Compromisos locales de inventario y reducción de emisiones

Hay varios motivos para considerar a las ciudades como el espacio donde se va a disputar la adaptación y la mitigación. Por una parte, las ciudades son lugares emisores netos de GEI y muchas de sus actividades inherentes a su funcionamiento inciden en este tipo de contaminación. Siendo el 2% de la superficie terrestre, albergan al 70% de la población mundial y es responsable del consumo de hasta el 80% de la energía que emite gases de efecto invernadero (CEPAL 2016). Por ejemplo, el transporte, la producción industrial, la generación de energía y el uso de suelo y su cambio, generan emisiones en las ciudades (United Nations Human Settlements programme 2011).

Concentrar las acciones en niveles locales tiene también como ventajas, el que los gobiernos locales tienen mayor tendencia a la innovación y menos restricciones burocráticas que los niveles nacionales. Además, las autoridades locales pueden entender mejor las necesidades y limitaciones locales y directamente tienen competencia en servicios básicos, fijar regulaciones de uso de suelo, eficiencia de construcciones y transporte local (C40 2021).

En particular, la ciudad latinoamericana ha sido un objeto de estudio en las ciencias sociales durante los últimos siglos. Por lo que el interés sobre el tema de cambio climático, se concentra también en la región andina. Tres capitales de la Comunidad Andina son parte de C40: Quito, Bogotá y Lima. Por una parte, Bogotá se incorporó en 2006 y actualmente su alcaldesa forma parte del comité ejecutivo. Lima se incorporó en 2007 mientras Quito se incorporó en 2015 (C40 2021).

El compromiso del grupo C40 es adoptar un plan de acción resiliente e inclusivo, alineado con el compromiso de París de evitar superar el 1,5°C como límite de incremento de temperatura comparado con 1990. Esto exige para 2024 una revisión del nivel de cumplimiento de este plan. Se espera que esta ejecución muestre incremento en la resiliencia, resultados equitativos y permitan estimar que para 2030 se hayan disminuido las emisiones a la mitad (C40 2021). Esta investigación busca aportar un primer informe de avance sobre el cumplimiento de este compromiso y sobre el avance de los proyectos de estas tres ciudades para alcanzarlo.

Al igual que las 88 ciudades integrantes de C40, Quito, Bogotá y Lima tienen una meta de alcanzar cero emisiones netas para 2050 y pasar una primera revisión a 2030, consistente en lograr reducir a la mitad las emisiones netas (C40 2021). Por tanto, el estudio comparativo analizará el nivel de cercanía a ambas metas y el nivel de avance de sus respectivos planes de acción climática. La selección de los casos es intencional para abordar la particularidad de capitales de países de la Comunidad Andina que son integrantes del compacto C40.

En enero de 2021, el Comité ejecutivo de C40 adoptó como estándares de liderazgo para el período 2021 a 2024, las siguientes cinco metas resumidas en estos términos clave:

Tabla 1.1. Objetivos del Plan de Trabajo C40 para 2024

Términos clave	Objetivo al 2024
<i>Plan</i>	La ciudad ha adoptado y actualizado un plan de acción climática resiliente e inclusivo, en sintonía con la meta de reducción de emisiones hasta máximo 1,5°C conforme el Acuerdo de París.
<i>Deliver</i>	Los avances en resiliencia, equidad y reducción de emisiones a 2024 deben permitir alcanzar la meta de reducir a la mitad las emisiones para 2030.
<i>Mainstream</i>	Las ciudades utilizan sus capacidades económicas y regulatorias para difundir

	su meta de reducción de emisiones y convocar a más actores a participar en este esfuerzo.
<i>Innovate</i>	Las ciudades deben formar parte de iniciativas inclusivas y resilientes para abordar la reducción de emisiones más allá de sus competencias, por ejemplo, incidir en la elección de compra de la ciudadanía.
<i>Lead</i>	Las ciudades que lideran la acción climática a nivel global inspiran a otros a alcanzar las metas del Acuerdo de París.

Fuente: C40 (2021).

El producto de este análisis puede llevar a plantear mejor las actividades de mitigación y adaptación ante el cambio climático a fin de apoyar a que estas tres capitales ancianas alcancen en 2024 una evaluación más positiva en el contexto de C40.

1.2.1. El sector transporte en los inventarios de emisiones

Entre 2016 y 2020, se han incorporado 250 inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, realizadas bajo el Protocolo Global de Emisiones a escala de comunidad, a la base de datos de C40 (C40 2022). De este universo de información se desprende que cerca del 30% de las emisiones de las ciudades analizadas provienen del sector transporte (C40 2021). Las autoridades locales pueden hacer mucho para reducir emisiones y tránsito, tanto promoviendo un desarrollo urbano enfocado en el transporte, como mediante la mejora de los servicios públicos relacionados con el transporte y con otras formas de movilidad, como la bicicleta o caminar. El informe regional de la Conferencia de Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) señala que “existe una tendencia general hacia el crecimiento urbano incontrolado que plantea problemas para la dinámica social y la sostenibilidad ambiental dado el alto grado de dependencia del transporte, el sellado de los suelos y los gastos para el mantenimiento de la infraestructura de magnitud sobredimensionada.” Y en casi cinco años, nuestra conducta como individuos y como sociedad, no ha hecho más que continuar el patrón tradicional de desarrollo urbano.

Aunque no tiene calidad de norma internacional, al haber sido comúnmente utilizada, puede considerarse parte del concierto internacional al Protocolo Global de Emisiones de Escala Comunitaria (GPG, por sus siglas en inglés). Bajo este Protocolo, se considera que cumple el nivel BASIC al inventario que reporte todas las emisiones dentro del límite de la ciudad bajo el enfoque 1, así como las emisiones del enfoque 2 relacionadas con la transmisión de energía eléctrica dentro de los límites de la ciudad. En cambio, un inventario BASIC+ contiene todas

esas características antes descritas y además las emisiones GEI asociadas a la transportación hacia y desde fuera de la ciudad. Por el tipo de transporte, las fuentes móviles de emisiones se clasifican en: transporte terrestre por carretera, transporte ferroviario, transporte naval, aviación y transporte fuera de carreteras, que abarca tractores, maquinaria rodante, etc.

1.3. Inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero: Una revisión de los casos de Ecuador, Colombia y Perú

Este acápite realiza una revisión de los inventarios nacionales de emisiones de GEI. Se toma dentro del análisis los países correspondientes a las ciudades capitales que desarrollan la investigación y que tienen por objeto identificar compromisos desde el gobierno nacional y que dan cuenta o redundan en lo local.

1.3.1. Inventario nacional de GEI en Ecuador

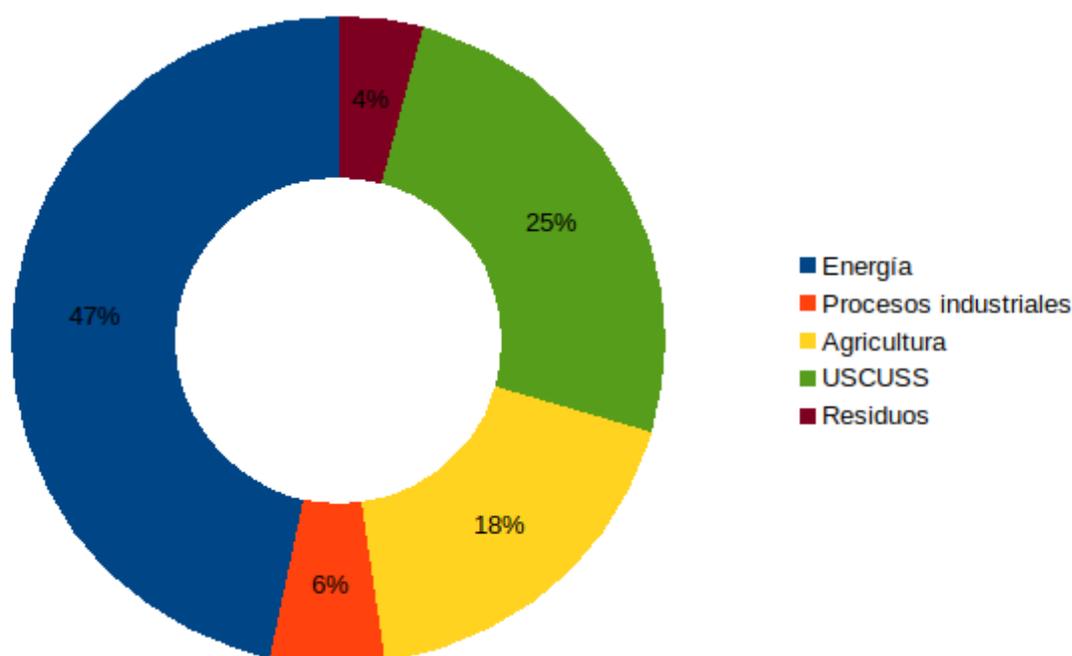
En Ecuador, el sistema nacional de inventarios de gases de efecto invernadero fue desarrollado con soporte de la cooperación de Naciones Unidas (PNUD, GEF, ONUREDD), que ha incluido una herramienta digital para consulta de sus resultados y metodologías.³ El país ha presentado tres comunicaciones nacionales en los años 2001, 2011 y 2017. El inventario nacional más reciente fue reportado en 2017 y corresponde a la Tercera Comunicación Nacional, que presenta datos del 2012. Actualmente, está en preparación la Cuarta Comunicación con datos de 2018, pero no se presentó en el cuatrienio señalado en la Convención. En todo caso, el sistema de inventarios cataloga a las emisiones en cinco sectores. Bajo este inventario, el transporte es una subcategoría dentro del sector Energía. En consecuencia, existe información nacional de emisiones atribuibles al sector transporte.

De acuerdo a la Tercera Comunicación Nacional, para 2012 las emisiones totales del Ecuador ascendían a 80.627,16 Gg de CO₂eq⁴. De este total, el sector Energía compone el 46,63% de emisiones. Al subsector transporte, que es parte del sector energía, de acuerdo a esta metodología le corresponden 16 869,47 Gg de CO₂eq, lo cual representa el 20,9% de todas las emisiones del sistema ecuatoriano para el año 2012 (Ministerio del Ambiente 2017).

³ La herramienta digital está disponible en: <http://singei.ambiente.gob.ec>

⁴ De acuerdo al Sistema Métrico Decimal, un Giga (G) equivale a 1000000000 veces la unidad de medida, o 10⁹.

Gráfico 1.1. Inventario de emisiones de Ecuador a 2012



Fuente: Ministerio del Ambiente (2017).

La ventaja de levantar información desde 1994 le permite a Ecuador medir los niveles de incremento entre sectores. Los distintos sectores han visto incrementar sus emisiones entre 1994 y 2012, pero los mayores incrementos se dan en los sectores energía (que incluye transporte) y el sector de Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUS), que se más que duplican entre 18 años. En términos absolutos, las emisiones nacionales han disminuido entre 1994 y 2012 de forma apenas perceptible, de 84.817 Gg CO₂eq a 80.627,16 Gg CO₂eq (Ministerio del Ambiente 2017, 110). Esto permite concluir que hay mayor eficiencia energética en las últimas décadas, pues con mayor población se ha logrado prácticamente contener el incremento de emisiones.

Tabla 1.2. Inventario de emisiones de Ecuador por sectores entre 1994 y 2012 (en Gg CO₂eq)

Año	1994	2000	2006	2010	2012
Sectores					
Energía	14 994,92	21 648,27	29 541,34	35 812,52	37 594,03
Procesos industriales	2 036,81	1 389,97	2 762,61	2 659,25	4 571,72
Agricultura	15 029,29	12 307,30	14 061,63	14 515,94	14 618,40

USCUSS	51 322,83	42 219,02	35 265,30	24 171,11	20 435,49
Residuos	1 433,51	1 688,19	1 845,61	3 345,41	3 377,83
Total	84 817,36	79 252,71	83 466,49	80 504,23	80 627,16

Fuente: Ministerio del Ambiente (2017).

Dentro del sector energía, la categoría transporte aporta con 45,16% de las emisiones (Ministerio del Ambiente 2017, 61). Al desagregar por tipo de carburante, se observa que el Diésel es el combustible que más emisiones genera, representando el 31% de todas las emisiones del sector transporte, seguida de las emisiones provenientes de gasolinas y naftas (28%), mientras el resto de energéticos con menor grado de emisiones incluyen electricidad (13%), gas licuado de petróleo (9%), fuel oil (8%) y otros energéticos (11%). (Ministerio del Ambiente 2017, 61).

El inventario ecuatoriano incluye un sistema de control de la calidad de los datos, un plan de mejoras para mejorar la calidad de los datos para posteriores reportes y una estimación de la incertidumbre.

La ciudad de Quito representa aproximadamente una cuarta parte de la población y de la economía ecuatoriana, por lo que sería razonable esperar que la ciudad sea responsable de aproximadamente una cuarta parte de las emisiones nacionales. Al comparar el inventario nacional de emisiones del año 2012 con el inventario local de las emisiones de Quito de 2011, se encuentra que la capital representa el 64,18% de las emisiones de todo el país. El análisis de C40 sobre la contaminación del aire en Quito (C40 2019) relaciona el nivel de contaminación a la menor combustión producto de la baja presión de aire debido a que esta ciudad está a alto nivel sobre el nivel del mar, y asigna al sector transporte el 31% de las emisiones de PM 2,5.

1.3.2. Inventario nacional de GEI en Colombia

Colombia ha presentado tres comunicaciones nacionales con inventarios calculados para 1990, 1994 y 2012. Estos informes provienen del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, en cooperación con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. En 2016 se presentó la tercera comunicación nacional y primer informe bienal de actualización. Este inventario clasifica las emisiones en cuatro grandes sectores: Energía (que incluye al sector transporte); procesos industriales y uso de productos; agricultura, silvicultura

y otros usos de la tierra; y residuos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2016).

En su primera comunicación nacional, Colombia presentó los inventarios de emisiones de los años 1990 y 1994. Este informe muestra que en 1994 la economía colombiana emitió 149,867.80 Gg de CO₂eq. En este inventario, se clasifican las fuentes en cinco sectores: energía, procesos industriales, agricultura, cambio de uso de suelo y residuos. En tanto, el transporte está contemplado dentro del sector energía, que en total aportó 61,800.70 Gg de CO₂eq. Una gran parte de estas emisiones son CO₂, correspondiente a 55.351,70 Gg de CO₂eq en todo el sector energía. La Primera Comunicación Nacional asigna al transporte automotor como responsable de 16.974,10 Gg de CO₂, además de otros gases. No hay actualización de datos en las siguientes comunicaciones (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2016).

Colombia se ha propuesto un Ideario energético a 2050, que plantea siete objetivos energéticos: alcanzar un suministro confiable y diversificar la canasta de energéticos, promover la gestión eficiente de la demanda e incorporar tecnologías de transporte limpio, mejorar la equidad energética del país, estimular las inversiones en interconexiones internacionales y en infraestructura para la comercialización, viabilizar la generación de valor en el sector energético para sus territorios, crear vínculos entre la información, el conocimiento y la innovación del sector y contar con un Estado más eficiente para cumplir estos objetivos (Unidad de Planeación Minero Energético 2015).

A 2018, se contabilizaba en Bogotá a 11'421.725 t CO₂eq, el total de emisiones de esa ciudad, que correspondería al 7,62% del total de emisiones del país, aplicando una conversión de un Giga gramo a mil toneladas de equivalente de dióxido de carbono (Secretaría de Ambiente 2020).

1.3.3. Inventario nacional de GEI en Perú

Perú ha presentado tres comunicaciones nacionales y un reporte bianual de actualización correspondiente a los años 1994, 2000, 2005 y 2010 (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020). Estas comunicaciones presentan los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel de país clasificados en cinco grandes sectores: energía (que incluye transporte), procesos industriales, agricultura, desechos y uso de suelo, cambio de uso de

suelo y silvicultura (USCUSS). El punto focal ante la Convención Marco es el Ministerio del Ambiente.

En el caso peruano su Tercera Comunicación Nacional presenta el inventario de emisiones a 2012, que muestra un total de emisiones por 171.310 Gg de CO₂eq. De este total, se atribuye al sector energía un total de 44.638 Gg de CO₂eq. Al sector energía contribuye con 17.847 Gg de CO₂eq, el transporte, tanto terrestre como naviero y aéreo. Se puede concluir que a 2012, las emisiones de Ecuador eran cerca del 10% de las emisiones de Perú (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020).

Un siguiente inventario, levantado en 2016, presenta un total de emisiones por 205,294.17 GG de CO₂eq, siendo su principal origen el sector de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT), que es también el único sector donde ocurren remociones de GEI (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020).

Tabla 1.3. Evolución de los inventarios de emisiones de Perú por sectores (Gg CO₂eq)

Categorías	2000	2005	2010	2012	2014	2016
Energía	31 656.5	34 257.85	47 561.58	47 556.43	53 892.97	58 132.54
Procesos industriales y uso de productos	2 666.25	3 357.73	4 470.76	5 025.39	5 990.83	5 822.37
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra ASOUT	183 040.54	111 398.91	112 523.74	119 633.98	131 489.41	134 901.58
Desechos	5 050.52	5812.9	6 383.5	5 955.41	6 194.82	6 437.67
Total	222 413.81	154 827.39	170 939.58	178 171.21	197 568.03	205 294.16

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020).

Es una constante que la mayor cantidad de emisiones provengan del sector ASOUT, que mostró reducciones hasta 2012, que volvió a incrementar su aporte en emisiones. La meta no condicionada declarada por Perú ante el mecanismo de la CMNUCC es de alcanzar máximo

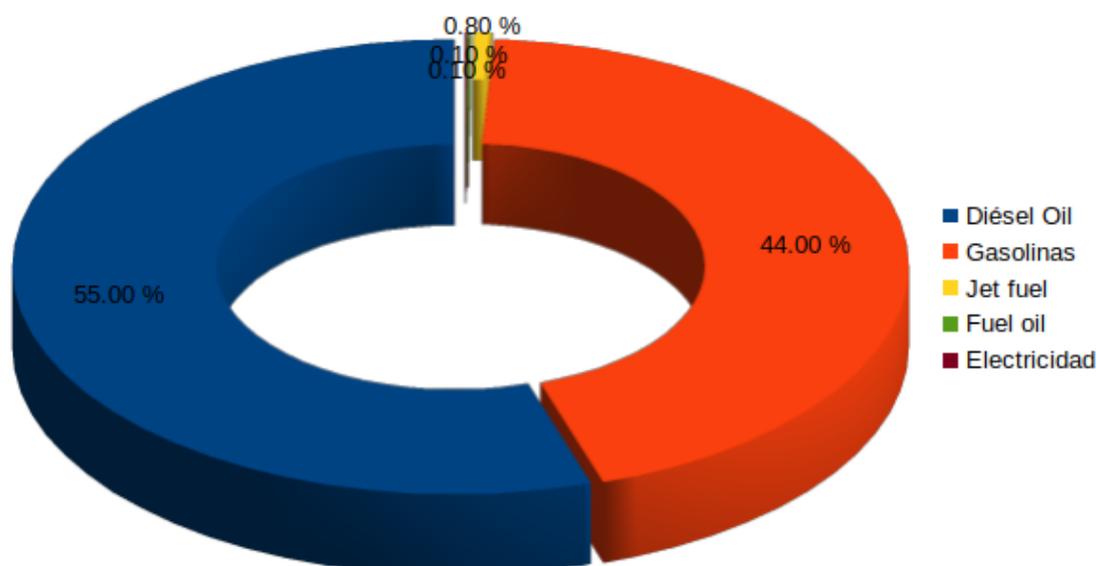
208.800 Gg de CO₂eq. En cambio, de recibir apoyo y cooperación internacional, podría limitar sus emisiones a máximo 179.000 Gg de CO₂eq (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020).

1.4. Balances energéticos a nivel nacional: Una revisión de los tres países

Otra fuente relevante de información es el Balance Energético Nacional que cada año emiten los ministerios del ramo en cada país, este presenta las fuentes y usos de energía en la economía de manera estandarizada. En el caso de Perú, en 2021 se publicó el balance de 2019 (Ministerio de Energía y Minas, 2020). A diferencia de los inventarios de emisiones, no existe un estándar internacional para la recopilación y presentación de balances energéticos, ni tampoco una norma internacional de presentación. En común, todos los países de la región forman parte de la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, que recopila los balances energéticos de la región.

En 2021, Ecuador publicó el Balance del año 2020, donde el sector transporte está individualizado como un sector en sí mismo, siendo responsable del 45,4% de la demanda nacional de energía: el mayor demandante de energía (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021). Prácticamente la totalidad de los 38 millones de barriles equivalentes de petróleo que demanda el sector transporte en Ecuador proviene de combustibles fósiles (ver gráfico 2).

Gráfico 1.2. Fuentes secundarias de energía del sector transporte en Ecuador, 2020



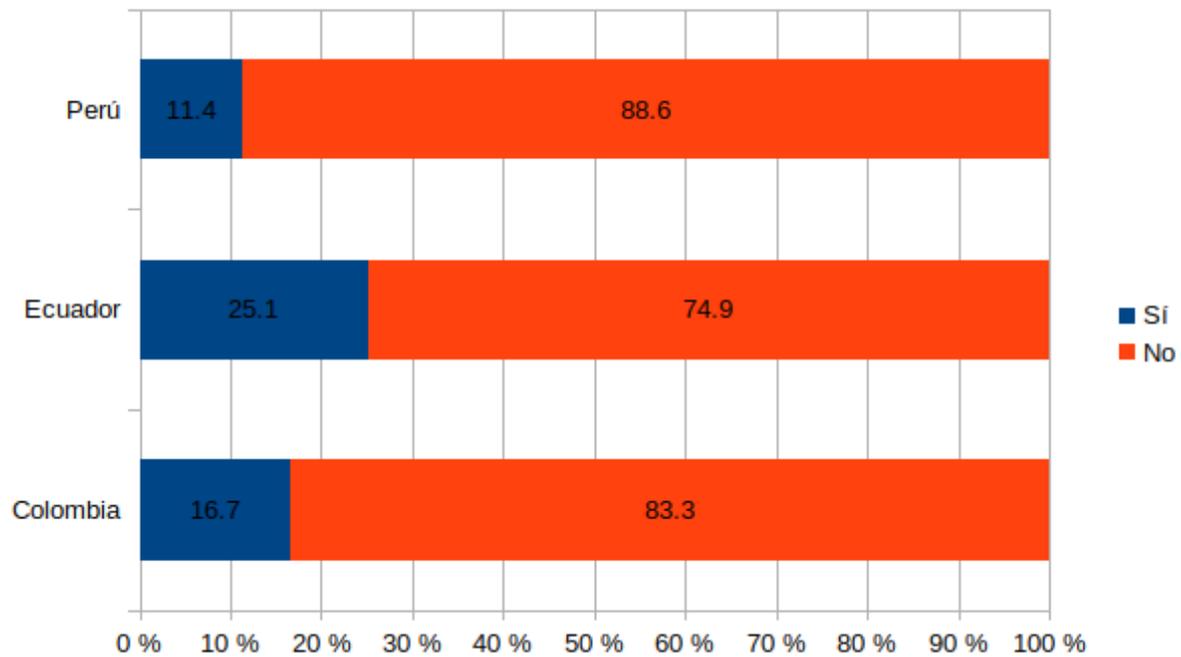
Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2021).

El Balance Energético Ecuatoriano identifica en el sector transporte tanto el aéreo y naviero como bajos demandantes de energía. Más bien, en el transporte terrestre, la mayor demanda proviene del transporte de carga pesada (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021). Considerando que Ecuador no tiene transporte ferroviario, permite intuir que una forma de abordar la emisión de GEI en el sector transporte podría ser desarrollar líneas férreas.

El transporte público urbano no está entre los principales consumidores de energía en el sector transporte. Pero su análisis es relevante porque puede ser, en términos de poder de mercado, un “producto sustituto” del transporte particular, que sí es más representativo en el nivel de consumo energético. Mientras los vehículos particulares (autos y SUV) requieren el 15,8% de la energía que demanda todo el sector transporte, los buses requieren 3,9% de esa energía (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021).

Este es un contraste notorio considerando que la mayoría de la población se transporta en buses. La investigación internacional Latinobarómetro muestra de manera consistente entre los tres países que la gran mayoría de hogares entrevistados no posee auto (Corporación Latinobarómetro 2021).

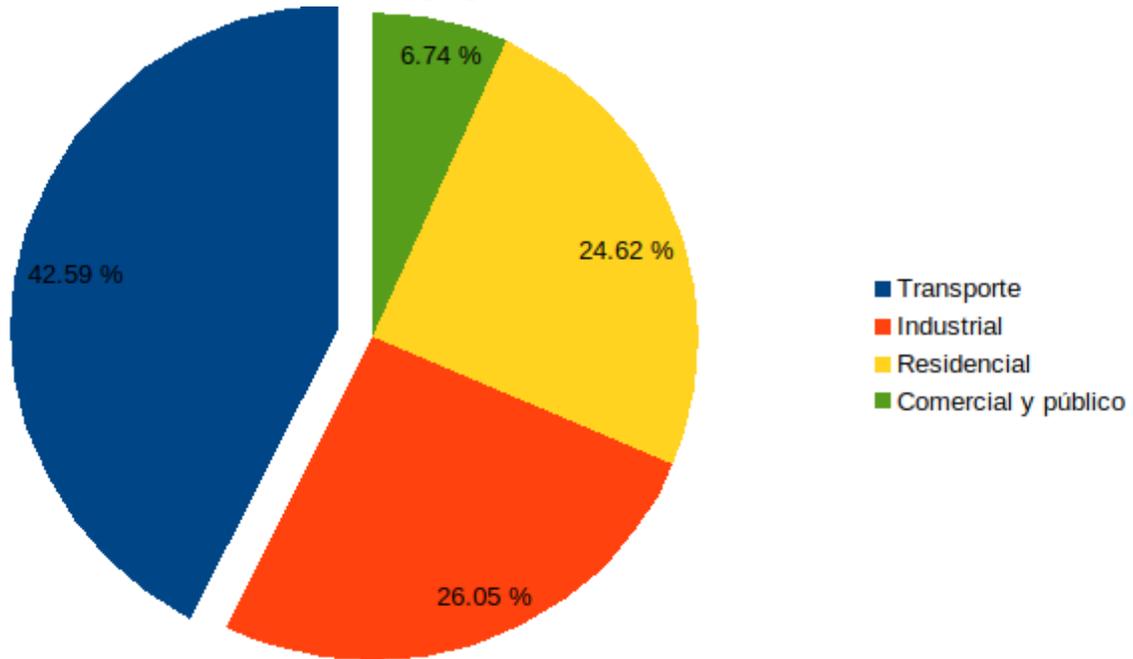
Gráfico 1.3. Encuesta Latinobarómetro. Pregunta: Bienes que posee, Auto



Fuente: Corporación Latinobarómetro (2021).

Por su parte, en 2020, el Balance energético colombiano presenta una oferta interna primaria de 1'865.924 TJ de energía, que representó un 8% menos que en el año 2019, seguramente debido al confinamiento ordenado por la pandemia de Covid-19. El sector transporte es el principal demandante de energía en Colombia, correspondiéndole 451.365 TJ, superando a los sectores industrial, comercial y residencial (Unidad de Planeación Minero Energética 2020). La estadística colombiana no clasifica las emisiones por tipo de transporte, ni por ciudades o áreas geográficas.

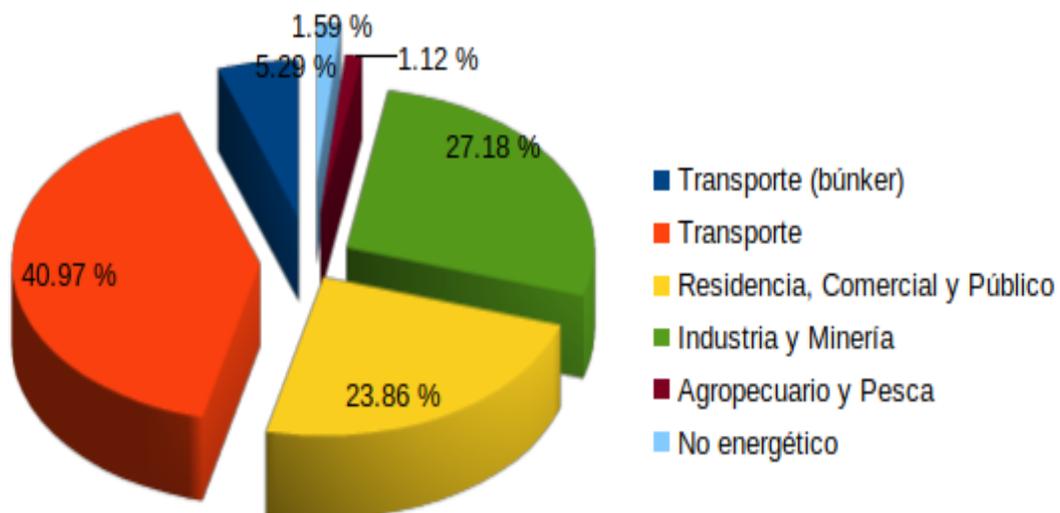
Gráfico 1.4. Consumo final de energía por sector en Colombia, 2020



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (2020).

De su lado, Perú ha publicado en 2020 su Balance energético correspondiente al año 2019. En ese año, se identificó una producción total de energía por 1 '114.349,3 TJ de energía, que sumado al balance comercial neto de importaciones, permite alcanzar una oferta neta de energía primaria de 1' 342.272.7 TJ. En 2019, el sector transporte peruano requirió 377.615,2 TJ de energía, lo que representa el 40,1% de la demanda de energía en esa economía (Ministerio de Energía y Minas 2019).

Gráfico 1.5. Consumo final de energía por sector en Perú, 2019



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020).

Hay diferencias importantes entre las emisiones de los tres países, principalmente debido a la diferencia de proporciones. Por un lado, Colombia tiene 51 millones de habitantes, una superficie de 1 '141.748 km² y su economía asciende a \$323.649,1 millones, medido por su producto interno bruto a 2019 (Comisión Intersectorial de Cambio Climático 2020). De su lado, Perú representa 31,1 millones de habitantes, en una superficie de 1 '285.215,6 km², para una economía de \$453.652 millones (Ministerio del Ambiente, 2016). El caso ecuatoriano es distinto, debido a que en una superficie menor al 20% de sus vecinos, 256.370 km², aloja a 17 '267.986 habitantes, que producen un PIB de \$113.097 millones (Ministerio del Ambiente, 2017).

También hay características comunes entre estos tres países, como por ejemplo que su economía depende de las exportaciones mineras e hidrocarburíferas. Los tres países son superavitarios en generación primaria de energía y los tres países tienen una amplia historia sobre la dicotomía entre centralismo y descentralización: las tres capitales son, por su dimensión, una parte importante, tanto de la economía como de las emisiones de cada país. Alrededor de este debate, se realiza una revisión sobre sus capitales y la emisión de GEI.

Capítulo 2. Inventarios de emisiones en tres ciudades andinas: Un estudio sobre las ciudades de Quito, Bogotá y Lima

Este capítulo busca responder de forma descriptiva a la pregunta de investigación planteada en esta tesina. Es por ello que muestra una revisión alrededor de los inventarios de emisiones de las tres ciudades propuestas para luego analizar los niveles de avance presentes en cada una. Finalmente, se plantean unas recomendaciones de política que aportan a esta medición como parte del compromiso de las ciudades y sus gobiernos.

2.1. Contexto de las ciudades andinas: Un recorrido por las emisiones GEI en Quito, Bogotá y Lima

Los tres países andinos analizados, Colombia, Ecuador y Perú, tienen una economía basada en la extracción y exportación de recursos no renovables. Los tres países son superavitarios en generación de energía, lo que les permite exportar el excedente. En 2020, Colombia tuvo una oferta primaria de energía de 1 '865.924 Tera julios (TJ) pero su economía requirió 1' 200.902 TJ; permitiendo un superávit de generación de energía, que se expresa en la exportación de petróleo (Comisión Intersectorial de Cambio Climático 2020). De su lado, en 2019, Perú produjo en total 1 '114.349,3 TJ de energía, y su sistema consumió 921.788,5 TJ; y las exportaciones son principalmente de gas natural (Ministerio de Energía y Minas 2020). Para 2020, Ecuador generó 203.551 kilo barriles equivalentes de petróleo, que se convierte a 1 '245.599,41 TJ; mientras consumió 484.615 TJ, y la diferencia corresponde a exportaciones petroleras (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables 2021).

En los tres países ha existido un marcado e histórico centralismo. En el caso de Colombia y Ecuador se escribieron nuevas constituciones en 1991 y 2008, respectivamente, en las que se establecieron como distritos a cada capital. En 2021, Pedro Castillo ganó la elección presidencial en Perú apelando al voto rural y ofreciendo un cambio constitucional. Como resultado acumulado, tras más de dos siglos como capitales nacionales, las tres ciudades son las más pobladas en sus respectivos países. Bogotá es hogar de 8,3 de los aproximadamente 50 millones de colombianos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2016). Quito concentra a 3 de los 17 millones de ecuatorianos y Lima tiene 8,8 millones de habitantes, de un total de 31 millones de peruanos (Ministerio del Ambiente 2016). De las tres capitales, solo Lima está a nivel del mar, lo que facilita la circulación de aire, pero también representa un riesgo de cara al incremento del nivel del mar.

Al ser parte de C40, las tres ciudades se han comprometido a reducir a la mitad sus emisiones para 2030, alcanzar el cero neto en 2050, presentarse a una evaluación preliminar en 2024, y compartir sus experiencias y planificaciones conforme las desarrollen.

2.2. Inventario de emisiones en Quito

En el caso concreto de Quito, en 2009 emitió su Estrategia frente al Cambio Climático, que es el primer caso ecuatoriano de planificación local desarrollada con enfoques de adaptación y mitigación al cambio climático. Desde 2003, su Corporación para la Calidad del Aire emite inventarios de emisiones atmosféricas (Ibarra et al. 2006). Los inventarios de emisiones se levantan para identificar los ámbitos en que debe concentrarse el esfuerzo de des carbonización. En un inventario de emisiones se encuentra la cantidad de contaminantes que se emiten, clasificados por su fuente de generación, en una ubicación y tiempo específicos.

La ciudad de Quito se ha involucrado con distintos aspectos de la cooperación internacional frente al cambio climático. Ha recibido financiamiento internacional para distintos proyectos de adaptación y mitigación, así como para investigación, incluyendo el levantamiento de sus inventarios de emisiones de huella de carbono. En 2020 actualizó su Plan de Acción ante el Cambio climático (Municipio Metropolitano de Quito 2020). En la base de datos de C40, se registra como más reciente inventario al de 2019, cuando Quito tuvo un total de emisiones de 5'170.579 tCO₂eq; de los cuales, 24,6% provinieron de fuentes fijas (1,27 millones de toneladas CO₂eq); mientras que 58,3% provinieron del transporte (3,02 millones tCO₂eq) y del sector residuos el restante 17% (879.770 toneladas tCO₂eq) (C40 2022). Es importante señalar que no se diferencia al transporte público del transporte privado.

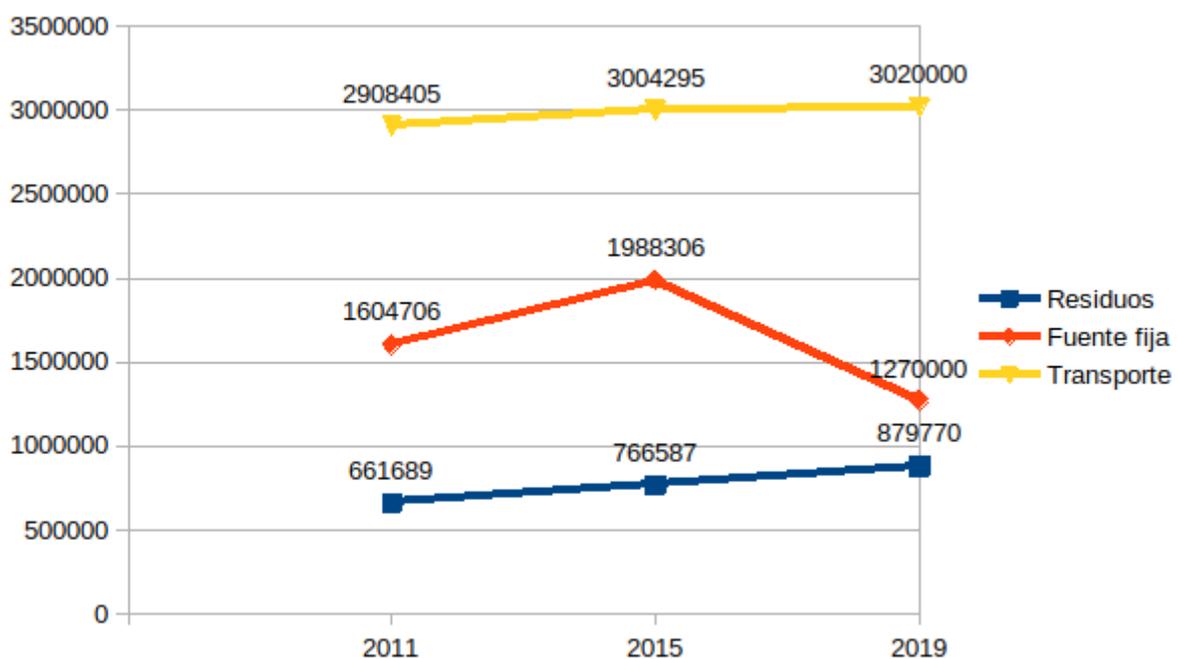
Otro inventario presenta resultados parecidos. Entre 2012 y 2014, el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) realizó junto con la consultora Servicios Ambientales SA un proyecto denominado Huellas de Ciudades, con el que se levantaron inventarios de emisiones de varias ciudades de la región, siguiendo la metodología del Protocolo GPC. En este proyecto, se calculó el inventario de emisiones de Quito para el año 2011 con 5'168.800 tCO₂eq; de los cuales se atribuía al sector transporte un total de 2'902.405 tCO₂eq; que representa el 56,15%

de las emisiones (Servicios Ambientales 2017 b). Este cálculo desagrega las fuentes fijas entre industrial y otros usos (residencial, comercial e institucional).

Aun cuando este inventario tampoco diferencia el transporte público del privado, sí existe una segmentación de las emisiones provenientes de gasolina y las que provienen del diésel, que permiten inferir una relación entre emisiones provenientes del transporte público y del privado.

La mayoría de las emisiones del sector transporte provienen de los vehículos a gasolina, que representan el 36,44% de las emisiones en la ciudad, con 1 '883.525 tCO₂eq. Le siguen las emisiones de fuente móvil que provienen de vehículos a diésel con el 19,7%, debido a que emiten 1 '018.409 tCO₂eq (Servicios Ambientales 2017 b). En este carburante encontramos tanto el transporte de pasajeros como el transporte de carga. El proyecto Huella de Carbono cita además el inventario que la Corporación para la Calidad del Aire realizó en 2011 para esta ciudad. Con este dato, es posible comparar interanualmente las emisiones en el siguiente gráfico.

Gráfico 2.1. Avance interanual de emisiones GEI por fuente en Quito



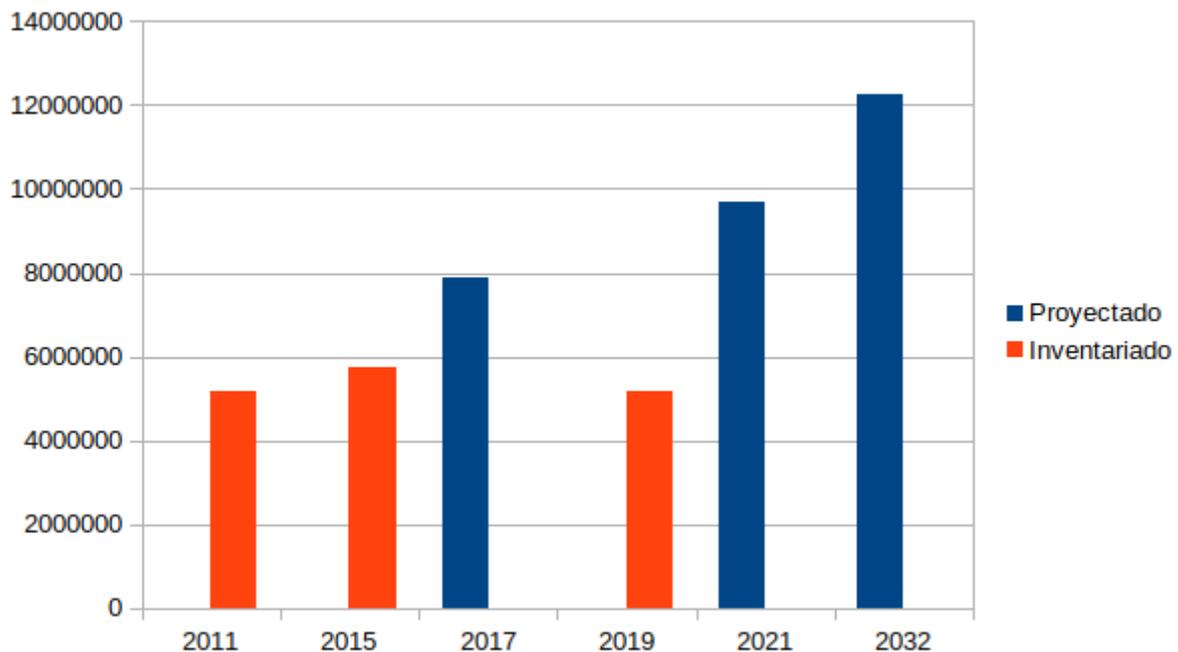
Fuente: Servicios Ambientales (2017), C40 (2022).

Al analizar interanualmente los inventarios de emisiones en un período de ocho años, se puede apreciar que mientras las emisiones por residuos tienen un crecimiento cercano a 15% entre cada lapso, las emisiones del sector transporte prácticamente se han estabilizado con un crecimiento mínimo de 3% entre 2011 y 2015, pero luego inferior a 1% entre 2015 a 2019. Finalmente, las emisiones de fuente fija muestran una fuerte reducción superior a 36% entre 2015 y 2019. Huella de Ciudades atribuye las variaciones entre 2011 y 2015 al crecimiento inercial de la población, el incremento de emisiones de fuentes fijas supera a los incrementos de fuentes móviles y de residuos, por lo que se debería estudiar otras posibles explicaciones (Servicios Ambientales 2017 b).

Mientras el trabajo de Huella de Ciudades permite analizar la variación de las emisiones en el tiempo, la herramienta digital de C40 permite visualizar tanto el inventario nominal de emisiones, como su correlación en función de la población y el avance en el tiempo. A nivel per cápita, Quito contabiliza sus emisiones en 1,9 tCO₂eq per cápita, proviniendo del transporte 1,1 tCO₂eq, según el inventario al año 2019 (C40 2022).

Ya se puede notar cambios en la trayectoria del crecimiento de emisiones de la ciudad, porque el inventario de emisiones de 2019 alcanzó una cifra de emisiones 34,4% menor a la que el proyecto Huella de Ciudades había proyectado, bajo un análisis *business as usual*, para el año 2017, que iba a alcanzar 7'890.401 tCO₂eq (Servicios Ambientales 2017 b).

Gráfico 2.2. Emisiones proyectadas BAU vs. Inventarios, Caso de Quito



Fuente: Inventarios: C40 (2022), Proyección: Servicios Ambientales (2017 b).

La reducción de emisiones es mayor en el sector de fuentes fijas, donde pocos proyectos municipales se han ejecutado. Esto conduce a pensar que los motivos pueden estar en políticas nacionales o en cambios individuales en la conducta de los habitantes.

El Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial correspondiente a 2015-2025 estableció un compromiso de reducción de emisiones del 5% de la huella de carbono, con respecto al crecimiento proyectado para 2019. Considerando el inventario del año 2019, se puede considerar cumplida esa meta del Plan anterior (Municipio Metropolitano de Quito 2021, a).

El 12 de septiembre de 2021 se aprobó un nuevo Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial para el período 2021-2033, el cual establece como uno de sus objetivos estratégicos el promover una gestión integral ambiental de residuos y de riesgos, responsable y sostenible. Esta planificación prevé treinta y seis metas para registrar el cumplimiento de este objetivo estratégico. En relación a emisiones de GEI, este plan establece como metas (Municipio Metropolitano de Quito 2021b):

- Reducir en 560.000 toneladas de CO₂ equivalente con relación al crecimiento proyectado al 2023.
- Desde el año 2020, 7% anual de reducción de la huella de carbono del DMQ, en relación al crecimiento proyectado.

Considerando que para 2021 se proyecta, bajo un entorno sin cambios (*“business as usual”*), una emisión proyectada de 9’680.503 tCO₂eq (Municipio Metropolitano de Quito 2020) la primera de las metas es en realidad conservadora, porque esperaría lograr un valor cercano a nueve millones de toneladas CO₂eq para 2023, que alejaría a la ciudad del compromiso adquirido con las ciudades socias de C40 de reducir a la mitad las emisiones para el año 2030.

En cambio, de llegarse a cumplir la meta de disminución de 7% anual en emisiones de carbono, entre 2021 y 2030, Quito alcanzaría a disminuir sus emisiones a la mitad para 2030, como establece el acuerdo de C40.

2.2.1. Composición energética del sector transporte en Quito

El informe de evaluación inicial del proyecto Metro de Quito (Informe 76857-EC) recuerda que: "En la década de 1990, Quito fue reconocido internacionalmente por la planificación del transporte urbano después de imitar la tecnología del Tránsito Rápido por Autobús (BRT, por sus siglas en inglés) de Curitiba y por continuar expandiendo la red." (BID 2013).

Pero las subsecuentes ampliaciones (Ecovía, Metrobús, Corredor Sur Occidental) volvieron a usar buses de diésel, al igual que la nueva flota destinada al corredor del trolebús. Por tal motivo, la matriz energética del transporte en Quito ha visto aumentar el combustible como fuente de energía.

La energía eléctrica destinada al transporte de pasajeros es mínima y no ha variado con los años. El Balance Energético asigna no más de 10 GWh al sector transporte, de manera consistente entre 2010 y 2017 (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021). Apenas incrementó tendencialmente en 2018 a 11 GHWh, lo que puede atribuirse a

que en 2020 el Municipio de Cuenca puso en operación su tranvía eléctrico. En Quito no se ha vuelto a electrificar el transporte público después de la primera experiencia del Trolebús. La transportación eléctrica tampoco ha logrado penetrar en el mercado privado, lo que hace pensar en la necesidad de políticas públicas de fomento.

En cuanto al transporte privado, la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador levanta anualmente un registro de vehículos eléctricos por segmento, donde se puede observar que la electricidad es una fuente marginal de energía para el transporte de los ecuatorianos.

Tabla 2.1. Venta de vehículos eléctricos por segmento (Unidades / % de participación)

Año	Automóvil	%	SUV	%	Camioneta	%	Bus	%	Van	%	Total
2017	96	78.0	20	14.3	7	0	0	0	0	0	123
2018	96	73.8	33	25.4	1	0	0	0	0	0	130
2019	59	57.3	24	23.3	0	0	20	19.4	0	0	103
2020	50	47.2	14	13.2	37	34.9	0	0	5	4.7	106

Fuente: AEADE (2021).

Los veinte buses del año 2019 corresponden a una flota adquirida por una compañía privada concesionaria de una frecuencia de transporte urbano, cuya tarifa fue incrementada para financiar esta inversión (Sustainable Bus 2019).

En 2018, se aprobó una Ley de Eficiencia Energética, que dispone que a partir de 2025, todo bus nuevo para transporte público deberá ser eléctrico. Esta obligación legal debiera estar acompañada de normativa más específica, capacidades para los gobiernos locales o incluso herramientas de financiamiento, pero el Reglamento de dicha ley fue apenas expedido en 2021, sin normativa más desarrollada.

En cuanto al sector energía, la generación de emisiones de gases de efecto invernadero por parte del sector energía ha venido disminuyendo de manera constante desde su pico, alcanzado en 2014, cuando fue responsable de 41.505 Kt de CO2 eq. El uso de energía renovable ha venido incrementando de un 10,05% en 2014 a un 19,83% en 2020 (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021).

Tabla 2.2. Consumo de electricidad por sector (GWh)

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Var. % 2020/19	Var. % anual promedio
Transporte (1)	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	-1.5	0.8
Industria (2)	6 631	7 181	7 993	8 031	8 419	8 580	8 919	9 469	9 998	10 390	10 143	-2.4	4.3
Residencial	5 114	5 351	5 629	5 881	6 364	6 928	7 105	7 298	7 400	7 656	8 063	5.3	4.7
Comercial, Serv. Pub. (3)	4 189	4 632	5 050	5 545	6 031	6 438	6 633	6 796	6 939	7 244	6 648	-8.2	4.7
Otros	347	458	473	623	579	594	372	399	559	545	553	7.4	4.8
Consumo energético	16 291	17 632	19 156	20 091	21 403	22 550	23 039	23 973	24 908	25 816	25 418	-1.5	4.5

Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2021).

Nota: (1) El consumo eléctrico del Trolebús, para el año 2012, fue obtenido de la Empresa Eléctrica Quito. (2) Para el consumo industrial, se incluye la energía generada no disponible para servicio público y la energía entregada a grandes consumidores. (3) El sector comercial, servicios y administración pública, comprende la demanda de alumbrado público, comercial y otros.

El Anuario Nacional de Estadísticas de Transporte del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos señala que en 2020 fueron matriculados 2 '361.175 vehículos a nivel nacional, de los cuales el 91,4% corresponde a vehículos particulares y el 7,2% corresponde a vehículos de transporte público (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos 2021). Esta fuente de información no clasifica vehículos por su tipo de energía. En cambio, el Anuario 2020 de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, contabiliza en 2019 una venta de 20 buses de transporte público, de un total de 103 vehículos comercializados. Para 2020, a nivel nacional se comercializaron 104 vehículos eléctricos, todos de uso particular (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador 2021).

2.2.2. Proyectos para atenuar emisiones del transporte en Quito

El Proyecto Huellas de Ciudades de la CAF analizó 35 proyectos de inversión para estimar la reducción de emisiones según cuando vayan a ser implementados (Servicios Ambientales 2017 b). Los quince proyectos del sector transporte impactarían más en la búsqueda de reducción de emisiones que los veinte proyectos de los demás sectores, combinados.

Tabla 2.3. Reducción estimada de emisiones en Quito, según proyectos en cada sector

Sector	Número de proyectos planificados	Reducción agregada de emisiones, calculada a 2021 (tCO ₂ eq)	%
Transporte	15	1'060.654	66.75
Residuos	3	368.942	23.22
Residencial y Comercial	12	28.159	1.77
Industrial	5	131.164	8.25
Total	35	1'588.919	100

Fuente: Servicios Ambientales (2017b).

De los 35 proyectos analizados por Huellas de Ciudades, muy pocos han logrado implementarse, de modo que el alcance de las intervenciones municipales ha sido menor al calculado.

Tabla 2.4. Proyectos en ejecución en Quito a 2021 y reducción de emisiones estimada

Sector	Proyecto en ejecución	Reducción agregada de emisiones, calculada a 2021 (tCO ₂ eq)	Reducción por sector (tCO ₂ eq)
Transporte	-	-	-
Residuos	Captura de metano El Inga	359.307	359.307
Residencial y Comercial	Terrazas verdes e incentivos a la construcción sustentable	167	2.560
	Reemplazo de refrigeradores eficientes	1.441	
	Reemplazo de luminarias eficientes en el Centro Histórico	952	
Industrial	Eficiencia energética en el sector industrial	3.857	3.857
Total			365.724

Fuente: Servicios Ambientales (2017b).

Esto significa que Quito ha logrado reducir solamente un volumen reducido de emisiones frente a la planificación de reducción esperada para 2021. Se necesitará acelerar la implementación en los siguientes años para ponerse al día, particularmente en el sector transporte, donde ningún proyecto está en producción todavía.

El proyecto Huellas de Ciudades analizó la capacidad de reducción de emisiones de los 35 proyectos que el Municipio ha previsto para reducir emisiones. Para el sector transporte se prevén 15 proyectos, que no están en ejecución todavía, pero que, de haberse ejecutado, hubieran restado más de un millón de toneladas de emisiones de GEI (Municipio Metropolitano de Quito, 2021 a). En el sector residuos, se planificaron tres proyectos, que reducirían en 368.942 tCO₂eq las emisiones de este sector a 2021. En el sector fuentes fijas (residencial y comercial), se planearon 12 proyectos, con una reducción estimada de 21.159 tCO₂eq a 2021. Cinco proyectos pueden lograr una reducción de emisiones que a 2021 se estima en 131.164 tCO₂eq en emisiones del sector industrial (Servicios Ambientales 2017 b).

La Organización Mundial de la Salud recomienda como límite máximo de emisiones de material particulado 2,5 en 10 ug/m³ (microgramos por metro cúbico) (Páez 2016). La

concentración de este material particulado se encuentra en 15 ug/m³ en Quito, debido, entre otros motivos, a la calidad de la gasolina y al hecho de que la combustión interna en los motores es más ineficiente por encontrarse a más de dos mil quinientos metros sobre el nivel del mar, donde hay menos oxígeno y menos presión de aire (Páez 2016). C40 estima que el 31% de las emisiones de este agente contaminante proviene de buses del transporte público (C40 2019). Se estima en 3 000 buses la flota de transporte público, que opera como negocios privados. En 2019, C40 presentó al Municipio de Quito un reporte de asistencia técnica, que señala que es posible electrificar la flota de buses, tanto municipales como privados, a razón de 60 buses por año hasta 2025, y 180 buses por año desde ese año hasta 2040. Este reporte calculó los beneficios en términos de salud, de calidad del aire y en el aspecto económico, pero no entra en detalles sobre la mecánica de implementación (C40 2019).

Tabla 2.5. Estimación de reducción de emisiones en proyectos del sector transporte en Quito

Proyecto	Estado a 2021	Emisiones no evitadas a 2021 (tCO ₂ eq)
Metro de Quito	Sin operador	128.350
Metrobús Q Fase II	Sin iniciar	155.000
Metrobús Q Fase III	Sin iniciar	155.000
Promoción del uso del transporte escolar e institucional	Sin iniciar	18.118
Movilidad peatonal	Sin iniciar	18.118
Movilidad en bicicleta	Sin iniciar	43.000
Bici Q	Sin iniciar	3.010
Racionalización uso auto particular	Sin iniciar	189.000
Uso de vehículos eléctricos e híbridos en transporte público	Sin iniciar	128.000
Centro de inspección vehicular	Suspendido	20.557
Cambio de matriz energética en el DMQ (fase I, gas natural)	Sin iniciar	32.571
Día del peatón	Sin iniciar	2.131
Programa de chatarreo	Sin iniciar	14.857
Uso de vehículos híbridos y eléctricos (privados)	Sin iniciar	43.048

Proyecto	Estado a 2021	Emisiones no evitadas a 2021 (tCO ₂ eq)
Metro de Quito	Sin operador	128.350
Metrobús Q Fase II	Sin iniciar	155.000
Metrobús Q Fase III	Sin iniciar	155.000
Promoción del uso del transporte escolar e institucional	Sin iniciar	18.118
Movilidad peatonal	Sin iniciar	18.118
Movilidad en bicicleta	Sin iniciar	43.000
Bici Q	Sin iniciar	3.010
Racionalización uso auto particular	Sin iniciar	189.000
Uso de vehículos eléctricos e híbridos en transporte público	Sin iniciar	128.000
Centro de inspección vehicular	Suspendido	20.557
Cambio de matriz energética en el DMQ (fase I, gas natural)	Sin iniciar	32.571
Día del peatón	Sin iniciar	2.131
Programa de chatarreo	Sin iniciar	14.857
Impuesto para la importación de vehículos antiguos	Sin iniciar	6.028
TOTAL		1'060.654
% de reducción frente a la Huella de Carbono del sector		16%

Fuente: Servicios Ambientales (2017 b).

Hay un amplio espacio para disminución de emisiones en el transporte en Quito. Sin embargo, el estado en que se encuentran exige mayores avances, a fin de poder mostrar algunos de estos proyectos ya en ejecución para la próxima revisión de 2024. Además, es indispensable desarrollar más proyectos, así como profundizar la investigación local, para encontrar más alternativas para disminuir las emisiones en esta ciudad.

2.3 Inventario de emisiones en Bogotá

Bogotá es una ciudad de 7 '834.167 habitantes, según la proyección poblacional del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas) de una superficie de 393 km² (Unidad de Planeación Minero Energético 2020). En 2006 Bogotá adhirió al compacto C40 y

actualmente su alcaldesa forma parte del comité directivo. Por la cantidad de procesos industriales y población, así como por su ubicación geográfica rodeada de montañas, Bogotá soporta una importante contaminación de su aire.

Desde 2008 levanta inventarios de sus emisiones con frecuencia bi-anual. En su primer inventario, Bogotá estimaba sus emisiones en 2.500 toneladas al año de material particulado. A las fuentes móviles (mayormente transporte), se le atribuye el 56% de las emisiones, mientras que a fuentes fijas (industria, residencia y comercio), le corresponde el 44% (Secretaría de Ambiente 2020).

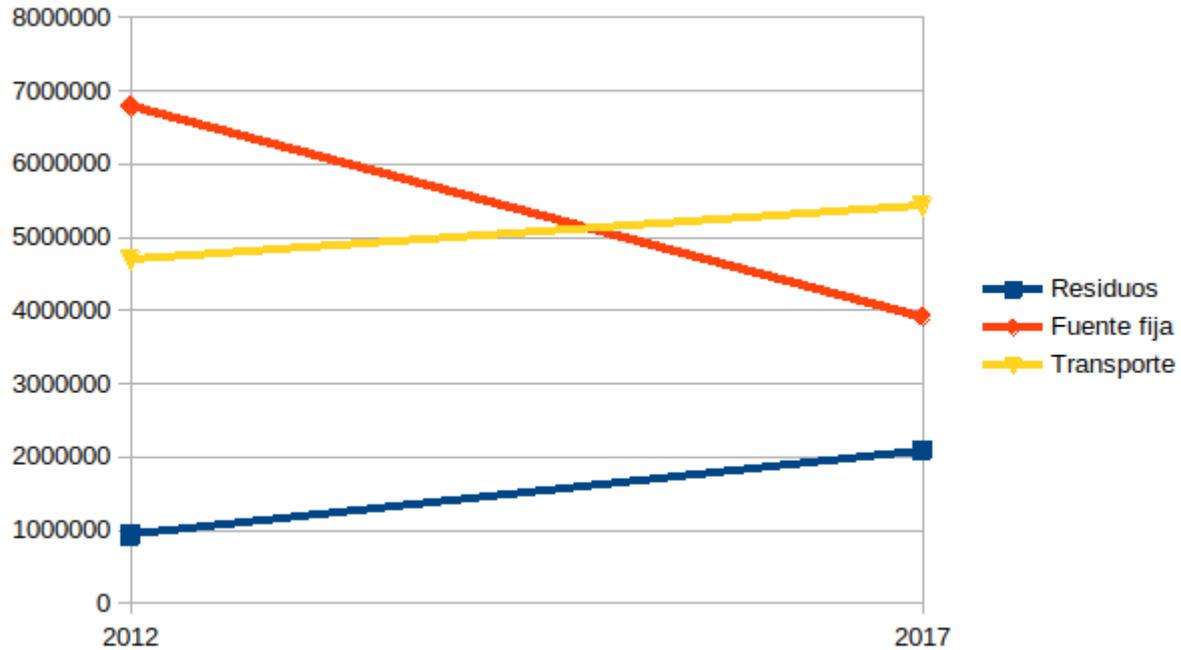
En 2011, aprobó un Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB) para el período 2011-2020. Durante este decenio, se logró no solo conservar el volumen de emisiones, sino incluso reducirlo a 2.300 toneladas al año de material particulado (Concejo de Bogotá 2020 b). Se trata de un resultado importante, considerando que, según estudios, el crecimiento tendencial iba a llevar a 2020 las emisiones a casi 4.500 toneladas al año (Secretaría de Ambiente 2020).

Otro avance ha sido la mayor institucionalización en el manejo de la información. En 2015, mediante Resolución 2410, se establece el Índice Bogotano de Calidad del Aire, IBOCA, que acopia información de 17 estaciones físicas y una móvil, para presentar la cantidad de emisiones en el aire de material particulado de volumen 10 y 2,5 (PM 10, PM 2,5), así como la cantidad de ozono (O₃) en determinada zona o en la totalidad de la ciudad (Concejo de Bogotá 2020 b). El índice IBOCA se inspira en el índice de calidad del aire de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, por sus siglas en inglés). En 2018, el índice IBOCA fue actualizado para conservar tres niveles de alertas: fase I, fase II y emergencia. También se implementaron varios mecanismos de control a vehículos o fuentes móviles de emisiones como son: el control en vía (mediante retenes de control ambiental), un programa de requerimientos ambientales a solicitud de la ciudadanía, una auditoría a los centros de diagnóstico automotriz y un programa de control a concesionarios (Concejo de Bogotá 2020 b).

Bogotá ha presentado dos inventarios de emisiones en la red C40 realizados para los años 2012 y 2017. Durante esos cinco años, Bogotá redujo en casi un millón de toneladas de CO₂

equivalente sus emisiones totales, debido a la reducción de emisiones desde fuentes fijas. En cambio, se incrementaron las emisiones de vehículos y del sector de residuos.

Gráfico 2.3. Avance interanual de emisiones GEI por fuente en Bogotá



Fuente: C40 (2022).

Mientras las emisiones de transporte y de residuos han incrementado, las emisiones de fuente fija redujeron entre 2012 y 2017, en casi la misma proporción en que redujeron las emisiones de fuente fija en Quito, entre 2015 y 2019. La información consolidada por C40 permite identificar la distribución de emisiones en función de la población. En el caso de Bogotá, las emisiones per cápita ascienden a 1,6 tCO₂eq por persona en la totalidad de sectores, de los cuales, 0,74 tCO₂eq provienen del sector transporte (C40 2022).

En términos agregados, el total de emisiones en 2012 se redujo de 12,41 millones de tCO₂eq a 11,42 millones para el año 2017, lo que representa una disminución del 8% en el transcurso de cinco años. Entonces la ciudad se encuentra en camino a la reducción de sus emisiones, pero debería acelerar la des carbonización de sus sectores para lograr la meta de llegar a la mitad de emisiones para el 2030, pues en los nueve años que nos separan del 2030, debería lograrse un promedio de 5% anual en reducción de emisiones. La trayectoria de las emisiones varía al analizar por fuente de emisiones. El sector residuos ve incrementar sus emisiones en 124,13%; mientras que el crecimiento del transporte fue casi estacionario (15,57%). La

reducción de emisiones a nivel agregado es consecuencia de la reducción de emisiones de fuentes fijas, fuente que experimentó una merma de 42,33% en sus emisiones (C40 2022).

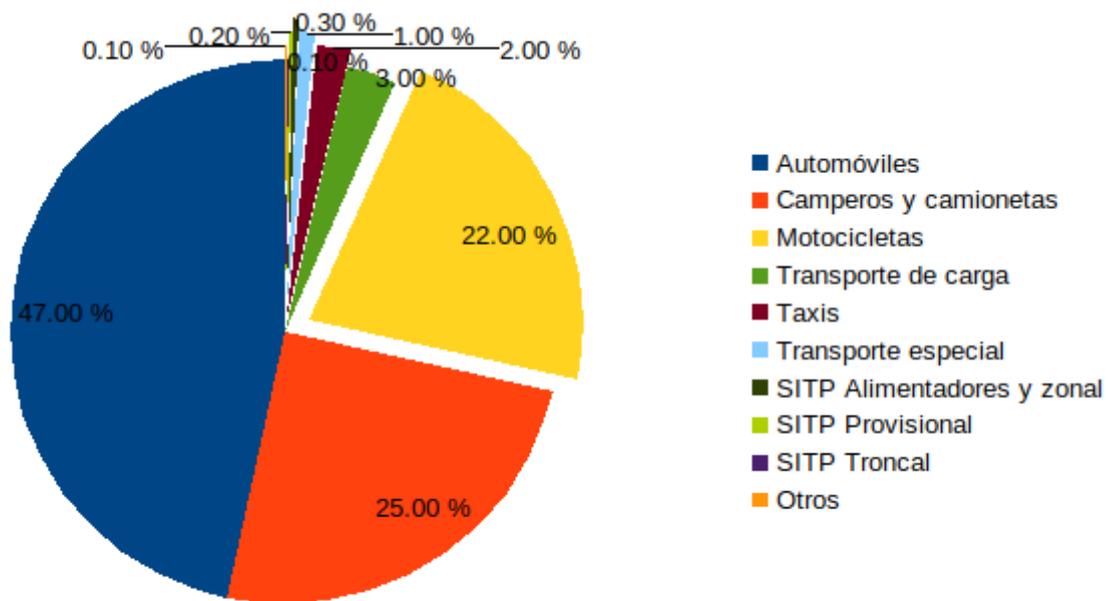
2.3.1. Composición energética del sector transporte en Bogotá

El más reciente inventario de emisiones del sector transporte en Bogotá se presentó en 2020, correspondiente a las emisiones del año 2018. En Bogotá, las emisiones de fuentes móviles (vehículos) en carretera, oscila entre 393.953 toneladas anuales de CO (bajo la metodología *bottom-up*) y hasta 595.441 toneladas anuales de CO, de acuerdo a la metodología *top-down* (Secretaría de Ambiente 2020). Otros gases de efecto invernadero como NO₂ y SO₂ también fueron medidos. Para este inventario no se ha realizado la conversión a toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq), por lo que no se ha incorporado al banco de información de C40.

El inventario de emisiones en Bogotá abarca como fuentes fijas a la industria, el comercio y la actividad residencial. Como fuentes naturales y forestales al manejo silvopastoril y a incendios forestales y como fuentes móviles, calcula tanto las emisiones en circulación (en carretera) como las emisiones fuera de carretera. Para calcular las emisiones de fuentes fijas industriales, se siguió únicamente un enfoque *bottom-up*, dado que la Secretaría de Ambiente tiene información sobre el tipo de industria y actividad económica, en sus registros administrativos (Secretaría de Ambiente 2020).

Se realizó un censo puerta a puerta para obtener el tiempo de uso y características de los motores o calderos que generan emisiones de fuente fija. Los sectores económicos que representan mayor aporte en el sector industrial son los de alimentos y bebidas, textil, el papel y cartón, la industria automotriz y el sector químico y farmacéutico. Un ejemplo de metodología *Top-down* es la forma de cálculo de las emisiones del sector transporte seguida en Bogotá. Para estimar un total de 2 '416.128 vehículos, el Municipio se basó en registros administrativos. El Registro Distrital Automovilístico tiene el total de vehículos matriculados en Bogotá, más los vehículos de otros departamentos y distritos, menos los autos que no circulan (por edad u otros motivos), permite con estimaciones concluir un total de autos en circulación, clasificados por tipo de uso y tamaño. Saber el tipo de vehículo sirve para establecer patrones de circulación y de consumo de combustibles. A nivel académico, ya se ha estudiado las emisiones que generan los vehículos según su tamaño y tipo de uso, lo que permite completar la estimación de emisiones con el enfoque *Top-down*.

Gráfico 2.4. Distribución de tipos de automotores en Bogotá, 2018



Fuente: Concejo de Bogotá (2020a).

Una consideración especial es que el sistema de transporte público ha cambiado a lo largo de estos años. Anteriormente el Transporte Público Colectivo trabajaba bajo una lógica de estricta competencia. En 2000 inició operaciones el sistema municipal Transmilenio, que con el tiempo se ha transformado en la parte central del Sistema Integrado de Transporte Público, que organizó las rutas de transporte público a partir de 2012 (Secretaría de Ambiente 2020).

Desde 1997, en Bogotá funciona la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. Con el tiempo, esta red incorporó un módulo de estimación de inventarios de emisiones, que permite realizar un inventario de emisiones de fuentes móviles (vehículos) con el enfoque *Bottom-up*. Comprendemos como transporte público tanto los componentes del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) como el transporte en taxis. Para fines comparativos, las otras categorías agregadas de transporte serán: vehículos particulares (que incluye a motocicletas, automóviles, camperos y camionetas), transporte de carga y otras formas de transporte, que incluye el transporte especial (Secretaría de Ambiente 2020).

Tabla 2.6. Distribución de emisiones por tipo de transporte en Bogotá al 2018 en porcentaje

Categoría agregadas	Material particulado PM 10	Material particulado PM 2.5	Óxidos de nitrógeno NOx	Monóxido de Carbono CO	Compuestos Orgánicos Volátiles VOC	Óxidos de Azufre SOx
Transporte público	12,73%	12,84%	30,22%	7,09%	11,66%	4,86%
Transporte particular	41,50%	40,98%	46,89%	81,44%	81,76%	88,13%
Carga	38,35%	38,71%	11,91%	8,47%	5,06%	5,08%
Varios	7,42%	7,47%	10,98%	2,99%	1,52%	1,92%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Secretaría de Ambiente (2020).

Bogotá suma 10 años de inventarios de emisiones desde el sector transporte. Esto permite identificar los cambios en el tiempo en materia de reducción (o no) de emisiones. El informe de 2020 repasa los inventarios correspondientes a 2008, 2012, 2014, 2016 y presenta los de 2018, para cuatro componentes (Secretaría de Ambiente 2020): Material particulado PM10, Óxidos de nitrógeno, Monóxido de carbono y Óxidos de azufre. La siguiente tabla agrega las emisiones de las cuatro categorías de transporte público arriba descritas: SITP (troncal, zonal y provisional o ex transporte colectivo) y taxis. De estas categorías, los taxis y el transporte ex colectivo (actual SITP provisional) son los mayores emisores en todas las categorías de emisiones analizadas. A partir del Decreto 595 de 2015, se adopta el sistema de alertas tempranas ambientales de Bogotá, como parte de un Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático, SDGR-CC.

Tabla 2.7. Evolución en el tiempo de las emisiones del transporte público en Bogotá

Emisión	2008	2012	2014	2016	2018	Observaciones
PM10	584	479	304	286	236	Desciende constantemente
NOx	25 456	24 479	37 176	36 563	25 398	Alcanzó su pico en 2014 y desde entonces reduce
CO	71 058	90 362	67 544	65 095	42 240	Su pico fue en 2012. Desde ese año funciona el SITP
SOx	2 157	2 075	2 157	2 210	91	Alcanzó su pico en 2016 y ha bajado notoriamente

Fuente: Secretaría de Ambiente (2020).

Las cuatro categorías de gases analizados en el tiempo muestran reducciones desde los valores mostrados en 2008. En el caso de los Óxidos de Nitrógeno (NOx), continuó creciendo hasta 2016, pero en 2018 volvió a niveles de 2008. Para el Monóxido de carbono (CO), podemos ver un descenso continuo desde 2014. Los Óxidos de Azufre estuvieron casi constantes hasta descender en 2018 de manera dramática. El Plan Aire 2030 atribuye ambas disminuciones significativas, principalmente al ascenso tecnológico, pues a partir de 2012 se introdujeron los vehículos de transporte público con estándar Euro V (Secretaría de Ambiente 2020).

Desde 2019, se introdujeron buses de categoría Euro VI, tanto de gas natural como eléctricos, y Euro V con DPF en diésel. Se introdujeron filtros de partículas en buses, mediante un programa piloto que, sin embargo, no fue escalado. De su lado, la petrolera Ecopetrol disminuyó progresivamente el azufre en el diésel, lo que mejoró la medición de óxidos de azufre (SOx). Por un lado, a partir de 2012, se viene configurando un Sistema Integrado de Transporte Público que organizó la oferta de transporte público en buses y disminuyó rutas repetidas en zonas sobre-servidas. Por otro lado el monóxido de carbono ha reducido debido a la obligatoriedad de incorporar catalizadores en los vehículos y la renovación inercial del parque automotor (Secretaría de Ambiente 2020).

2.3.2. Proyectos para atenuar emisiones del transporte en Bogotá

En 2020, el Concejo de Bogotá aprobó su Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para el período 2020-2024, que tiene cinco propósitos, siendo el propósito 2 “cambiar nuestros hábitos de vida para reverdecer a Bogotá y adaptarnos y mitigar la crisis climática”. A este propósito se enlaza el logro de reducir la contaminación ambiental atmosférica, visual y auditiva y el impacto en morbilidad y mortalidad por esos factores. Se fija como meta reducir en 10% la concentración promedio de material particulado PM 10 y PM 2,5 (Concejo de Bogotá 2020b).

Actualmente, la Municipalidad de Bogotá ejecuta su Plan Estratégico para la Gestión de la Calidad del Aire de Bogotá, denominado Plan Aire 2030 (Concejo de Bogotá 2020b), cuyas principales características son las siguientes:

1. Se propone 5 principios envolventes: calidad de la gobernanza, articulación con otros niveles territoriales, principio de salud pública, de cambio climático y de crecimiento verde y eficiencia energética. (Concejo de Bogotá 2020b,76-78).
2. El objetivo 2030 más relacionado con esta investigación es la meta de reducciones de 17% de material particulado PM 10 y del 22% en el material particulado PM 2,5. Para otros gases, plantea metas cuantitativas: a 2030 alcanzar una concentración máxima de 20 ug/m³ de dióxido de azufre (SO₂) y de 40 ug/m³ de dióxido de nitrógeno (NO₂). (Concejo de Bogotá 2020b, 78).
3. La reducción de emisiones se relaciona con los objetivos de salud pública como la reducción de diagnósticos de enfermedad isquémica del corazón, de accidentes cerebrovasculares en mayores de 25 años, de enfermedad pulmonar obstructiva crónica en mayores de 30 años y de infección respiratoria aguda en menores de 5 años. (Concejo de Bogotá 2020b, 79).

El Plan Aire 2030 consolida un total de 45 proyectos municipales que inciden en la calidad del aire, y los clasifica según el sector de intervención. Se consideran transversales a 24 proyectos de descontaminación; mientras son sectoriales los ocho proyectos enfocados a transporte, cinco del sector infraestructura, tres del sector industria, dos del sector comercial e institucional y tres enfocados al sector territorio (Concejo de Bogotá 2020b, 82-134).

Los proyectos sectoriales para transporte plantean ocho proyectos divididos en cinco líneas de trabajo, mientras que de los 21 proyectos transversales, se han identificado cinco como relacionados al sector transporte (Concejo de Bogotá 2020b, 83-92).

El Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas del Distrito Capital 2020-2024, que abarca los distintos sectores de intervención de la Municipalidad, establece como uno de sus logros el formular y ejecutar estrategias concertadas de adaptación y mitigación de la crisis climática teniendo como marco la justicia ambiental (Concejo de Bogotá 2020a). El Plan Aire 2030 constituye ese logro. La meta trazadora relacionada con esta intervención exige reducir en el 10% como promedio ponderado ciudad, la concentración de material particulado PM 10 y PM 2.5, mediante la implementación del Plan de Gestión Integral de Calidad de Aire. La evaluación y seguimiento del Plan de Desarrollo deberá reflejar el cumplimiento de esta meta (Concejo de Bogotá 2020b).

Tabla 2.8: Proyectos de Bogotá para reducción de emisiones en el sector transporte

Línea de acción	Proyecto	Período de implementación	Presupuesto estimado	Entidad responsable
Tecnologías cero y bajas emisiones	Seguimiento a la incorporación de las tecnologías de cero y bajas emisiones a la flota de vehículos	2021-2024	424,2 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
	Ascenso tecnológico para motocicletas	2021-2030	1.431,7 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
Nuevos medios y proyectos de transporte	Implementación de nuevos medios de transporte de pasajeros	2021-2030	379 millones de pesos	Secretaría de Movilidad
Movilidad activa	Nueva ciclo-infraestructura planteada con criterios ambientales	2021-2030	229,9 millones de pesos	Secretaría de Movilidad
Transporte de carga	Programa de modernización de vehículos de carga con peso bruto mayor a 2,5 toneladas	2021-2030	213,6 millones de pesos	Ministerio de Transporte/ S. Movilidad / S. Ambiente
	Estructuración del programa de reducción de emisiones de transporte urbano de carga y su implementación	2021-2022	208,3 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
Herramientas para una	Programa de conducción sostenible para Bogotá	2022-2024	72,4 millones de pesos	S. Movilidad / S. Ambiente

Línea de acción	Proyecto	Período de implementación	Presupuesto estimado	Entidad responsable
Tecnologías cero y bajas emisiones	Seguimiento a la incorporación de las tecnologías de cero y bajas emisiones a la flota de vehículos	2021-2024	424,2 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
	Ascenso tecnológico para motocicletas	2021-2030	1.431,7 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
Nuevos medios y proyectos de transporte	Implementación de nuevos medios de transporte de pasajeros	2021-2030	379 millones de pesos	Secretaría de Movilidad
Movilidad activa	Nueva ciclo-infraestructura planteada con criterios ambientales	2021-2030	229,9 millones de pesos	Secretaría de Movilidad
Transporte de carga	Programa de modernización de vehículos de carga con peso bruto mayor a 2,5 toneladas	2021-2030	213,6 millones de pesos	Ministerio de Transporte/ S. Movilidad / S. Ambiente
movilidad sostenible				
	Reestructuración del programa de autorregulación ambiental para fuentes móviles y su implementación	2021-2022	117,6 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
Fortalecimiento del control	Aumento de cobertura de control en vía a las fuentes móviles mediante la implementación de	2021-2030	12.255,8 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
	Etiquetado ambiental de vehículos en uso	2022-2030	10.489,7 millones de pesos	Ministerio del Ambiente / S. Ambiente
	Seguimiento a vehículos chimenea a través de una plataforma de reporte ciudadano	2021-2030	2.978 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
	Control ambiental vehicular con Patrulla caza infractores	2021-2030	7.264,5 millones de pesos	Secretaría de Ambiente
	Seguimiento y control ambiental a tecnologías vehiculares nuevas y en uso, bajo métodos de medición actualizados	2021-2030	No disponible	Secretaría de Movilidad

Fuente: Concejo de Bogotá 2020 (b).

El Plan Aire 2030 no ha sido incorporado en la base de conocimiento de C40, pero su existencia refleja el cumplimiento del primero de los compromisos de este compacto, el cual era tener hasta 2020 una planificación dirigida hacia reducir a la mitad las emisiones de la ciudad para el año 2030.

2.4. Inventario de emisiones en Lima

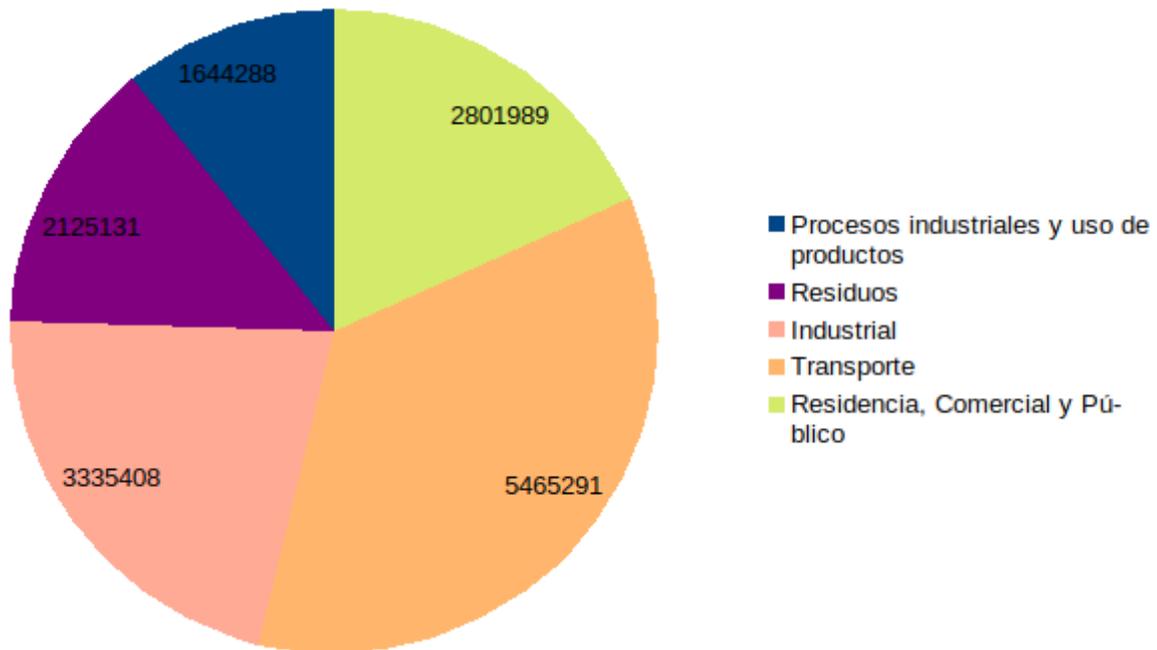
Lima se trata de la ciudad más poblada y con mayor desempeño en la economía peruana. De acuerdo al censo de 2007, Lima tenía 8 '481.815 habitantes, lo que significa el 31% de la población del Perú. La más reciente comunicación nacional peruana en relación a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático presenta datos de 2012, cuando el inventario de emisiones representó 171.310 Gg CO₂eq. Al sector energía se le atribuyen 44.638 Gg CO₂eq, que representa el 26% de las emisiones a escala nacional. En el inventario peruano, el sector de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura representó el mayor aportante al inventario de emisiones, representando más de la mitad (51%) de las emisiones (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020).

Al interior del sector energía, el transporte es responsable de 17.847 Gg CO₂eq a nivel nacional. De manera adicional, el inventario también incluye 3.360 Gg CO₂eq de emisiones fugitivas de combustible, pero este cálculo incluye fugas de consumo del sector industrial, por lo que no debería ser considerada en el cálculo del sector transporte de manera automática (Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático 2020).

El proyecto Huellas de Ciudades financiado por la CAF, presentó los cálculos para varias ciudades latinoamericanas siguiendo el Protocolo de Emisión de Gases a Escala Comunitaria (GPC) y la metodología MC3 (Método Compuesto de las Cuentas Contables). Para el caso de Lima, se calculó el inventario de emisiones para el año 2012, resultando en 15 '432.105 tCO₂eq. El sector que más contribuye a las emisiones en esta ciudad es el sector transporte con 35,55%, seguido a buena distancia del sector industrial, responsable del 21% de emisiones (Servicios Ambientales 2017a).

Es importante resaltar que, para mantener la consistencia en el análisis, cuando se compare los datos provenientes del inventario de Huellas de Ciudades con los provenientes de C40, es necesario agregar todos los sectores diferentes de Transporte y Residuos en un solo sector, correspondiente a Fuentes Fijas.

Gráfico 2.5: Distribución de fuentes de emisiones GEI de Lima para 2012



Fuente: Servicios Ambientales (2017a).

Se pueden considerar fuentes fijas de emisiones a los sectores: industrial, residencial, comercial y público y procesos industriales y uso de productos. Al sumar estas fuentes, se concluye que para el año 2012, las fuentes fijas emitieron 7'781.685 tCO₂eq en Lima, lo que representa el 50,62% de todas las emisiones en esa ciudad (Servicios Ambientales 2017a).

El proyecto Huella de Ciudades calculó que para 2025, si Lima no realiza ningún cambio, alcanzaría 25 '203.915 tCO₂eq en emisiones de gases de efecto invernadero. Esto equivaldría a un incremento en más de dos tercios (66%) de las emisiones desde 2012. De su lado, la base de conocimiento de C40 ha validado los inventarios presentados por la Municipalidad de Lima para los años 2012 y 2015 bajo el Protocolo Global de Emisiones a escala comunitaria, GPC. Los valores de 2012 no son exactamente iguales a los recogidos en el proyecto Huella de Ciudades, pero en ningún caso la diferencia supera el 2% entre cada fuente de emisiones. A nivel per cápita, Lima registra 1,78 t CO₂eq por persona (Servicios Ambientales 2017a).

Al comparar en la herramienta de C40 los inventarios de 2012 y 2015, ambos estandarizados bajo GPC, se puede ver que las emisiones en Lima se incrementaron en cerca del 20%, lo que equivale a un 6,6% anual. El sector residuos muestra el mayor incremento porcentual.

Tabla 2.9. Inventarios de emisiones en Lima por sectores bajo GPC

Sector	2012	2015	Incremento (%)
Residuos	2'440.000	3'090.000	26,6%
Transporte	5'370.000	6'360.000	18,4%
Fuentes fijas	5'360.000	6'340.000	18,2%
Total	13'170.000	15'790.000	19,8%

Fuente: C40 (2022).

En todo caso, para reducir su huella ambiental, la Municipalidad de Lima ha iniciado la formulación de su Plan Local de Cambio Climático 2021-2030 (Municipalidad de Lima 2022). Tener un plan específico es la primera de las obligaciones acordadas por las ciudades de C40, sin embargo este Plan aún no ha sido aprobado. En todo caso, la formulación del Plan plantea tres escenarios de reducción de emisiones, con tres horizontes de tiempo: 2020, 2040 y 2050. En ninguno de los escenarios se prevé alcanzar el cero neto en emisiones a 2050, que sería el compromiso principal de C40.

Tabla 2.10. Reducción de emisiones de GEI por escenario y por año

Escenario	%	2020	%	2040	%	2050
Acciones existentes y planificadas	25,4%	7'218.910	30,3%	11'893.353	41,5%	22'604.307
Acciones ambiciosas	30,1%	8'506.084	49,7%	19'317.405	66,7%	35'981.536
Escenario extendido	30,1%	8'506.084	58,8%	22'875.575	81,4%	43'976.362

Fuente: Municipalidad de Lima (2021a).

En materia de mitigación este Plan se proyecta a reducir en un 30% las emisiones de GEI en Lima, frente al escenario tendencial. Para alcanzar ese objetivo, plantea intervenciones en movilidad sostenible (políticas de transporte público), modernización de gestión de residuos

(servicios públicos) y ciudad ecoeficiente (permisos de construcción y de uso de suelo). Hay asimismo objetivos generales de adaptación y de gobernanza con sus respectivos objetivos específicos (Municipalidad de Lima 2021 a).

El Plan Local de Cambio Climático debe ser aprobado en ordenanza tras un proceso participativo de elaboración. (Municipalidad de Lima 2021a) Hasta el 20 de enero de 2022, cuando se suscribió el Acuerdo del Concejo 06-2022 que renueva la cooperación de Lima con C40, no se había aprobado el mencionado Plan (Municipalidad de Lima 2022).

2.4.1. Composición energética del sector transporte en Lima

El transporte público en Lima se fundamenta en buses de combustión, en redes administradas privadamente. A 2012, se calculaba en 5 '528.462 tCO₂eq la cantidad de emisiones de todo el sector transporte en Lima de acuerdo al inventario del proyecto Huellas de Ciudades (Servicios Ambientales 2017a).

En 2014, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) realizó una estimación con el modelo *Long Range Energy Alternatives Planning System* (LEAP), de las emisiones provenientes del transporte en Lima, usando como año de estudio a 2003. Ese año se levantaron dos estudios de emisiones vehiculares por parte de la Municipalidad de Lima. Se analizaron siete contaminantes: Dióxido de carbono (CO₂), Óxido nitroso (N₂O), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de sulfuro (SO₂), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Material particulado (PM₁₀) y Compuestos orgánicos volátiles (VOC). Sin embargo, no se realizó una conversión a toneladas de CO₂ equivalente. Con base en la información obtenida de los inventarios de emisiones de 1994 y 2000; el estudio incluye una estimación de emisiones de fuente transporte en la provincia de Lima Metropolitana hasta 2030 (Dawidowski et al 2014).

Tabla 2.11. Inventario de emisiones del fuentes móviles en Lima para el año 2003 (toneladas/año)

Combustible	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Óxido nitroso (N ₂ O)	Monóxido de Carbono (CO)	Dióxido de sulfuro (SO ₂)	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Material particulado (PM10)	Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	Potencial de calentamiento global
Gas natural vehicular	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diésel	2 340 859.0	36.3	28 512.6	3 671.8	39 896.8	4 660.0	9 012.3	2 359 284.3
Gasolina	2 222 506.0	66.3	246 114.7	1 456.0	17 060.3	263.2	53 442.6	2 287 632.4
Gas licuado de petróleo	209 464.4	0.0	1 543.0	0.0	404.4	0.0	681.1	210 198.6
Total	4 772 829.0	102.6	276 170.0	5 147.8	57 361.5	4 923.2	63 136.0	4 857 115.0

Fuente: Dawidowski et al 2014

Por el tipo de combustible se puede estimar una distribución de las emisiones entre el transporte público y privado. El 48,5% de potencial de calentamiento global (es decir, equivalentes de toneladas de CO₂), proviene de vehículos a diésel (Dawidowski et al 2014).

En 2017, el Centro Mario Molina presentó al Ministerio del Ambiente del Perú un inventario de emisiones del transporte público en las dos provincias que conforman Lima Metropolitana: Provincia de Lima y Provincia de Callao. Sin embargo, por falta de suficiente información, se obtuvo solamente el inventario de emisiones de Lima. La metodología seguida fue el procesamiento informático a través del software Airviro desarrollado por el Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) y Apetum (Centro Mario Molina 2017).

Con base en los registros administrativos de las autoridades de tránsito de las dos provincias (Lima y Callao), se identificó el tipo de vehículo que circula, las rutas con sus distancias para estimar la frecuencia de cada ruta. En función de las características de la flota (como año de fabricación, estándar ambiental que cumple y tipo de combustible), se pudo levantar un inventario al año 2017, así como estimar dos escenarios a 2025: *business as usual*, es decir, con la tecnología y combustibles actuales; y un escenario *soot free*, o con mejores tecnologías: estándar ambiental Euro VI o combustible gas natural.

De acuerdo con registros administrativos, el 2017, el 84% del transporte público en Lima-Callao se mueve con diésel, mientras 15% consume gas natural y 1% otro tipo de combustibles; mientras que 36% de la flota no cumple ni ningún nivel de la norma Euro. En el escenario *soot free*, se prevé actualizar el 51% de la flota a Euro IV o superior; así como incrementar la cobertura del gas natural hasta 39%. Ambos indicadores no son muy diferentes del escenario *business as usual*, donde el 37% de la flota cumpliría Euro IV y 32% del combustible usado sea gas natural (Centro Mario Molina 2017).

Tabla 2.12. Inventario de emisiones del transporte público de Lima (toneladas/año)

Material	Año	2017 Escenario base	2025 <i>Business as usual</i>	2025 <i>Soot free</i>
MP		377	114	90
NOx		8 523	6 540	5 476
BC		275	80	68

Fuente: Centro Mario Molina (2017).

Es importante advertir que esta investigación no profundiza en explicar la metodología en que se fundamenta el algoritmo del software utilizado. Tampoco precisa el tipo de material identificado o el motivo para no incluir otros materiales. En cualquier caso, es otro insumo de información más actualizado frente al inventario de 2003.

2.4.2. Proyectos para atenuar emisiones del transporte en Lima

Si no se introducen cambios en los modos de transportación, en los comportamientos y en las políticas públicas, Lima va camino desde 15'790.000 tCO₂eq, según un inventario de 2015, hasta nada menos que 25'203.915 tCO₂eq en el año 2025 (Municipalidad de Lima 2021a). Para evitarlo, se plantean varios proyectos en distintas áreas, los cuales fueron analizados por el proyecto Huellas de Ciudades en 2017.

Tabla 2.13. Reducción estimada de emisiones en Lima por cada sector

Sector	Número de proyectos planificados	Reducción agregada de emisiones, calculada a 2021 (tCO₂eq)	%
Transporte	12	1 746 455	53.99
Residuos	5	1 224 343	37.85
Residencial, Comercial y Público	11	26 247	0.81
Industrial	5	237 520	7.34
Total	33	3 234 565	100

Fuente: Servicios Ambientales (2017a).

Más de la mitad de la reducción de emisiones provendrá de proyectos del sector transporte, y dentro de ellos, el que más aporta a evitar emisiones serán las tres líneas del metro. El

proyecto Huellas de Ciudades analizó la capacidad de reducción de emisiones de los 33 proyectos que el Municipio ha previsto para reducir emisiones. Para el sector transporte se prevén 15 proyectos, que no están en ejecución todavía, pero que, de haberse ejecutado, hubieran restado más de un millón de toneladas de emisiones de GEI (Servicios Ambientales 2017a).

Actualmente, un tercio de las emisiones de GEI en Lima provienen del sector transporte, con 6'288.029 tCO₂eq, pero considerando el crecimiento del parque automotor, se espera que para 2025, este sector llegue a representar hasta el 40% de las emisiones de la ciudad. La ciudad ha previsto 33 proyectos que podrían reducir las emisiones del sector transporte en un 18% hasta 2025, según la información levantada por el proyecto Huellas de Ciudades. De este total, 12 son proyectos de transporte, sector que puede ver reducida sus emisiones en hasta 22%. Esto induce a pensar que la mayor reducción de emisiones puede surgir de este sector. (Servicios Ambientales 2017a).

Tabla 2.14. Reducción estimada de emisiones según proyectos del sector transporte en Lima (t CO₂ eq)

Proyecto	2017	2021	2025
Gestión del tráfico	24 844	29 701	35 688
Sistema de corredores complementarios para el transporte público	397 501	490 108	588 847
Programa Chatarreo para la renovación del parque automotor	124 023	124 023	124 023
Cursos de manejo eficiente obligatorios en transportistas públicos	1 972	5 044	8 728
Ciclovías	16 151	36 001	65 301
Movilidad peatonal	4 225	12 753	22 261
Centro de inspección vehicular	37 058	60 279	98 531
Líneas 1, 2 y 3 del metro de Lima	409 516	737 128	819 031
Renovación de flota de transporte público en alianza con el sector privado	33 419	86 891	113 626
Uso de vehículos eléctricos e híbridos en transporte privado	13 024	53 910	127 628
Conversión de vehículos a gas natural	58 687	106 317	153 946

Normativa con sanciones para la importación de vehículos usados	1 326	4 297	9 256
Total	1'121 746	1'746 455	2'166 867
% de reducción frente a la HC del sector	16.3%	21%	22%

Fuente: Servicios Ambientales (2017a).

La primera línea del Metro se inauguró en julio de 2011, con una ampliación en 2014. Por tanto, el impacto de la Línea 1 en la reducción de emisiones del sector transporte ya se encuentra registrado en los inventarios de 2012 en adelante. La segunda línea está en construcción y se prevé que termine su construcción en 2024 (Municipalidad de Lima 2021Bb). Si se cumple este cronograma, se alcanzará a mostrar una reducción importante de emisiones en la próxima revisión de C40. Los demás proyectos no registran avances significativos ni presupuesto, de acuerdo a la rendición de cuentas de la Municipalidad de Lima para el 2020 (Municipalidad de Lima 2021b). De todos modos, será necesario identificar otros espacios para disminuir emisiones, para poder alcanzar el compromiso de reducción de emisiones conforme los compromisos de las ciudades que integran el grupo C40.

Capítulo 3. Un análisis de los estudios de caso: Cumplimiento de compromisos para reducir las emisiones de GEI

Esta investigación ha consolidado la información sobre inventarios de emisiones y sobre proyectos de reducción de emisiones en tres capitales andinas, para poder comparar, por un lado, el volumen de emisiones en cada ciudad de esta muestra y, por otro lado, identificar el grado de avance de estas ciudades en relación a reducción de emisiones. Los fenómenos meteorológicos se observan en largos períodos de tiempo, por eso es útil tener información sobre aspectos como emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de varios períodos.

3.1. Sobre los inventarios de emisiones de GEI levantados en Quito, Bogotá y Lima

En ese sentido, es adecuado que Bogotá y Quito hayan iniciado el levantamiento de información desde 2003 y 2006, respectivamente. En el caso de Lima, el primer inventario se levantó por parte de académicos del *International Sustainable System Research Center*, de California, en 2004 (Centro Mario Molina 2017). Posteriores inventarios han sido levantados por organismos del gobierno central y posteriormente reportados por cada Municipalidad al banco de información de C40. En el caso de Quito, existen inventarios disponibles de los años: 2011, 2015 y 2019, cubriendo un lapso de diez años, tiempo en el que las emisiones han pasado de 5'174.800 a 5'169.770 tCO₂eq (Municipio Metropolitano de Quito 2021a). Es decir, una reducción de 0,1%, que no es significativa.

Bogotá muestra en cambio una notoria reducción de emisiones, entre sus inventarios de 2012 y de 2017, cercano a un millón de toneladas de CO₂eq, lo que representa una reducción del 7,92%. Esta reducción es aún más apreciable si se compara que entre ambos inventarios hay apenas cinco años, a diferencia de los diez años de diferencia entre los inventarios de Quito. En cambio Lima vio aumentadas sus emisiones entre 2012 y 2015, en casi un 20%, lo que significa un poco menos de 7% cada año durante ese quinquenio. En síntesis, mientras el inventario de Quito permaneció casi estático, las emisiones en Bogotá se han reducido apreciablemente, mientras que las emisiones en Lima han aumentado.

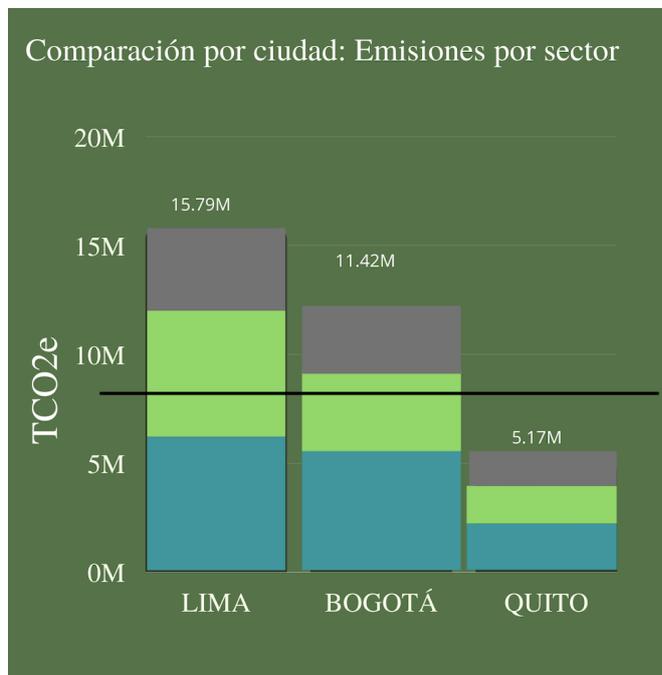
Tabla 3.1. Inventarios de emisiones bajo GPC de tres capitales andinas

Sector	Quito (2019)	Bogotá (2017)	Lima (2015)
Residuos	879 770	2 090 000	3 090 000
Transporte	1 270 000	3 910 000	6 360 000
Fuentes fijas	3 020 000	5 420 000	6 340 000
Total	5 169 770	1 420 000	15 790 000

Fuente: C40 (2022).

El visualizador de la herramienta digital de C40 nos permite apreciar la diferencia en volumen de emisiones de las tres ciudades:

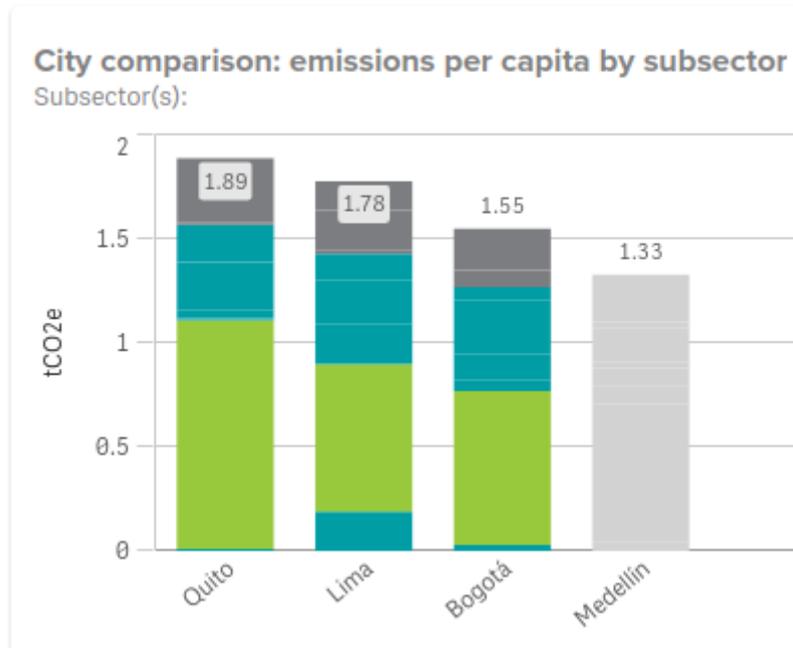
Gráfico 3.1. Comparación de tres capitales andinas en emisiones clasificadas por sector



Fuente: C40 2022.

Sin embargo, el ranking de honor se invierte cuando comparamos las emisiones de las tres capitales andinas en función de emisiones a nivel per cápita. Si bien Quito tiene menos emisiones, es porque su población es mucho menor a la de sus pares de Colombia y Perú. A nivel per cápita, en Quito se registran emisiones por 1,9 toneladas de CO₂eq por persona.

Gráfico 3.2. Comparación de emisiones per cápita entre tres capitales andinas



Fuente: C40 2022.

Al observar la composición de las emisiones per cápita, podemos estimar que los habitantes de Quito tienen un fuerte componente de emisiones proveniente del transporte. Nuevamente citamos el reporte de asistencia técnica de C40 que explica a la orografía de la ciudad (muchas colinas y pendientes) y a la baja presión atmosférica (que perjudica la eficiencia de la combustión interna en motores), para ilustrar algunas causas del mayor consumo de combustibles en Quito. Otra diferencia importante, es que tanto Lima como Bogotá tienen parte de su flota con gas natural, que es menos contaminante. Quito no usa ese combustible.

Las tres ciudades han abordado la cuestión del control de emisiones atmosféricas con un enfoque de problema de salud pública. Han recibido recursos y conocimiento de la cooperación internacional y han registrado determinados avances en proyectos de inversión de gran presupuesto para reducir emisiones. El proyecto estrella de Lima es la Línea 1 de su Metro, mientras Bogotá muestra la reorganización de su transporte público en un sistema.

3.2. Sobre el cumplimiento de los compromisos de C40

El primero de los compromisos de las ciudades que integran C40 es la presentación de un plan de acción ante el cambio climático. En el caso de Bogotá, existe el Plan Aire 2030 y el Plan de Desarrollo 2020-2024, que contienen tanto proyectos como metas de reducción de emisiones (Concejo de Bogotá, 2020 a y b), pero no aparecen en la base de conocimiento de

C40. Probablemente esto se deba a falta de difusión suficiente. De su lado, Lima ha publicado en dicha base de conocimiento el documento que describe el Proceso de Formulación del Plan de Acción Climática, que aún no ha sido aprobado por el Concejo Municipal (Municipalidad de Lima 2021 a). En el caso de Quito, el Plan de Acción Climática se encuentra debidamente aprobado (Municipio Metropolitano de Quito 2020) y ha sido remitido a la base de conocimiento de C40. Es una ventaja la unificación de metodologías bajo el Protocolo de Emisiones de Escala comunitaria. Inventarios con otras metodologías o, peor aún, con programas informáticos sin información, no pueden servir para análisis comparativo con inventarios de otras ciudades.

Además de la existencia de planificación local, cabe preguntarse si lo planificado efectivamente está alineado con los compromisos de reducción de emisiones de C40. Quito tiene en su planificación dos metas relacionadas con emisiones de GEI. Por un lado, plantea una reducción de apenas 10% de su inventario de emisiones en 2015, para el año 2023 (Municipio Metropolitano de Quito 2021 b). Pero por otro lado, también ha señalado como meta una reducción del 7% anual en la huella de carbono. La primera meta no permitiría alcanzar el hito mundial de reducir a la mitad las emisiones para 2030; pero el segundo indicador de impacto sí podría lograr la meta planteada por C40.

De su lado, el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para el período 2020-2024 de Bogotá, se ha propuesto para 2030 una meta de reducciones de 17% de material particulado PM 10 y del 22% en el material particulado PM 2,5. Para otros gases, plantea metas cuantitativas: a 2030 alcanzar una concentración máxima de 20 ug/m³ de dióxido de azufre (SO₂) y de 40 ug/m³ de dióxido de nitrógeno (NO₂) (Concejo de Bogotá 2020 a). Por tanto, se requerirá una conversión, bajo criterios técnicos, a fin de identificar si estos objetivos están en línea con lograr los compromisos ante sus ciudades pares de C40.

La cuestión es más compleja con Lima, que no tiene aún aprobado su Plan de Acción ante el cambio climático (Municipalidad de Lima 2021 a). Su Programa de Gobierno Regional no contiene metas relacionadas con reducción de emisiones (Municipalidad de Lima 2021 b). El objetivo estratégico del Plan de Acción 2020-2030 propuesto es Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la provincia de Lima en 30% respecto al escenario tendencial. Aunque es optimista en su contexto, este objetivo no es compatible con el propósito de C40 de reducir a la mitad las emisiones para 2030.

3.3. Análisis sobre ejecución de los proyectos

El Plan Aire 2030 de Bogotá contempla 21 proyectos de descontaminación transversales y también 21 proyectos sectoriales para: transporte, infraestructura, industrial, comercial y territorio, de los cuales 19 se relacionan con la reducción de emisiones en el transporte (Concejo de Bogotá 2020b). La integración del Sistema de Transporte Público es el principal proyecto alcanzado, lo que ha permitido evitar un mayor incremento de emisiones del sector transporte.

El portafolio de proyectos de Quito es ambicioso: su expectativa de reducción de emisiones representa el 30,73% del inventario de emisiones al 2015 (Servicios Ambientales 2017 b). Sin embargo, solo uno de estos quince proyectos está en desarrollo, que se trata del Metro de Quito, que prevé reducir emisiones por 128.500 toneladas de CO₂eq. Esta reducción de emisiones representaría 4,5% de las emisiones del sector transporte en esa ciudad; es decir, 2,5% del total de emisiones (Servicios Ambientales 2017b).

En Lima, el proyecto Huellas de Ciudades enumera doce proyectos de inversión con potencial de reducción de emisiones de GEI en el sector transporte. De implementarse, se estima que reducirían el 21% de sus emisiones para 2021 (Servicios Ambientales 2017 a). La Línea 1 del Metro se encuentra ya en operación, siendo el principal proyecto completado (Municipalidad de Lima 2021b).

Si se cumplen las expectativas, en 2024 se encontrarán en funcionamiento la primera línea del Metro de Quito y la Línea 2 del Metro de Lima. Ambos proyectos pueden reducir las emisiones en ambas capitales, si se integran a las frecuencias de transporte público, para reducir el transporte privado. De otro lado, las medidas de uso de suelo aplicadas a raíz de la pandemia por Covid-19, como la implementación del teletrabajo y las ciclovías en vías de amplia circulación pueden ayudar a modificar los hábitos de conducta a nivel colectivo, a tal nivel que se pueda cumplir las metas de reducción de emisiones de cada ciudad.

Es difícil saber cómo les irá a Bogotá, Quito y Lima en la revisión de 2024 que realizará C40. Probablemente sea difícil que las tres ciudades logren reducir a la mitad sus emisiones para 2030, considerando que sus planes no están alineados a esa visión, pero principalmente debido a que sus proyectos no registran avances significativos. Sería necesario un cambio de prioridad para que autoridades y ciudadanía concentren sus esfuerzos en reducir las emisiones o evitar consumos o desplazamientos no indispensables.

3.4. Recomendaciones de política pública

Esta investigación deja algunas recomendaciones para tomadores de decisión de cualquier país. Al observar tres realidades descritas en este estudio de casos podemos ejemplificar casuística que puede ser común en otras localidades. Bajo el mismo espíritu de cooperación entre pares, se puede compartir las siguientes recomendaciones:

1. Estudiar y plantear soluciones ante eventos globales como el efecto invernadero requiere esfuerzos, ánimos e iniciativas de distintos sectores. Es necesario involucrar no solo a autoridades sino también a la academia, a la sociedad civil y a las autoridades de otros niveles de gobierno.
2. Es recomendable que tanto los inventarios como los objetivos sean levantados y expresados con un protocolo o metodología de uso común en el concierto internacional.
3. Realizar un inventario de emisiones con software que no describa la lógica de su operación, no permite una eficiente transferencia de conocimiento.
4. Las distintas autoridades municipales deben aprovechar la red de C40 para aprender de casos anteriores o para plantear propuestas de cooperación.
5. Un inventario de emisiones de GEI realizado en computadora sin una comprensión del modelo que informa el algoritmo de su funcionamiento no puede ser comparado con inventarios realizados con metodologías más difundidas en el ecosistema.
6. Es notorio que los portafolios de proyectos son previos a Covid-19 y el encierro que trajo. Esto porque los proyectos no abordan iniciativas como tele trabajo, gobierno digital o identidad electrónica (desde la firma electrónica hasta el metaverso).
7. Sólo Medellín se ha adherido a C40 sin ser capital. Otras ciudades de los tres países deberían incorporarse también a esa iniciativa, para poder cooperar y recibir ayuda.
8. Contrario a lo que muchos piensan, reducir las emisiones de GEI en ciudades, a la mitad en 2030 y a neto cero en 2050, no es imposible. Es necesario involucrar a más actores para incidir en políticas públicas e intervenciones públicas y sociales para lograrlo.

Conclusiones

Esta tesina realiza un análisis descriptivo alrededor de las mediciones de GEI en Quito, Bogotá y Lima. Si bien se fundamenta en información secundaria, los datos recabados para el desarrollo de la investigación permiten evidenciar tanto los compromisos como los avances de estas ciudades. Aunque su alcance es limitado dadas las condiciones propias de la investigación, se buscó definir elementos que resultan claves para los tomadores de decisión.

En este sentido, el sector transporte ha incrementado sus emisiones en las tres ciudades. En Bogotá se implementó el Sistema Integrado de Transporte Público (Concejo de Bogotá 2020 a) y en Lima se amplió en 2014 la Línea 1 del Metro, que opera desde 2011 (Municipalidad de Lima 2021 b). En Quito se anuncia la operación del Metro antes de que finalice 2022. Para lograr esta respuesta hemos analizado los bancos de proyectos que aparecen en la planificación oficial de cada una de las tres capitales andinas, comparando su potencial de ahorro de emisiones con su nivel de avance.

A fin de estimar si la reducción de emisiones prevista con los proyectos que se han ejecutado, es representativa frente al total de emisiones, hemos pasado revista a todas las fuentes de inventarios de emisiones de estas tres ciudades. Esta investigación permitió conocer que existen varias metodologías de cálculo de emisiones a escala comunitaria. Por lo tanto, los inventarios deben analizarse con mucho cuidado para utilizar las conversiones adecuadas.

Las tres ciudades analizadas tienen inventarios de emisiones, que es el primer requisito para adherirse a C40. Dos de estas tres ciudades han cumplido con el compromiso de tener, para 2020, un plan de acción ante el cambio climático. En enero de 2022, la Municipalidad de Lima autorizó suscribir la cooperación necesaria con C40 para completar la elaboración de su plan de acción (Municipalidad de Lima 2022).

Las tres ciudades tienen proyectos destinados a reducir emisiones. Sin embargo, la falta de avance en su ejecución permite intuir posibles embudos: ¿Hace falta financiamiento? ¿Existen capacidades en la autoridad municipal para lograr estos proyectos? ¿Falta consenso social? ¿Hay problemas a nivel de gerenciamiento? Probablemente cada proyecto tiene su particularidad, pero debería tratar de encontrar un patrón común entre proyectos pendientes, para intentar resolver la causa.

De las tres ciudades, solamente Quito ha accedido al mecanismo *C40 Cities Finance Facility*, para poner a análisis dos proyectos de carbono cero que se implantarán en la ciudad en los próximos años (C40 2020):

1. Electrificación del corredor BRT Ecovía, incluyendo la instalación de estaciones estratégicas de carga y adquisición de 120 e-buses.
2. Extensión de 10.3 km del Corredor Central Trolebús.

La principal recomendación busca animar a Lima y Bogotá a plantear sus proyectos al mecanismo de facilidad para financiamiento de C40, a fin de obtener análisis profesionales.

En las tres ciudades, las emisiones de fuentes fijas son el principal sector que emite emisiones; casi empatada con el sector transporte en el caso de Lima. De su lado, los proyectos de reducción de emisiones se han concentrado más en los sectores de transporte y residuos. Esto invita a pensar si puede haber más esfuerzo de reducción de emisiones provenientes de fuentes fijas. Esta investigación busca ser útil al presentar el estado actual de cumplimiento real de compromisos internacionales. El tener una distancia con las autoridades permite realizar un análisis más imparcial. Por otro lado, los estudios que realiza la propia autoridad tienen como ventaja un acceso a más información.

Otro resultado importante de esta investigación es la cantidad de recursos que tanto las organizaciones del concierto internacional como las entidades académicas del mundo y aún las financistas, ponen a disposición de las autoridades locales, para buscar la mejor incidencia ante el cambio climático. Es necesario que tanto autoridades como funcionarios accedan e investiguen, para que las decisiones que sean tomadas con base en evidencia, sigan el método científico y estén sujetas a planificación y rendición de cuentas.

Otro aspecto a destacar es la necesidad de fomentar el trabajo interdisciplinario, porque los reportes y la información sobre los aspectos aquí investigados exigen varias ópticas de análisis, para que se forme adecuadamente el criterio de las instituciones y autoridades.

Lista de abreviaturas

AFOLU	Agricultura, forestal y otros usos de suelo
ASIF	Activity, Mode share, Intensity, Fuel
BAU	Business as usual
C40	Cities for Climate Leadership Group
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CH ₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
EPA	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HFC	Hidrofluorocarbonos
IBOCA	Índice Bogotano de Calidad del Aire
INDC	Contribuciones Nacionales Determinadas
IPCC	Panel Intergubernamental de Científicos sobre el Cambio Climático
LEAP	Long Range Energy Alternatives Planning System
MC3	Método Compuesto de las Cuentas Contables
N ₂ O	Óxido nitroso
NF ₅	Trifluoruro de Nitrógeno
NO _x	Óxidos de nitrógeno

OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PDDAB	Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá
PFC	Perfluorocarbonos
PGC	Protocolo Global de Emisiones de GEI para escala de comunidad
PM 10	Material particulado de tamaño 10
PM 2,5	Material particulado de tamaño 2,5
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
SITP	Sistema Integrado de Transporte Público
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute
SO ₂	Dióxido de sulfuro
tCO ₂ eq	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
TJ	TeraJulios
USCUSS	Cambio de uso de suelo y silvicultura
VOC	Compuestos orgánicos volátiles

Lista de referencias

- Anglés Hernández, Marisol. 2002. “Hacia la consolidación del Protocolo de Kioto y el control de los gases de efecto invernadero”. Anuario Mexicano de Derecho Internacional. Vol. II. p. 231-245.
- Aranzadi, Claudio. 2015. “UE 2030: Objetivo Clima y Energía.” Política Exterior 29, no. 163, p. 46–53. <http://www.jstor.org/stable/43595451>.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. 2021. Anuario 2020.
- Barbero, José; Rodríguez, Rodrigo. 2012. Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. Revista de Transporte y Territorio. no. 6, p. 8-26. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- BID. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. 2013. “Documento de evaluación Proyecto Primera Línea del Metro de Quito”. Washington DC: BID.
- C40. 2019. Benefits of Urban Climate Action. C40 Cities Technical Assistance Report: Quito. C40 Cities Finance Facility. 2020. “Informe final sobre financiamiento para dos proyectos de carbono cero en la ciudad de Quito”.
- C40. 2021. Annual report 2020.
- C40. 2022. Greenhouse gas emissions interactive dashboard. <https://www.c40knowledgehub.org/s/article/C40-cities-greenhouse-gas-emissions-interactive-dashboard>
- Castillo, Lineida. 13 de enero de 2017. Tres taxis eléctricos ya circulan en Loja. En: Diario El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/taxiselectricos-circulan-loja-transporte.html>.
- CEPAL. Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe. 2016. Vulnerabilidad y adaptación de las ciudades de América Latina al cambio climático. Estudios del cambio climático en América Latina. Santiago: CEPAL.
- Chauvin, Juan Pablo. 2007. Conflicto y Gobierno local: el caso del transporte urbano en Quito. Quito: Abya-Yala, Flacso.
- CMNUCC. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 1992. Río de Janeiro. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-convention/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático. 2020. Actualización de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional del Perú. Lima: CANCC.

- Comisión intersectorial de cambio climático. 2020. Actualización de la Contribución Determinada Nacional de Colombia. Bogotá: CICC.
- CONAIE. Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador. 15 de noviembre de 2021. Temas y propuestas de la CONAIE al Gobierno Nacional. <https://conaie.org/2021/11/15/temas-y-propuestas-de-la-conaie-al-gobierno-nacional/>
- Concejo de Bogotá. 2020. (a) Acuerdo 761. Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas del Distrito Capital 2020-2024. Bogotá.
- Concejo de Bogotá. 2020. (b) Plan estratégico para la gestión Integral de la calidad del aire de Bogotá 2030, Plan Aire 2030. Bogotá.
- Dalkmann, Holger. 2007. Evaluación ambiental estratégica ¿Un prometedor instrumento para el desarrollo urbano sustentable en China? Wokingham: Transporte Research Laboratory.
- Dawidowski, Laura, Sánchez-Ccoyollo, Odón, Alarcón, Nadietska. 2014. Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana. Informe final. Lima: SENAMHI/SAEMC.
- Espinosa Mantilla, Karla Gabriela. 2018. Inventario de emisiones atmosféricas producidas por incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito a Septiembre de 2015. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Fernández-Cuesta, Nemesio. 2016. “Descarbonización: El Vector de La Política Energética.” *Política Exterior* 30, no. 169. pp: 26–32. <http://www.jstor.org/stable/26450680>.
- Grisby, Erin, Broome, Shannon S., Ellis, Clare, Brown Samuel L., Knauss Charles H. 2021. “The results of COP26”. *National Law Review*. Vol. XI. Num. 333. <https://www.natlawreview.com/article/results-cop26>.
- Guayanlema, Verónica. 2012. “Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Transporte al 2012”. Tesis de maestría. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar - Sede Ecuador.
- Hernández Siampieri, Roberto. 2000. “Metodología de la investigación”. México: McGraw-Hill.
- Ibarra, Bladimir, Parra, René, Valencia, Víctor, Páez, Carlos. 2006. Inventario de emisiones atmosféricas de Quito año 2003 y su distribución espacial y temporal. Quito: Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá: IHMEA.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2021. Anuario Nacional de Estadísticas de Tránsito 2020. Quito: INEC.
- IPCC. Panel Intergubernamental de Científicos sobre Cambio Climático. 2022. Metodologías de reportes de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html>.
- Ministerio de Energía y Minas. 2020. Balance Nacional de Energía 2019. Lima: MEM.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. 2021. “Balance energético 2020”. Quito: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- Ministerio del Ambiente. 2016. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. 2017. “Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático”. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Municipalidad de Lima. 2021 (a). Plan Local de Cambio Climático de la Provincia de Lima, 2021-2030. Proceso de formulación. Lima: Municipio de Lima.
- Municipalidad de Lima. 2021 (b). Rendición de cuentas período 2020.
- Municipalidad de Lima. 2022. Acuerdo del Concejo 06-2022.
- Municipio de Cuenca. 2 de enero de 2020. Tranvía de Cuenca inicia pre-operación. <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/tranv%C3%ADa-de-cuenca-inicia-su-pre-operaci%C3%B3n>.
- Municipio de Loja. 23 de abril de 2017. Loja pionera en el servicio de taxi eléctrico. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2017-04/loja-pionera-en-el-servicio-de-taxi-electrico>.
- Municipio Metropolitano de Quito. 2020. “Plan de Acción de Cambio Climático Quito 2020”. Quito: Municipio Metropolitano de Quito.
- Municipio Metropolitano de Quito. 2021 (a). “Evaluación del Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015 – 2025”. Quito: Municipio Metropolitano de Quito.
- Municipio Metropolitano de Quito. 2021 (b). “Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial: 2021-2033”. Quito: Municipio Metropolitano de Quito.
- Organización de las Naciones Unidas. 2022. Global Support Programme. <https://www.un-gsp.org/region/peru>.
- Organización Internacional de Normalización. 2018. ISO 14064-1. Gases de Efecto Invernadero. Parte 1: Especificación con orientación a nivel de las organizaciones,

para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.

- Páez Molina, Carlos Alberto. 2016. Diseño de un esquema piloto para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte público de pasajeros en Ecuador. Tesis (Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental). Quito: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Posso, Alex. 2020. “Emisión de gases de efecto invernadero en las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito”. Tesis de maestría. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar - Sede Ecuador.
- Reinoso, Soraya. 2010. Validación del inventario de emisiones de CO mediante modelación inversa en la ciudad de Quito-Ecuador. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rodríguez, Daniel. Vergel, Erik. 2013. Desarrollo urbano orientado a los sistemas de transporte público masivo tipo BRT en Quito y Bogotá. Washington: Instituto Lincoln.
- Secretaría de Ambiente. 2020. Inventario de Emisiones de Bogotá. Contaminantes Atmosféricos. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- Seawright, Jason, Gerring, John. 2008. “Case selection techniques in case study research: A menu of qualitative and quantitative options”. *Political Research Quarterly*. 61:294. <http://prq.sagepub.com/content/61/2/294>.
- Servicios Ambientales SA. 2017 a. Serie Huella de Ciudades 4 Ciudad de Lima. Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Servicios Ambientales SA. 2017 b. Serie Huella de Ciudades 5 Ciudad de Quito. Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Sotelo, José. Sotelo, María. Telón, Alfredo. 2011. “Las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte por carretera”. *Investigaciones Geográficas* (Esp), núm. 54. pp. 133-169. Alicante: Universidad de Alicante.
- Sustainable Bus. 15 de marzo de 2019. Ecuador follows Chile, 20 BYD electric buses delivered. <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/ecuador-20-byd-electric-buses-delivered-follows-chile/>
- Unidad de Planeación Minero Energética. 2015. Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050.
- Unidad de Planeación Minero Energética. 2020. Balance Energético Colombiano. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECO.aspx>. Bogotá.

United Nations Human Settlements Programme. 2011. Cities and Climate Change: Global report on human settlements 2011. London: UN Habitat.

Vega, Dayana, Ocaña, Lorena, Parra, René. 2015. “Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012”. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/270/271>

Wintergreen, Jay y Delaney, Tod. 2013. ISO 14064, International Standard for GHG Emissions Inventories and Verification. Boonton: First Environment.