

Impacto de las características de los hogares urbanos en las emisiones de gases de efecto invernadero en Ibagué, Colombia

Impact of characteristics of the urban homes on greenhouse gas emissions in Ibagué, Colombia

Erika Sierra-Ramírez¹

Hernán Jair Andrade-Castañeda²

Milena Andrea Segura-Madrigal³

Recibido: enero 27 de 2022

Aceptado: junio 09 de 2022

Resumen

Se examinó el impacto de algunas características sociodemográficas y socioeconómicas de los hogares urbanos de la ciudad de Ibagué, Colombia, en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero - GEI, provenientes del consumo de energía eléctrica y uso de combustibles fósiles para transporte y preparación de alimentos. Se aplicó una encuesta semiestructurada a 1816 hogares de los 170.170 existentes. Las emisiones de GEI en los hogares de Ibagué están relacionadas de forma significativa con el estrato socioeconómico, tamaño del hogar y composición del hogar ($p < 0,01$). Las emisiones por hogar del estrato socioeconómico 2 son las más bajas, sin embargo, en el año 2018 esos hogares aportaron el 41% de las emisiones. Las ciudades requieren de estrategias de mitigación basadas en el comportamiento y en soluciones basadas en la naturaleza para reducir las emisiones de CO₂, provenientes del consumo de energía eléctrica y uso de combustibles fósiles.

Palabras clave: ciudades, emisiones, estrategias de mitigación, sector residencial.

Abstract

The impact of some sociodemographic and socioeconomic characteristics of urban households in the city of Ibagué on greenhouse gas (GHG) emissions from electricity consumption and use of fossil fuels for transportation and food preparation was examined. A semi-structured survey was conducted in 1,816 households in the city of 170,170. GHG emissions in households in Ibagué are significantly related to socioeconomic status, household size, and household composition ($p < 0.01$). The emissions per household in socioeconomic stratum 2 are the lowest, however for the year 2018 they contributed 41% of the emissions. Cities require behavior-based mitigation strategies and nature-based solutions to reduce CO₂ emissions from electricity consumption and the use of fossil fuels.

Keywords: cities, emissions, mitigation strategies, residential sector.

1 Bióloga, Magíster en Gestión Ambiental y Evaluación del Impacto Ambiental, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. E-mail: esierrar@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4449-2401>

2 Ingeniero Agrónomo, Doctor en Agroforestería, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. E-mail: hjandrade@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3398-294X>

3 Ingeniera Forestal, Magíster en Socioeconomía Ambiental, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. E-mail: masegura@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-1224>

1. Introducción

Los hogares son responsables de aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las emisiones directas de estos gases provienen del uso de la energía para el transporte, la cocción de alimentos y la vivienda; en cambio, las emisiones indirectas surgen durante la fabricación de equipos (Druckman & Jackson, 2016). Si se quiere avanzar hacia un futuro con bajas emisiones de carbono, las características y el comportamiento de los residentes son esenciales en la adopción de políticas climáticas (Dubois et al., 2019; Ferreira et al., 2022). Desde la demanda de los consumidores, los hábitos influyen en el uso de los recursos y en la liberación de emisiones (Long et al., 2019).

En los hogares de América Latina y el Caribe son pocos los estudios que aportan a la evaluación de efectos regresivos de las políticas de reducción de carbono y sostenibilidad (Castillo et al., 2021). Esta región, compuesta por países de ingresos bajos y medios, necesita una inspección basada en las realidades locales de sus ciudades, junto al estudio de estrategias que potencien la mitigación del cambio climático (Ordóñez et al., 2020). En Colombia, se destaca la estimación de la reducción de emisiones de CO₂ asociada al uso de la bicicleta en las ciudades de Villavicencio y Cali (Espinosa et al., 2018), los análisis de las emisiones en el sector transporte de algunas áreas de los municipios de Ibagué (Andrade et al., 2017), y Bucaramanga (Amaya et al., 2020). También se destacan la reducción de emisiones en el sector constructor, poniendo como caso de estudio una edificación en la ciudad de Medellín (Pardo et al., 2021), y el inventario de GEI del Valle de Aburrá (Quiceno et al., 2021).

Los determinantes de las emisiones en zonas urbanas aún no se comprenden completamente, debido a la complejidad del comportamiento del consumo y la falta de solidez de la información en las ciudades o por la carencia de un sistema unificado de gestión en la cadena de suministro de datos, que permita incorporar la responsabilidad ambiental en el consumo residencial (Long et al., 2019). Sin embargo, Buchs

y Schnepf (2013), afirman que entre los factores más importantes para examinar la distribución de las emisiones y la implicación en los hogares, están: el ingreso, el gasto y el tamaño del hogar. Otros autores, como Long et al. (2019), afirman que las condiciones climáticas, como el aumento de la temperatura es un elemento adicional, determinante en el consumo de energía y emisiones de GEI. Druckman y Jackson (2016), sostienen que además del ingreso y el tamaño del hogar también es determinante la composición del hogar, la localización en zona urbana o rural, la dieta y el tipo de energía suministrada para disminuir las emisiones de CO₂.

El cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones requiere de la gestión de nuevas políticas y la ejecución de las normas ya establecidas para mitigar el cambio climático (Druckman & Jackson, 2016). Colombia ha avanzado en la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés); además plantea como meta la reducción del 51% de las emisiones a 2030, lo que representa un máximo de emisiones de 169,44 millones de t CO₂e en 2030 y alcanzar la neutralidad del carbono a 2050, como lo pide la Ley 2169 del 22 de diciembre de 2021.

Ahora se hace cada vez más urgente el cumplimiento de metas en el corto y el largo plazo, ya que la vida del planeta depende de las acciones e intensificación eficaz de las estrategias de mitigación y adaptación en cada territorio (Corporación Autónoma Regional del Tolima, Cortolima, 2018). En este sentido, el objetivo de la investigación fue examinar el impacto de algunas características sociodemográficas y socioeconómicas de los hogares de Ibagué, Colombia, en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), provenientes del consumo de energía eléctrica y uso de combustibles fósiles en el transporte y en la preparación de alimentos.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la zona urbana del municipio de Ibagué, capital del Tolima (Co-

lombia), la cual cuenta con 13 comunas. El municipio tiene un área total de 1.439 km², siendo el área rural de mayor extensión (1394 km² aproximadamente), según información registrada en los planes de desarrollo por comuna (Alcaldía Municipal de Ibagué, 2019). La ciudad musical, como es denominada, se encuentra entre las ciudades intermedias (desde 250 mil hasta 1 millón de habitantes), según el sistema global de ciudades (Novillo, 2018), donde habitan cerca de 500 mil personas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, 2018). El sector residencial está integrado por 198.375 hogares aproximadamente (Cámara de Comercio de Ibagué, 2021). La situación económica es crítica, al considerar que la economía de los hogares es peor que hace un año atrás, a raíz de la inequidad social acumulada y la pandemia del Covid-19 (DANE, 2021). Estas condiciones inciden en una mayor vulnerabilidad, en la medida en que tienen poca capacidad adaptativa frente a la crisis climática (Novillo, 2018).

2.2 Características de los datos

La población de referencia fue de 170.170 hogares, según el número de usuarios de consumo de energía para el año 2018 en Ibagué, año en que se recolectó la información. La unidad de estudio fue el hogar, dado que se estimaron los efectos de algunas características sociodemográficas y socioeconómicas de los hogares en las emisiones de GEI. En total se entrevista-

ron 1816 hogares derivados de un diseño de muestreo aleatorio estratificado por estrato socioeconómico (1-6) y comunas (1 a 13) (Sierra, 2020). Dicho estudio incluyó una entrevista por hogar, encuestando a personas entre 18 y 80 años de edad, habitantes de la vivienda y casa de exclusivo uso residencial.

La encuesta semiestructurada contenía tres secciones: i) características del hogar y de la persona encuestada, ii) consumo de energía eléctrica y del combustible empleado para la cocción de alimentos, obtenido de los recibos de pago de los servicios públicos de cada vivienda encuestada, iii) el consumo de combustibles fósiles empleados en el transporte. En este último caso, para el transporte privado de los hogares se indagó sobre el tipo de combustible y la cantidad de combustible consumido al mes, mientras que para el transporte público se estimó: el promedio de personas que emplean el servicio al mes, la distancia recorrida por los integrantes del hogar y la cantidad de combustible utilizado en dicho periodo.

La estimación de las emisiones de CO₂e requirió el uso de los factores de conversión formulados por el *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC) para el consumo de diésel y gasolina (IPCC, 2006); para el uso de electricidad en el Sistema Nacional de Interconexión Eléctrica (Camargo et al., 2013); para el uso de gas natural domiciliario (GND) y gas licuado de petróleo (GLP) (Fundación Natura, 2016; Prieto, 2016) (ver ecuación 1).

$$E = CP * fe \quad (1)$$

Donde:

E: Emisión (kg CO₂e/mes)

CP: Consumo promedio mensual de diésel (l), gasolina (l), gas natural (m³), gas licuado de petróleo (m³) o energía eléctrica (kWh).

Factor de emisión: diésel (2,83 kg CO₂e/l), 2,33 gasolina (kg CO₂e/l), gas natural (1,99 kg CO₂e/m³), gas licuado de petróleo (5,58 kg CO₂e/m³), energía eléctrica (130 g CO₂e/kWh).

2.3 Análisis estadístico

Primero, se calcularon las emisiones por hogar y *per cápita* al año, asumiendo que los datos recolectados (mensuales o semestrales del consumo de los derivados del petróleo y la energía eléctrica), son representativos de lo presentado en un año calendario. Estos valores permitieron extrapolar las emisiones a la ciudad de Ibagué, al multiplicar las emisiones anuales del hogar por estrato con el número de hogares para el año 2018 en la ciudad.

Posteriormente, se analizaron mediante estadística descriptiva algunas variables socioeconómicas de los hogares, como: ingreso del hogar según el salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV) en Colombia (equivalente a 781.242 COP = \$264,2 (USD) (1 USD = 2956,46 COP para el 31/12/2018) (Superintendencia Financiera de Colombia, SFC, 2020). También se tuvieron en cuenta: tamaño del hogar, composición del hogar, estrato socioeconómico y máximo nivel educativo en los hogares, frente a las emisiones derivadas del uso de los combustibles fósiles y la energía eléctrica.

Se realizaron pruebas no paramétricas dado que los datos colectados no fueron normales ($p < 0,05$) de los datos, según la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*. La diferencia de medianas se halló

al aplicar la prueba de *Kruskal Wallis* y *U de Mann Whitney*, según el número de categorías de la variable cualitativa, teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95% y aceptando significancia estadística con valor $p < 0,05$. Finalmente, se presenta la correlación de *Spearman* de las variables estudiadas con respecto a las emisiones, en cuyo caso las variables con múltiples categorías fueron re-categorizadas en variables dicotómicas para este análisis. Los datos fueron analizados mediante el programa SPSS, versión 22.

3. Resultados y discusión

3.1 Emisiones de CO₂e

La media de las emisiones en los hogares urbanos de Ibagué fue de 992 kg CO₂/hogar/año, mientras que *per cápita* fue de 302 kg CO₂/año. Las emisiones generadas entre los estratos 3 a 6 superan, en promedio, los 1000 kg CO₂/hogar/año, a diferencia de los estratos 1 y 2 que emiten en promedio entre 988 y 912 kg CO₂/hogar/año, respectivamente. Sin embargo, al extrapolar estos valores a nivel de ciudad los estratos 5 y 6 cuentan con menor número de hogares y, por ende, menores emisiones, aportando tan solo entre el 2,0 y 0,3%, a diferencia de los estratos 2 y 3 que aportan el 41,0 y 25,7%, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Emisión de CO₂e por hogar y *per cápita* anual de los energéticos empleados en los hogares urbanos de Ibagué (2018).

Estrato	Emisiones promedio		Número de hogares	Emisiones totales	
	(kg CO ₂ e / persona/año)	(kg CO ₂ e / hogar/año)		(Gg CO ₂ e / año)	(%)
1	289,1	994,7	32259	31,9	18,8
2	278,7	926,5	76108	69,5	41,0
3	330,7	1076,1	41306	43,6	25,7
4	438,2	1222,8	17005	20,2	11,9
5	348,0	1282,2	2886	3,4	2,0
6	296,0	1076,1	606	0,7	0,3
Total			170170	169,2	100,0

En la zona urbana de Nigeria se encontraron emisiones por hogar similares a las de Ibagué, con una media de 572 kg CO₂/año, con variaciones espaciales entre 292 y 1059 kg CO₂ (Olaniyan et al., 2018). Así mismo, el promedio anual de emisiones *per cápita* en los hogares de Italia fue de 350 kg CO₂e (Baudino, 2020), y en Lima (Perú) para el año 2015 las emisiones *per cápita* fueron de 310 kg CO₂e (Cárdenas-Mamani et al., 2022). En cambio, en el Reino Unido la media de las emisiones de GEI al año alcanzó los 20200 kg CO₂e, posiblemente este valor superior se debe a la inclusión de las emisiones derivadas del transporte aéreo y de emisiones indirectas incorporadas en otros bienes y servicios consumidos, como: calefacción, atención médica, servicios hospitalarios, telefónicos, postales y cosmética (Buchs & Schnepf, 2013).

Las emisiones en los hogares de Ibagué están representadas en 51% por el consumo de gas natural domiciliario, seguido del 29% derivado de combustibles empleados en el transporte (gasolina, diésel y gas natural vehicular) y, por último, se encuentra el 19% proveniente del consumo de energía eléctrica y el 1% derivado del Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos hallazgos contrastan con los estimados para la ciudad de Mahabad (Irán), donde el 90% corresponde al GLP, 10% a la electricidad y el 0,4% restante de queroseno, gasolina y diésel (Soltani et al., 2020). En contraste, en Lima (Perú), Cárdenas-Mamani et al. (2022), encontraron que las emi-

siones asociadas al consumo de electricidad, GLP y vehículos privados fue de 41, 39 y 20%, respectivamente, debido a que el uso de energía incluye similar proporción para la cocción de alimentos, iluminación y uso de aparatos de entretenimiento en el sector domiciliario. Estas diferencias con la ciudad de Ibagué se podrían atribuir al uso de energéticos, el origen de la energía y los factores de emisión empleados en cada país (Nieves et al., 2019).

3.2 Relación entre características de los hogares y emisiones de GEI

Ingresos

El 50% de los hogares encuestados que tienen ingresos mensuales de 3-4 SMMLV emiten a lo sumo 978,9 kg CO₂/hogar/año, a diferencia del 50% de los hogares con > 4 y ≤ 2 SMMLV que emiten al año entre 771,5 y 799,9 kg CO₂/hogar/año (ver Tabla 2). Estos estratos presentan diferencias significativas entre las medianas ($p < 0,05$). Lo anterior contrasta con diversos estudios que apoyan que cuanto mayor sean los ingresos del hogar, más probabilidad tendrá de consumir y por ende de emitir CO₂, lo cual hace que los ingresos sean un factor determinante de las emisiones (Brand & Preston, 2010; Buchs & Schnepf, 2013; Olaniyan et al., 2018; Patiño et al., 2021; Santillán et al., 2021).

Tabla 2. Percentiles de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero según las características de los hogares evaluados en Ibagué, Colombia (2018).

Variable	Categoría	n	Percentil 25 (kg CO ₂ e /hogar/año)	Percentil 50 (kg CO ₂ e / hogar/año)	Percentil 75 (kg CO ₂ e / hogar/año)
Ingresos del hogar en 2018	≤ 2	1372	563,1	799,9	1170,0
	3-4	292	673,1	978,9	1440,9
	>4	103	506,4	771,5	1149,5
Tamaño del hogar	≤3	893	513,9	703,6	1024,6
	>3	923	677,9	950,6	1387,8

Variable	Categoría	n	Percentil 25 (kg CO ₂ e /hogar/año)	Percentil 50 (kg CO ₂ e / hogar/año)	Percentil 75 (kg CO ₂ e / hogar/año)
Composición del hogar sin menores de edad	1 adulto	836	543,9	802,8	1170,2
	2 adulto	53	483,2	591,1	903,9
	3 adulto	39	588,1	835,7	1056,8
	4 adulto o más	37	910,1	1245,0	1544,5
Composición del hogar con ≥1 adultos por hogar	1 menor de edad	463	592,2	833,5	1211,1
	2 menores de edad	269	644,4	873,5	1226,0
	3 menores de edad	91	555,4	948,3	1362,5
	≥4 menores de edad	28	654,4	748,8	1604,2
Educación	Básica	818	546,5	755,6	1128,6
	Media	443	623,5	881,6	1247,9
	Superior	551	584,3	876,8	1288,9
Estrato socioeconómico	Bajo	1704	566,8	818,4	1186,5
	Alto	112	659,6	991,8	1489,9

La capacidad de ahorro incide sustancialmente en las emisiones de los hogares, siendo los residentes de estratos medios y altos los de más consumo, pero los estratos altos presentan mayor capacidad de adquirir energías limpias, contrario a los hogares con bajos ingresos que tienen poca capacidad de ahorro, lo que limita el cambio y la obtención de energía limpia (Wang *et al.*, 2021). Sin embargo, la redistribución de los ingresos en hogares de los Estados Unidos mostró que la baja conciencia ambiental, un aumento de ingresos en hogares de bajos ingresos o una disminución de ingresos en hogares de altos ingresos puede aumentar la demanda de emisiones entre un 2,3 y 5,1% (Sager, 2019).

Tamaño del hogar

En el 50% de los hogares encuestados en la ciudad de Ibagué con más de 3 integrantes se emite 950,6 kg CO₂, es decir, 25% más que los hogares con 3 o menos personas (Tabla 2). La contribución del tamaño poblacional como variable explicativa del crecimiento de las emisiones, se

encuentra en la mayoría de estudios que incluyen este factor (Patiño *et al.*, 2021). Por ejemplo, Olaniyan *et al.* (2018), encontró que el aumento de una persona en el hogar causa un aumento del 5% de las emisiones de CO₂ en hogares nigerianos, siendo la media de 7 personas por hogar. Así mismo, Brand y Preston (2010), encontraron que las emisiones en los hogares del Reino Unido están asociadas con el tamaño del hogar y otras variables como la situación laboral, género y edad. Además, se ha registrado que el tamaño del hogar es un factor de economías de escala, ya que los individuos comparten el consumo del hogar (Buchs & Schnepf, 2013).

Composición del hogar

La mediana de los hogares encuestados con cuatro o más adultos y sin menores de edad emiten aproximadamente 1245 kg CO₂/hogar/año, cantidad máxima registrada. Así mismo, se encontró que hogares conformados por dos

adultos presentan una mediana de 591,1 kg CO₂/hogar/año, seguido de hogares multipersonales que incluyen cuatro o más menores de edad con 748,8 kg CO₂/hogar/año (Tabla 2). Baiocchi *et al.* (2010), sustentan que los hogares con niños tienen menores emisiones de GEI que aquellos que no los tienen. Buchs y Schnepf (2013), encontraron que las emisiones aumentan en menor cantidad con niños adicionales del hogar, sustentado en que posiblemente los individuos comparten los recursos del hogar y es probable que los niños consuman menos que los adultos. Los hogares unipersonales emitieron más que aquellos conformados por 2 o 3 adultos, esto puede deberse al uso de equipos con ineficiencia energética, preferencia de calentadores para tomar baños de larga duración o, en general, un mayor consumo de energéticos no compartidos (Cruz, 2016). A diferencia de lo registrado en esta investigación, en Reino Unido los hogares con dos adultos tienen casi tres veces más emisiones de CO₂ en transporte que los hogares con un solo adulto (Buchs & Schnepf, 2013).

Máximo nivel educativo en el hogar

El 75% de los hogares con educación básica registró una emisión de 1128,6 kg CO₂/hogar/año, a diferencia de los hogares con educación superior o media (1288,9 kg CO₂/hogar/año), presentando diferencias con significancia de $p < 0,05$ (Tabla 2). En este sentido, Buchs y Schnepf (2013), encontraron que el 44% de los hogares con emisiones altas tenía al menos un miembro con educación superior, a diferencia del 36% de los hogares con emisiones bajas que tenían un nivel de educación básico.

Estrato socioeconómico

La emisión anual de los hogares encuestados fue estadísticamente diferente entre estratos socioeconómicos ($p < 0,005$). Los estratos altos (4, 5 y 6) emiten 991,8 kg CO₂/hogar/año, a diferencia de los estratos bajos (1, 2 y 3) que

contribuyen con 818,3 kg CO₂/hogar/año. Así mismo, los hogares que habitan viviendas propias emiten más que residentes en propiedades arrendadas o en alquiler (Tabla 2). La emisión de GEI en los hogares urbanos de Ibagué fue mayor en el estrato alto que en el estrato bajo, coincidiendo con los hallazgos de Ríos *et al.* (2016).

Los factores anteriores, que reflejan las características socioeconómicas de los hogares, pueden ser determinantes en las emisiones del sector residencial (Olaniyan *et al.*, 2018). Además, si se incluyeran factores adicionales a los descritos, como: la tasa de alfabetización, ocupación, área de la vivienda y tenencia de vehículo propio (Olaniyan *et al.*, 2018; Ríos *et al.*, 2016), se podrían identificar con mayor claridad los determinantes de las emisiones en las diferentes regiones. Esto permitiría incorporar políticas específicas en los estilos de vida de los hogares para disminuir las emisiones (Akenji & Chen, 2016).

Se encontraron correlaciones positivas entre las emisiones totales anuales por hogar y el tamaño del hogar ($\rho = 0,26$). Así mismo, se evidenció que a mayor estrato socioeconómico y mayor número de menores de edad se generan mayores emisiones, pero esta correlación es muy baja ($\rho = 0,08$) (Tabla 3). El nivel de escolaridad, ser propietario de vivienda y los ingresos recibidos no tienen una correlación ($p > 0,01$) con las emisiones anuales de los hogares. Soltani *et al.* (2020), mostró que los jefes del hogar con mayor edad tienden a generar menos emisiones; así mismo, el menor número de integrantes del hogar está correlacionado de forma significativa con una menor cantidad de emisiones, a diferencia de variables como el nivel educativo e ingresos que estaban correlacionadas de manera significativa con más emisiones. Lo anterior permite afirmar la urgencia de impulsar la conciencia ambiental en todos los espacios, lo cual permitiría un cambio de comportamiento de los individuos para hacer frente a la conservación energética.

Tabla 3. Relación entre las emisiones por hogar y algunas características socioeconómicas de los hogares en la zona urbana de Ibagué (2018).

Variable	Emisión total (kg CO ₂ e/hogar/año)
Estrato socioeconómico (alto y bajo)	0.1581 (p < 0,01)
Tamaño del hogar (número de integrantes)	0.2547 (p < 0.01)
Composición del hogar (hogares con hijos menores de 18 años)	0.0711 (p < 0.01)

Coeficiente de correlación y entre paréntesis se encuentra la significancia estadística de la correlación al 0,01 según la prueba de *Spearman*.

3.3 Estrategias de reducción de carbono

Las opciones para reducir las emisiones de carbono pueden apuntar a nivel del hogar; sin embargo, en Colombia no es clara la aplicación de estrategias para este segmento. Dentro de los instrumentos adoptados se encuentra el tributo (impuesto, tasa o contribución), que permite recaudar los recursos necesarios para gastos de administración, así como para la modificación de conductas (Sánchez, 2017). El impuesto al carbono se incorporó a las normas por medio de la Ley 1819 de 2016 para el sector automotor, equivalente a 17.660 COP (equivalente a 4,47 USD dado que 1USD = 3.950,4 COP para el 14/01/2022), para el año 2021 mediante la Resolución 000007 (Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales [DIAN], 2021).

Desde la academia se han planteado otras estrategias para reducir las emisiones de GEI, las cuales ascienden a cerca de 169 Gg de CO₂e/año para Ibagué (Acuña *et al.*, 2021). Entre ellas se encuentra el incremento de áreas arboladas en zonas urbanas y periurbanas que permitan mayor fijación de carbono (Sierra, 2020; Acuña *et al.*, 2021), y la compensación de las emisiones mediante mercados voluntarios de carbono, que permitan recaudar fondos para implementar las anteriores estrategias (Sierra *et al.*, en prensa). También se considera la incorporación de tecnologías eficientes y uso eficiente, las cuales generan una menor presión ambiental (Sierra *et al.*,

en prensa). Estas estrategias requieren ampliar el conocimiento y la información relacionada con las buenas prácticas del uso energético y nuevas tecnologías enfocadas en el ahorro energético del sector residencial, teniendo en cuenta el uso total de los recursos y los residuos generados como indicadores relevantes del impacto en el ambiente (Patiño *et al.*, 2021).

En otros países, los resultados de investigaciones en las ciudades adicionan propuestas como el impuesto a la propiedad predial y territorial urbano para el aumento de la calidad ecológica en Curitiba (Maldonado *et al.*, 2020). Otras estrategias son: renunciar a viajar en avión, adoptar prácticas alimentarias menos intensivas en carbono, uso de infraestructura baja en carbono, producción eficiente, consumo local y adopción tecnológica de emisión negativa, con el fin de considerar los estilos de vida como objetivos de política pública para alcanzar 0 emisiones en el 2100 (Dubois *et al.*, 2019). En este sentido, la planeación de las ciudades se hace indispensable para la ejecución de estrategias de adaptación y mitigación frente al cambio climático centrado en el bien común y el bienestar de las personas para disminuir la vulnerabilidad y demás retos urbanísticos, como: la segregación socioespacial (Gran, 2020), la modificación de estilos de vida que incluyan la disminución del consumismo masivo (Akenji & Chen, 2016; Uddin *et al.*, 2020), y la densidad de construcción y vías de acceso (Liu *et al.*, 2020).

3.4 Limitaciones de la estimación

Los datos empleados del consumo de los servicios públicos de energía eléctrica y gas natural domiciliario, se refieren al promedio de los últimos seis meses previos al registro de los datos en la encuesta realizada en el 2018. No se tuvo en cuenta el transporte aéreo que emplean los hogares (Buchs y Schnepf, 2013), como tampoco se indagó sobre el gasto de los hogares en la canasta familiar. Esta información podría ser útil en investigaciones futuras para estimar el total de las emisiones y la huella de carbono en los hogares de Ibagué (Cruz, 2016; Safitri *et al.*, 2021), principalmente de emisiones indirectas.

4. Conclusiones

El estrato socioeconómico, el tamaño del hogar y la composición del hogar afectan de forma directamente proporcional las emisiones de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles y el consumo de energía eléctrica en los hogares de Ibagué. Las mayores emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), *per cápita* y por hogar se observan en los hogares que devengan entre 3-4 SMMLV (759,5 - 1012,6 USD/MES), los cuales están formados por tres o más integrantes, tienen un nivel medio de educación, y están catalogados como estratos altos. Los hogares de estratos socioeconómicos 3 al 6 emiten en promedio 1164 kg CO₂e/hogar al año y representan el 40% de las emisiones del sector residencial de Ibagué. Lo anterior a diferencia de los estratos socioeconómicos bajos (1-2) que emiten en promedio 960 CO₂e/hogar al año, aunque representan el 60% de las emisiones CO₂e.

Entre las principales estrategias a priorizar para la mitigación de las emisiones en el sector residencial, se encuentran: la expansión de áreas arboladas en la ciudad y en zonas periurbanas, adopción de nueva tecnología que contribuya con la máxima eficiencia energética y establecimiento de un mercado de carbono que permita el recaudo de dinero para el desarrollo de dichas estrategias. Los resultados de este proyecto

impulsan a residentes, sector público-privado y demás comunidad a establecer procesos pedagógicos que incentiven la conciencia ambiental y la modificación de estilos de vida bajo en carbono.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Tolima por financiar el proyecto: Valoración biofísica y económica de las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles y electricidad en hogares de la ciudad de Ibagué, código 260130517, inscrito ante la Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico mediante la convocatoria No. 004 – 2017. Así mismo se da un especial agradecimiento a los hogares de Ibagué que hicieron parte de la investigación y a Erika Escobar, Nicol Suárez y Carolina Sons, por el apoyo en la recolección de la información.

Referencias

- Acuña, L. M., Andrade, H. J., Segura, M. A., Sierra, E., Canal, D. S., & Greñas, O. E. (2021). Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero de hogares por arbolado urbano en Ibagué-Colombia. *Ambiente & Sociedad*, 24, 1-20. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3AO>
- Akenji, L., & Chen, H. (2016). *A framework for shaping sustainable lifestyles determinants and strategies*. United Nations Environment Programme.
- Alcaldía Municipal de Ibagué. (2019). *Plan de desarrollo por comuna*. <http://cimpp.ibague.gov.co/planes-comunales-y-corregimentales/>
- Amaya, C. A., Hernández, C., Abrero, A. L., Rey, D. C., & Ríos, D. C. (2020). *Análisis de aportes de gases de efecto invernadero, asociados a los sistemas de transporte, utilizados por la comunidad académica de las unidades tecnológicas de Santander*, UTS, en Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Andrade, H. J., Arteaga, C. C., & Segura, M. A. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 103-112.

- Baiocchi, G., Minx, J., & Hubacek, K. (2010). The impact of social factors and consumer behavior on carbon dioxide emissions in the United Kingdom. *Journal of Industrial Ecology*, 14, 50-72. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00216.x>
- Baudino, M. (2020). Environmental Engel curves in Italy: A spatial econometric investigation. *Papers in Regional Science*, 99: 999-1018. <https://doi.org/10.1111/pirs.12521>
- Brand, C., & Preston, J. M. (2010). '60-20 emission'—The unequal distribution of greenhouse gas emissions from personal, non-business travel in the UK. *Transport Policy*, 17, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.09.001>
- Buchs, M., & Schnepf, S. (2013). UK households' carbon footprint: a comparison of the association between household characteristics and emissions from home energy, transport and other goods and services. *Institute for the Study of Labor (IZA)*, 7204, 1-43.
- Cámara de Comercio de Ibagué. (2021). *Estudio económico de la jurisdicción de la cámara de Ibagué 2020. Área de investigaciones y publicaciones.*
- Camargo, L., Arboleda, M., & Cardona, E. (2013). *Producción de energía limpia en Colombia, la base para un crecimiento sostenible.* Boletín virtual XM. Compañía Expertos en Mercados, filial de ISA, Colombia. URL http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia_Feb2013.pdf
- Cárdenas-Mamani, Ú., Kahhat, R., & Vázquez-Rowe, I. (2022). District-level analysis for household-related energy consumption and greenhouse gas emissions: A case study in Lima, Peru. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103572. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103572>
- Castillo, M. F., Ramírez, E., & Smith, H. J. (2021). Políticas prodensificación y cambio climático: los desafíos de las ciudades mexicanas. *Sobre México Temas de Economía - Nueva Época*, 2(3), 1-29.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima, Cortolima. (2018). *Plan de Gestión del Cambio Climático Territorial del Tolima "Ruta Dulima. El Tolima enfrenta el cambio en el clima"*. Ibagué, Colombia.
- Cruz, I. C. (2016). Emisiones de CO₂ En Hogares Urbanos. El Caso Del Distrito Federal. *Estudios Demográficos Y Urbanos*, 1-28.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. (2018). *Proyección de la población.* Bogotá. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. (2021). *Encuesta pulso social – décima ronda.* Boletín Técnico.
- Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, DIAN. (2021). *Resolución número 000007 del 29 de enero de 2021. Por la cual se ajustan las tarifas del Impuesto Nacional a la Gasolina y al ACPM, y del Impuesto Nacional al Carbono.*
- Dubois, G., Sovacool, B., Aall, C., Nilsson, A., Barbier, C., Herrmann, A., Bruyère, S., Andersson, C., Skold, B., Nadaud, F., Dorner, F., Moberg, K. R., Ceron, J. P., Fischer, H., Amelung, D., Baltruszewicz, M., Fischer, J., Benevise, F., Louis, V., & Sauerborn, R. (2019). It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures. *Energy Research & Social Science*, 52, 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.001>
- Druckman, A., & Jackson, T. (2016). *Understanding households as drivers of carbon emissions.* In Taking Stock of Industrial Ecology. R. Clift, A. Druckman (eds.), 181- 203. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_9
- Espinosa, M., Pacheco, J., & Franco, J. F. (2018). Potencial de mitigación de proyectos de transporte activo: indicadores de atracción de viajes y emisiones CO₂ en ciudades colombianas. *Dyna*, 85(205), 302-309. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68340>
- Ferreira, V., Barreira, A. P., Pinto, P., & Panagopoulos, T. (2022). Understanding attitudes towards the adoption of nature-based solutions and policy priorities shaped by stakeholders' awareness of climate change. *Environmental Science & Policy*, 131, 149-159.
- Fundación Natura. (2016). *Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI por uso de combustibles fósiles en actividades industriales y comerciales.* Bogotá, Colombia.
- Gran, J. A. (2020). *El impacto de la urbanización en la distribución socioespacial de la vulnerabilidad al cambio climático.* *Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales*, 27, 134-147. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.27.2020.3961>
- Intergovernmental Panel On Climate Change [IPCC]. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.*

- Hayama, Japón. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Ley 2169. (2021). Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 2021. Bogotá, Colombia.
- Liu, Y., Huang, L., & Onstein, E. (2020). How do age structure and urban form influence household CO₂ emissions in road transport? Evidence from municipalities in Norway in 2009, 2011 and 2013. *Journal of Cleaner Production*, 265(20), 121771. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121771>
- Long, Y., Yoshida, Y., Meng, J., Guan, D., Yao, L., & Zhang, H. (2019). Unequal age-based household emission and its monthly variation embodied in energy consumption – A cases study of Tokyo, Japan. *Applied Energy*, 247, 350-362. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.019>
- Maldonado, M. L., Pérez, S., Alterman, R., Pérez, G. A., & Arazo, R. (2020). Políticas de suelo, derecho urbanístico y cambio climático: instrumentos urbanísticos tributarios como medidas para enfrentar al cambio climático etapa 2: análisis de casos. *Lincoln Institute of Land Policy*, 1-16.
- Nieves, J. A., Aristizábal, A. J., Dyer, I., Báez, O., & Ospina, D. H. (2019). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application. *Energy*, 169, 380-397. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.051>
- Novillo, N. (2018). Cambio climático y conflictos socioambientales en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 24, 124-142. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.24.2018.3323>
- Olaniyan, O., Sulaimon, M. D., & Adekunle, W. (2018). Determinants of household direct CO₂ emissions: empirical evidence from Nigeria. *MPRA Paper*, 87801, 1-26. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/87801/>
- Ordóñez, C., Devisscher, T., Dobbs, C., Orozco, L., Dias, M., Navarro, N. M., Ferreira, D., & Escobedo, F. (2020). Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, 126544. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126544>
- Pardo, N. S., López, D. J., & Rico, M. A. (2022). Inclusión de concretos sostenibles en el cumplimiento de la Resolución 0472 de 2017 y la disminución de emisiones del sector constructor colombiano: Análisis de materiales. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14(1), 76-85. <https://doi.org/10.22335/rclct.v14i1.1510>
- Patiño, I. I., Alcántara, V., & Padilla, E. (2021). Driving forces of CO₂ emissions and energy intensity in Colombia. *Energy Policy*, 151, 112130. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112130>
- Prieto, E. (2016). Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, actualización 2015. Universidad Pontificia Bolivariana, 1-50.
- Quiceno, M., Pulido, A. D., Pérez, M. C., & Rodríguez, P. A. (2021). Inventario de emisiones de gases efecto invernadero Valle de Aburrá. Medellín, Colombia. 1-163.
- Ríos, V., Marquet, O., & Miralles-Guasch, C. (2016). Estimación de las emisiones de CO₂ desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín. *Revista Transporte y Territorio*, 15, 302-322.
- Safitri, I., Quasem, A., Mahmudul, M., & Doberstein, B. (2021). Magnitudes of households' carbon footprint in Iskandar Malaysia: policy implications for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128042>
- Sager, L. (2019). Income inequality and carbon consumption: Evidence from Environmental Engel curves. *Energy Economics* 84(1), 104507. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104507>
- Sánchez, C. J. (2017). Tributación medioambiental en Colombia. Otros impuestos al consumo: carbono, bolsas plásticas, gasolina y acpm. *Revista de Derecho Fiscal*, 11, 95-112.
- Santillán, M., Vega, A., & Islas, J. (2021). Climate change and income inequality: An I-O analysis of the structure and intensity of the GHG emissions in Mexican households. *Energy for Sustainable Development*, 60, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.11.002>
- Sierra, E. (2020). *Relación entre la emisión de gases de efecto invernadero y las características sociodemográficas y socioeconómicas de hogares del municipio de Ibagué, Tolima, Colombia* (Tesis de Maestría). Universidad del Tolima, Tolima, Colombia.

- Sierra, E., Andrade, H. J., & Segura, M. A. (en prensa). Disponibilidad a pagar para mitigar las emisiones urbanas: un abordaje desde los hogares, Ibagué-Colombia. *Revista Equidad y Desarrollo*.
- Sierra, E., & Andrade, H. J. (en prensa). Impacto de buenas prácticas en el uso de electrodomésticos eficientes en la reducción de las emisiones de CO₂ en los hogares urbanos de Ibagué, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*.
- Soltani, M., Rahmani, O., Ghasimi, D., Ghaderpour, Y., Pour, A. B., Misnan, S. H., & Ngah, I. (2020). Impact of household demographic characteristics on energy conservation and carbon dioxide emission: Case from Mahabad city, Iran. *Energy*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116916>
- Superintendencia Financiera de Colombia, SFC. (2020). *Histórico TRM para estados financieros. c2020*. <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/9332>
- Uddin, M. M., Mishra, V., & Smyth, R. (2020). Income inequality and CO₂ emissions in the G7, 1870–2014: Evidence from non-parametric modelling. *Energy Economics*, 88, 104780. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104780>
- Wang, J., Li, N., Huang, M., Zhao, Y., & Qiao, Y. (2021). The challenges of rising income on urban household carbon emission: do savings matter? *Journal of Cleaner Production*, 326(1), 129295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129295>