

**CALCULO DE LA HUELLA DE CARBONO CON EL PROTOCOLO
(GPC) EN EL SECTOR DOMESTICO NEIVA, COLOMBIA. ANÁLISIS DESDE EL
ENFOQUE SOCIOECONOMICO**

**CALCULATING THE CARBON FOOTPRINT WITH THE GLOBAL PROTOCOL
(GHG) IN THE DOMESTIC SECTOR NEIVA, COLOMBIA. ANALYSIS FROM THE
SOCIOECONOMIC APPROACH**

Andrés Perdomo Cano^{1*}
Jaime Izquierdo Bautista²

Resumen

Se estimó la huella de carbono para la ciudad de Neiva-Colombia a partir de las prácticas de consumo eléctrico, gas domiciliario y medio de transporte y se relaciona dicha huella con aspectos socioeconómicos y sociodemográficos de la población. Para ello se realizó un estudio de corte transversal con una encuesta en Neiva-Colombia 2019, a través de un sistema de información dinámico y centralizado basado en web, con una muestra de 201 personas seleccionadas aleatoriamente. El análisis estadístico se realizó a través de Minitab 19 con estadística descriptiva, análisis gráfico, pruebas de hipótesis (ANOVA), prueba chi-cuadrada y relación de probabilidad entre las variables estudiadas. Se encontró una huella de carbono total de 188,76 Toneladas de CO₂ e lo que representa una emisión anual de 0,94 tCO₂ e por habitante. Se establece que la población mayor a 48 años, la perteneciente a estrato sociales altos y el género masculino está más propenso a generar emisiones mayores a 1,02 tCO₂ e por persona. Se concluye que el género, número de habitantes en la residencia, uso de la bicicleta, el uso de moto taxi, el uso del autobús y los vuelos internacionales no presentaron relación estadística significativa con la huella de carbono total calculada.

Palabras clave: Gases efecto invernadero, factores de conversión, consumo eléctrico, contaminación, emisiones, socioeconómico, sociodemográfico.

Abstract

The carbon footprint for the city of Neiva-Colombia was estimated from the practices of electricity consumption, household gas and means of transport and this footprint is related to socioeconomic and sociodemographic aspects of the population. For this, a cross-sectional study was carried out with a survey in Neiva-Colombia 2019, through a dynamic and centralized web-based information system, with a sample of 201 people randomly selected. The statistical analysis was performed through Minitab 19 with descriptive statistics, graphical analysis, hypothesis tests (ANOVA), chi-square test and probability relationship between the variables studied. A total carbon footprint of 188.76 Tons of CO₂ was found, representing an annual emission of 0.94 tCO₂ e per capita. It is established that the population over 48 years of age, those belonging to high social strata and the

Recepción: 10 de agosto de 2020 / Evaluación: 20 de septiembre de 2020 / Aprobado: 10 de noviembre de 2020

1. Ingeniero de Petróleos. Universidad Surcolombiana – Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. Email: aperdomo.c@hotmail.com-<https://orcid.org/0000-0002-5799-0477> (*Autor para correspondencia)

2. Ingeniero Agrícola. M.Sc. Universidad Surcolombiana – Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. Email: jaimeizquierdo@usco.edu.co-<https://orcid.org/0000-0002-3464-4483>

male gender are more likely to generate emissions greater than 1.02 tCO₂ e per person. It is concluded that the gender, number of inhabitants in the residence, use of the bicycle, the use of a motorcycle taxi, the use of the bus and international flights did not show a significant statistical relationship with the total carbon footprint calculated.

Keywords: Greenhouse effect gases, Conversion factors, Electric consumption, Pollution, Emissions, Socioeconomic, Sociodemographic.

Introducción

El sector empresarial empezó a percatarse sobre cambio climático y la necesidad de calcular y representar de alguna forma el impacto generado por los participantes del mercado (Del Franco y Gómez, 2019; Palma, Caycedo, Guzmán, Varón y Ruíz, 2019). Ante ello, la huella de Carbono (HC) es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) sobre el medio ambiente. Estas se miden en toneladas o kilos de dióxido de carbono equivalente de gases de efecto invernadero, producida por el uso de combustibles fósiles con fines de transporte, generación de energía u otros procesos (Schneider & Samaniego, 2009).

Este indicador se ha convertido el eje central del debate público sobre el cambio climático, atrayendo la atención de los consumidores, negocios, gobiernos, organizaciones no gubernamentales, e instituciones internacionales (Quesada & y Certificación, 2009); y para la realización de este cálculo, existen técnicas tanto de carácter obligatorio como normativo donde se recopila y evalúa las entradas y salidas a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o servicio, el uso de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones para cada categoría de impacto. (MONDÉJAR NAVARRO, Viñoles-Cebolla, Bastante-Ceca, Collado-Ruiz, & Capuz-Rizo, 2011).

Este trabajo de investigación tiene como objeto estimar la huella de carbono para el sector residencial de la ciudad de Neiva-Colombia y relacionar los resultados con aspectos socioeconómicos y sociodemográficos. Adicional busca crear un sistema de información dinámico y centralizado basado en web para obtener datos recientes de las emisiones de CO₂ generadas por la actividad de movilidad y consumo urbano, y así, plantear esquemas de compensación que la ciudadanía deberá adoptar con un uso más eficiente de las energías que minimicen el impacto en el medio ambiente.

Para el cálculo de la huella de carbono en el sector residencial de Neiva, se aplicará estadística descriptiva y el *Global Protocol for Community-scale Greenhouse Gas Emissions (GPC)* desarrollado por C40 Cities Climate Leadership Group y Local Governments for Sustainability (ICLEI), dado que el protocolo establece los requerimientos y lineamientos para la preparación de Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel de ciudades, representando un estándar global de medición transparente.(Conama,2014).

Esta metodología se basa en el inventario y reporte de los gases de efecto invernadero relacionados con las actividades y operaciones de los hogares en sectores residenciales. En términos generales la metodología identifica cuatro áreas del consumo de un ciudadano común, a saber: uso de energía eléctrica, gas doméstico, medios de transporte, y los hábitos de consumo.(Betancourt, 2012)

La recolección de datos se llevará a cabo mediante una encuesta tipo diagnóstico on-line, teniendo en cuenta que estos recursos multiplican los ámbitos de desarrollo de propuestas innovadoras.(Fombona Cadavieco, Sevillano, Ángeles, & Madeira Ferreira Amador, 2012).

Bajo este precepto, es necesario el desarrollo de una página web en la que el usuario (encuestado) interactúe con la herramienta, y una vez alimente la base de datos global de Neiva, pueda saber su huella de carbono del lugar de residencia, establezca si su emisión es alta, media o baja respecto a las medidas globales y le sea indicada una tarea práctica para la compensación de los costos ambientales generados por su actividad. (Valderrama, Espíndola, & Quezada, 2011).

Una vez realizada la recolección de información, se generará el indicador de huella de carbono de la ciudad, para su evaluación respecto a los consumos energéticos según los estratos socioeconómicos residenciales y nivel educativo, y se vincula a los organismos de administración municipal responsables del tema medioambiente, con el fin de que se apropien del estudio, información y resultados.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó en Neiva, Huila-Colombia (figura 1) en el año 2019, teniendo en cuenta exclusivamente a los 348.964 habitantes del área urbana proyectados por el DANE para el año 2019. Distribuidos entre hombres 166.896 (47,8%) y mujeres 182.068 (52,2%). (Estadística.DANE, 2017) Respecto a la edad, la ciudad está compuesta por 197.960 habitantes menores de 34 años que representa el 56,72% y tan solo 17.419 habitantes mayores de 70 años equivalente al 5% de la población total.



Figura 1 Localización Ciudad de Neiva

Fuente: *software* Google Earth, imagen satelital 2019,21/10/2019

Alcances

Las actividades que ocurren dentro de los límites geográficos de la ciudad se establecen en dos de los tres alcances que establece el GPC (El Protocolo Global para inventarios de Emisión de Gases Efecto Invernadero a escala comunitaria).

El alcance 1 corresponde a las emisiones de GEI (Gases efecto invernadero) provenientes de fuentes situadas dentro de los límites de la ciudad, como lo son para el presente estudio, la combustión estacionaria y el transporte dentro de los límites, y el alcance 2 donde las emisiones de GEI se producen como consecuencia de la utilización de energía en red dentro de la ciudad.

No se estableció para el presente estudio las actividades agrícolas, residuos sólidos y aguas residuales, procesos industriales y el alcance 3 teniendo en cuenta los límites estipulados

(geográfico y poblacional) y la dificultad para adquirir datos. El alcance 3 corresponde a las emisiones que se producen fuera de los límites de la ciudad.

Factores de Conversion

Los factores de emisión convierten los datos de actividad relacionados en una masa de emisiones de GEI; Kg de CO₂ equivalente liberados por cada KWh del servicio eléctrico residencial, m³ de gas domiciliarios o por cada Km recorrido. Para determinar las emisiones de GEI en cada uno de los aspectos aplicables se requiere la aplicación de factores de emisión para cada una de las fuentes.

La tabla 1 muestra los Factores de emisión usados para el cálculo de la huella de carbono residencial de la ciudad de Neiva. Dichos factores, son estipulados por instituciones como la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en su Informe Factores de Emisión De Los Combustibles Colombianos (FECOC) y reconocidos por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME),

Tabla 1 Factores de emisión

Fuente de energía	Factor de emisión	Unidad	Referencia
Energía Eléctrica	0,199	KgCO ₂ e /KWh	Fecoc 2016
Gas domiciliario	2,035	KgCO ₂ e /m ³	Fecoc 2016
Autobús	0,214	KgCO ₂ e /Km	Wri Ghg 2014
Taxi	0,330	KgCO ₂ e / Km	Wri Ghg 2014
Motocicleta	0,126	KgCO ₂ e /km	Wri Ghg 2014
Auto	0,338	KgCO ₂ e / Km	Wri Ghg 2014
Viajes aéreos Nacionales	0,22151	KgCO ₂ e /km	Uk Government 2019
Viajes aéreos Internacionales	0,25493	KgCO ₂ e /km	Uk Government 2019

Para el caso de Colombia y a nivel internacional por el World Resources Institute (WRI) que abandera la aplicación del Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories y se apoya en investigaciones de países como el reino unido (United Kingdom) y Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para proporcionar información fiable para el cálculo de la huella de carbono.

Plataforma Digital

Para la realización de la plataforma digital se encontró el antecedente de trabajos como “Software para el cálculo de la huella ambiental en la producción de cacao” (Sanchez et al., 2017) y “Herramienta web para la medición de la huella de carbono en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena” (Torres Cabarcas, Moya Villa, & Olivero Verbel, 2015).

La plataforma digital está construida sobre el lenguaje de programación PHP para la parte referente al servidor, java script como cliente, para el diseño se utilizó el lenguaje de etiquetado HTML y CSS. El diseño de la aplicación web se basó en una plantilla que fue modificada y se agregaron otros contenidos, dicha plantilla está construida con el framework de diseño BOOTSTRAP. Para el manejo de base de datos se utilizó el motor de base de datos MYSQL. Para

la construcción de tablas dinámicas se utilizó la librería DATATABLE, para la generación y construcción de graficas se utilizó la librería HIGHCHARTS, para el manejo de alertas se utilizó la librería SWEETALERT. La aplicación está alojada en el servidor 000Webhost.

Cuestionario

Para la realización del cuestionario se tuvo en cuenta estudios como el “cuestionario para calcular la huella ecológica de estudiantes universitarios mexicanos y su aplicación en el campus zaragoza de la universidad nacional” (Ibarra-cisneros, et al, 2014).

En la puesta en marcha se incluyeron 16 preguntas generales y no invasivas sobre hábitos de consumo y aspectos sociodemográficos de la población en estudio, dentro de la información recolectada se tiene: barrio de residencia, genero, edad, máximo nivel educativo, estrato socioeconómico, número de personas con las que se comparte la residencia, consumo de energía eléctrica mensual en pesos colombianos, el consumo de gas domiciliario mensual en pesos colombianos, cantidad de kilómetros en que se transporta a diario el bus, moto particular, moto taxi, auto particular, taxi, bicicleta y las horas de viaje en avión.

Calculo de huella de Carbono

Para el cálculo de la huella de carbono se aplica la ecuación establecida en Global protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories (GPC) (Fong et al., 2015).

$$Emisiones\ de\ GEI = Datos\ de\ Actividad\ x\ Factor\ de\ Emisión \quad (Ec.1)$$

Adicional, se tiene en cuenta las variables propias del estudio regional tales como las actividades aplicables a estudio, los factores de emisión (ver tabla 1), el costo de energía eléctrica por cada KWh y el costo por cada m³ de gas domiciliario y la periodicidad de registro de uso establecido en el cuestionario; por ejemplo, para los servicios públicos se establece el consumo mensual, para el transporte terrestre se establece uso diario de automotor y para los viajes aéreos se establece un registro anual.

Muestra Representativa

Se tuvo en cuenta trabajos como la Determinación Del Tamaño Muestral Mediante El Uso De Árboles De Decisión (Valdivieso, Valdivieso, & Valdivieso, 2011) Determinación del tamaño muestral (Fernández, 1996), análisis de la percepción de los ciudadanos sobre la atención y servicio recibido por los servidores públicos de la Alcaldía del Municipio de Neiva – Huila en el Año 2017 María (Gómez España & Torres Correcha) y Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud (Aguilar-Barojas, 2005)

$$n = \frac{N Z^2 pq}{e^2(N-1) + Z^2 pq} \quad (Ec.2)$$

Para este caso de estudio se estableció los siguientes parámetros:

N es el tamaño de la población de 348.964 habitantes de la ciudad de Neiva, Z equivale al nivel de confianza del 95%, la constante a utilizar es de 1,96, e es el nivel de error que se asume es del 7%; p es la proporción de la población con la característica deseada (éxito) es de 50%, (0,5) y finalmente q es la proporción de la población sin la característica deseada (fracaso) es del 50% (0,5)

Si se compara las emisiones del sector del sector residencial con el sector industrial, estas difieren en la capacidad generación , siendo el caso de 61 industrias conocidas en barranquilla que producen una elevada emisión de 331967.8 tCO₂ e al año (Agudelo-Castaneda, Velasquez, Maturana, & Castillo, 2019), de igual manera difiere en la fuente de generación, siendo el consumo eléctrico el que aporta un 63.32% de las emisiones generadas en un proceso de reciclaje de botellas plasticas en Medellín (Aristizábal Alzate, González Manosalva, & Gutiérrez Cano, 2020).

Tabla 2 Toneladas de CO₂ eq-año en Neiva- Colombia, 2019 (n=201)

Variable	Tot al Calcul ado	Mín.	M áx	Me d	DS	Vz	IC de 95%
Ton Co2 eq-año	188, 76	0,01 55	2,8 3	0,94	0,6 2	0,3 8	(0,8540; 1,0242)
Ton Co2 eq-año por servicios domiciliarios (gas/electricidad)	50,8 2	0,01 15	1,6 3	0,25	0,2 1	0,0 5	(0,2235; 0,2822)
Ton Co2 eq-año por Transporte Terrestre (Auto/motocicleta/bus/taxi)	137, 14	0,00 00	2,5 2	0,68	0,5 3	0,2 8	(0,6086; 0,7560)
Ton Co2 eq-año por Transporte Aéreo (Vuelo Nacional e internacional)	0,79	0,00 00	0,0 3	0,00	0,0 1	0,0 0	(0,003014 ; 0,004873)

La desviación estándar presente en cada una de las variables no supera en valor a la media ni es de menos de la mitad de esta misma, siendo este un indicio de que no existe sesgo, valores extremos o una distribución bimodal.

La constante en las emisiones originadas por transporte aéreo es 0,00 TCO₂e, mostrando de esta manera que muy poca población de la encuestada se moviliza por este medio y que su aporte a la huella de carbono total no es significativo, muy acorde a la contribución del 2% que produce la aeronáutica a cantidad total de emisiones a nivel mundial (RÍOS GARRIDO, 2020)

Los intervalos de las emisiones de tCO₂ totales muestran un aumento de las emisiones proporcionales a la edad y al estrato socioeconómico. La población menor de 27 años es la que produce un promedio de emisiones menores a 0,75 tCO₂ e, la población que se establece de 28 a 47 años emite en promedio unas tCO₂e muy cercanas a la unidad, mientras que la población mayor de 48 años establece emisiones mayores de 1,5 tCO₂ e por persona.

En cuanto a las emisiones de gases efecto invernadero según el estrato socioeconómico, se muestra un comportamiento proporcional lineal teniendo los promedios de emisiones más pequeños (0,58 tCO₂e) en la población clasificada como estrato 1 y las emisiones promedio mayores (1,32 tCO₂e) en la población clasificada como estrato 4. Siendo esto una clara muestra de que los impactos del cambio climático producen afectaciones a la organización social (Remuzgo & Sarabia, 2020) ; la desigualdad social está a razón del cambio climático pues los primeras afectaciones del cambio climático lo reciben los sectores urbanos o países vulnerables quienes emiten la menor cantidad de gases efecto invernadero (Pardo Buendía, 2007).

El cuanto al género, la población masculina muestra una leve preponderancia en las emisiones promedio generadas muy cercanas al dígito (1,02 tCO₂ e per) mientras que la población femenina produce en promedio 0,85 tCO₂ e per, esto último corrobora que los varones contaminan más que las mujeres como se afirma en el estudio de consumo de energía por género en Europa (Räty & Carlsson-Kanyama, 2010).

La cantidad de habitantes que habitan la residencia encuestada, también influye significativamente las emisiones de gases efecto invernadero producidas en la ciudad, teniendo una leve disminución representada por una décima de tCO₂ e per, a medida que aumenta los habitantes de la residencia entre 1 y 4. El comportamiento más interesante se encuentra cuando la población supera los 6 habitantes, pues las emisiones de CO₂ e persona disminuyen de manera abrupta a casi la nulidad.

De igual manera el nivel académico influye en las emisiones de los gases efecto invernadero, la población que presenta su mayor título como bachiller, profesional, técnica, tecnóloga o doctorado, muestran aportes promedios entre 0,63-0,81 tCO₂ e, mientras que la población que ha accedido a una especialización y maestría presentan emisiones por encima de la unidad (1,28-1,49 tCO₂ e).

La población que aporta en menor cuantía (0,23 tCO₂ e) a la producción de gases efecto invernadero según su nivel académico es la que solo ha podido acceder a nivel de primaria debido a su poca capacidad de adquisición, sin embargo esta afirmación va en contravía por lo expuesto por (Parada, 2001) quien afirma que esa relación pobreza-educación hace parte del imaginario de nuestra sociedad.

La población encuestada se constituye por 100 participantes de género femenino y 101 de género masculino representando el (49,7 y 50,3 %) respectivamente, de igual manera se caracterizó la población por edad menor de 37 años (81,5%) y mayor de 38 años correspondiente al 18,5 %; esta caracterización en edad se debe a que la población de la ciudad de Neiva en su 56% está constituida por personas menores a 34 años.

Las tres grandes categorías que delimitan el estudio se logran agrupar en la tabla 3 representados por los hábitos de uso de servicios públicos (gas y energía eléctrica), hábitos de transporte terrestre (motocicleta, automóvil, bus y bicicleta) y transporte aéreo (vuelos nacionales e internacionales) y categorizadas por la edad y género como se explicó anteriormente.

Tabla 3 Uso de servicios públicos y transporte según edad y sexo de la población

CONSUMO	EDAD AGRUPADA		GENERO		TOTAL 201/100 %	
	≤ 37 AÑOS n=164/(81,5 %)	≥ 38 AÑOS n=37/(18, 4%)	F 100/(49,7 %)	M 101/(50, 2%)		
Hábitos de consumo de gas en pesos.	De 0 a 15.000	85/(84,16 %)	16/(15,8 4%)	52/(51,4 9%)	49/(48,5 1%)	101
	De 15.000 a 30.000	61/(80,26 %)	15/(19,7 4%)	40/(52,6 3%)	36/(47,3 7%)	76
	De 30.000 a 45.000	13/(76,47 %)	4/(23,53 %)	6/(35,29 %)	11/(64,7 1%)	17
	De 50.000 a 90.000	5/(83,33 %)	1/(16,67 %)	2/(33,33 %)	4/(66,67 %)	6

Hábitos de Transporte	Consumo mensual de energía eléctrica en pesos.	>100000	0/(0%)	1/(100%)	0/(0%)	1/(100%)	1	
		De 0 a 20.000	25/(83,33%)	5/(16,67%)	17/(56,67%)	13/(43,33%)	30	
		De 20.000 a 40.000	71/(94,67%)	4/(5,33%)	36/(48%)	39/(52%)	75	
		De 40.000 a 60.000	27/(72,97%)	10/(27,03%)	19/(51,35%)	18/(48,65%)	37	
		De 60.000 a 90.000	28/(71,79%)	11/(28,21%)	18/(46,15%)	21/(53,85%)	39	
		De 90.000 a 200.000	9/(60%)	6/(40%)	6/(40%)	9/(60%)	15	
		>De 250.000	4/(80%)	1/(20%)	4/(80%)	1/(20%)	5	
		Uso Motocicleta /día	De 0 a 3 km	82/(79,61%)	21/(20,39%)	60/(58,25%)	43/(41,75%)	103
			De 4 a 7 km	34/(91,89%)	3/(8,11%)	19/(51,35%)	18/(48,65%)	37
			De 8 a 10 km	48/(78,69%)	13/(21,31%)	21/(34,43%)	40/(65,57%)	61
			De 0 a 3 km	154/(82,35%)	33/(17,65%)	92/(49,2%)	95/(50,8%)	187
			De 4 a 7 km	7/(70%)	3/(30%)	6/(60%)	4/(40%)	10
			De 8 a 10 km	3/(75%)	1/(25%)	2/(50%)	2/(50%)	4
			De 0 a 3 km	147/(81,22%)	34/(18,78%)	94/(51,93%)	87/(48,07%)	181
			De 4 a 7 km	8/(88,89%)	1/(11,11%)	5/(55,56%)	4/(44,44%)	9
			De 8 a 10 km	9/(81,82%)	2/(18,18%)	1/(9,09%)	10/(90,91%)	11
			De 0 a 3 km	127/(78,4%)	35/(21,6%)	79/(48,7%)	83/(51,23%)	162
			De 4 a 7 km	18/(94,74%)	1/(5,26%)	12/(63,16%)	7/(36,84%)	19
			De 8 a 10 km	19/(95%)	1/(5%)	9/(45%)	11/(55%)	20
			De 0 a 3 km	154/(81,05%)	36/(18,95%)	95/(50%)	95/(50%)	190
		De 4 a 7 km	9/(90%)	1/(10%)	4/(40%)	6/(60%)	10	
		De 8 a 10 km	1/(100%)	0/(0%)	1/(100%)	0/(0%)	1	
		De 0 a 3 km	135/(88,82%)	17/(11,18%)	82/(53,95%)	70/(46,05%)	152	
		De 4 a 7 km	8/(44,44%)	10/(55,56%)	9/(50%)	9/(50%)	18	

Hábitos Transporte Aéreo	Vuelos	De 8 a 10 km	21/(67,74 %)	10/(32,2 6%)	9/(29,03 %)	22/(70,9 7%)	31
		De 0 a 3 viajes	142/(82,5 6%)	30/(17,4 4%)	90/(52,3 3%)	82/(47,6 7%)	172
	Nacionales	De 4 a 7 viajes	9/(56,25 %)	7/(43,75 %)	8/(50%)	8/(50%)	16
		De 8 a 10 viajes	13/(100%)	0/(0%)	2/(15,38 %)	11/(84,6 2%)	13
	Vuelos	De 0 a 3 viajes	159/(81,1 %)	37/(18,9 %)	97/(49,4 9%)	99/(50,5 1%)	196
		De 4 a 7 viajes	4/(100%)	0/(0%)	3/(75%)	1/(25%)	4
	Internacionales	De 8 a 10 viajes	1/(100%)	0/(0%)	0/(0%)	1/(100%)	1

Al observar el consumo energético se tiene que Neiva manifiesta su consumo eléctrico y de gas domiciliario que tiende a la alza (Mora-Pérez et al., 2019); dentro de los factores que influyen en el consumo de estos se encuentra, el clima que provoca el uso de sistemas de enfriamiento o ventiladores, la urbanización generando la presencia de nuevos hogares, la preparación de alimentos y refrigeración, y el uso de dispositivos móviles; por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero se relacionan también con la facilidad económica que permite una condición de vida personal y familiar con ciertos gustos y comodidades. (Cruz Islas, 2016).

Anova

Se realiza un análisis de varianza para determinar si existe o no relación estadística de cada una de las variables planteadas en el estudio (Terrádez & Juan, 2003) con la huella de carbono calculada total. Se relacionan las variables que presentan valores de probabilidad menores a 0,05 ($p < 0,05$) tales como los vuelos nacionales, consumo de gas y energía domiciliario, uso de motocicleta, uso de taxi, y el uso de automóvil; indicando que sí existe efecto sobre el objeto de estudio y por lo tanto una relación significativa (Molina Arias, 2017). Estudios como el de transformación primaria de la madera en El Salto (Meza-López, Trujillo-Delgado, Burciaga-Álvarez, de la Cruz-Carrera, & Nájera-Luna, 2021), también se utiliza el mismo análisis estadístico para encontrar las variables que se relacionan con el generación de gases invernadero.

Por otro lado, el género, número de habitantes en la residencia, uso de la bicicleta, el mototaxi, el uso del autobús y los vuelos internacionales no presentaron relación estadística significativa con la huella de carbono total calculada, ya que su valor de probabilidad es mayor al 5%, por lo tanto, no se puede asegurar que los resultados obtenidos con estas variables son acción de la casualidad (Molina Arias, 2017).

Prueba Chi Cuadrada

Luego se procede a verificar la existencia o no de la independencia entre las variables (Morán Olguín, 2003) y la huella de carbono calculada total. Es decir, para determinar la existencia de una relación, y por lo tanto conocer si la huella de carbono depende de cada una de las variables.

Para este análisis se utiliza la media y la desviación estándar para establecer niveles de bajo, medio y alto de emisiones de gases efecto invernadero. De esta manera se tiene que el nivel alto corresponde a emisiones mayores de 1,56 tCO₂e y bajo a los valores menores de 0,32 tCO₂e.

Los valores de p menores o iguales al nivel de significancia ($p < 0,05$) se relacionan en la tabla 12 y tabla 13, encontrando así una relación entre el nivel académico, estrato social, edad, transporte en motocicleta, auto particular y vuelos nacionales con las emisiones de gases efecto invernadero.

Relación de probabilidad

Por último, se establece una relación de probabilidad entre las variables estadísticamente significativa y así saber cuántas veces es más probable que se produzca una emisión alta de gases efecto invernadero ($\geq 1,56$ tCO₂e persona) entre el nivel A y nivel B (Schiaffino et al., 2003). Con este estudio se busca conocer que variables afectan en mayor proporción a la generación de niveles altos de gases efecto invernadero en la ciudad.

Se estableció en la tabla 4 las relaciones de probabilidad de las características sociodemográficas; y dentro de las más significativas se tiene que: es 1,93 veces más probable que un ciudadano de estrato tres produzca emisiones altas de CO₂ que un ciudadano de estrato dos.

Tabla 4 Relación de probabilidad de de las características sociodemográficas

Nivel A	Nivel B	Relación de probabilidades	IC de 95%
Estrato			
Uno	Cuatro	0,0615	(0,0062; 0,6064)
Tres	Dos	1,9348	(0,8293; 4,5138)
Genero			
M	F		(0,9644; 4,6774)
Nivel educacion			
Especialista	Bachiller	4,9697	(0,9657; 25,5741)
Maestria	Bachiller	10,25	(2,3890; 43,9779)
Profesional	Bachiller	3,254	(0,8864; 11,9455)
Maestria	Especialista	2,0625	(0,4916; 8,6537)
Edad			
48 - 57 años	< 18 años	3,3333	(0,5314; 20,9107)
28 - 37 años	18 - 27 años	2,9	(1,1057; 7,6064)
38 - 47 años	18 - 27 años	2,5588	(0,6919; 9,4638)
48 - 57 años	18 - 27 años	7,25	(2,0534; 25,5979)
48 - 57 años	38 - 47 años	2,8333	(0,6315; 12,7125)
Habitantes			
Uno	Cinco	1,65	(0,3187; 8,5423)
Dos	Cuatro	2,1364	(0,6937; 6,5793)
Uno	Cuatro	2,9375	(0,6077; 14,1994)
Uno	Tres	2,9375	(0,6077; 14,1994)

Es 4,96 veces más probable que una persona que ostenta el título académico de especialista emita concentraciones altas de CO₂ que un bachiller, y que las personas de 48 a 57 años son 7,25 veces más propensas a generar estos mismos niveles de gases efecto invernadero que un joven de 18 a 27 años.

Tabla 5. Relación de probabilidad de de los hábitos de consumo energético

Nivel a	Nivel b	Relación de probabilidades	Ic de 95%
Consumo de gas			
de 50.000 a 90.000	De 0 a 15000	4,6607	(0,9412; 23,0803)
de 50.000 a 90.000	De 15.000 a 30.000	4,4318	(0,8704; 22,5659)
de 50.000 a 90.000	De 30.000 a 45.000	3,25	(0,4607; 22,9273)
Consumo de electricidad			
de 100.000 a 200.000	De 0 a 20.000	16	(2,7611; 92,7158)
de 40.000 a 60.000	De 0 a 20.000	2,7097	(0,5051; 14,5375)
de 70.000 a 90.000	De 0 a 20.000	3,6129	(0,7068; 18,4687)
de 40.000 a 60.000	De 20.000 a 40.000	2,7097	(0,7687; 9,5517)
de 70.000 a 90.000	De 20.000 a 40.000	3,6129	(1,0940; 11,9316)

Se desarrolla de igual manera las relaciones de probabilidad teniendo en cuenta los hábitos de consumo energético (ver tabla 5), y hábitos de transporte urbano (ver tabla 6), encontrándose que es 4,6 veces mas probable que se produzcan emisiones altas de CO₂ una persona que consuma de 50.000 a 90.0000 pesos mensuales de gas natural que una persona que solo consume de De 15.000 a 30.000.

De igual manera se observa por ejemplo que, es 17,7 veces mas probable que una persona que se transporta en taxi de de 8 a 10 km tenga emisiones altas de CO₂ que una persona que se transporta de de 0 a 3 km.

Tabla 6 .Relación de Probabilidad de los hábitos de transporte urbano

Nivel a	Nivel b	Relación de probabilidad	Ic de 95%
Recorrido moto			
de 4 a 7 km	De 0 a 3 km	1,4394	(0,4067; 5,0942)
de 8 a 10 km	De 0 a 3 km	5,7927	(2,3599; 14,2191)
de 8 a 10 km	De 4 a 7 km	4,0244	(1,2524; 12,9313)
Recorrido de taxi			
de 4 a 7 km	De 0 a 3 km	1,4815	(0,2984; 7,3543)
de 8 a 10 km	De 0 a 3 km	17,7778	(1,7831; 177,2503)
de 8 a 10 km	De 4 a 7 km	12	(0,7727; 186,3613)
Recorrido bicicleta			
de 4 a 7 km	De 0 a 3 km	0,713	(0,0857; 5,9317)
de 8 a 10 km	De 0 a 3 km	3,2593	(0,8929; 11,8965)
de 8 a 10 km	De 4 a 7 km	4,5714	(0,4087; 51,1358)
Recorrido autobus			
de 4 a 7 km	De 0 a 3 km	0	(0,0000; 1,34387e+278)
de 8 a 10 km	De 0 a 3 km	1,1964	(0,3717; 3,8506)
Recorrido mototaxi			
de 4 a 7 km	De 0 a 3 km	0	(0,0000; 4,45357e+82)
de 8 a 10 km	De 0 a 3 km	0	(0,0000; 4,55533e+271)
de 8 a 10 km	De 4 a 7 km	1	(0,0000; 8,20712e+289)
Recorrido auto particular			
de 4 a 7 km	De 0 a 3 km	10,5714	(2,3817; 46,9216)
de 8 a 10 km	De 0 a 3 km	126,8571	(34,5043; 466,3983)
de 8 a 10 km	De 4 a 7 km	12	(2,9766; 48,3775)

Se destaca que el desplazamiento por medio de un auto particular muestra las relaciones de probabilidad mas altas respecto a otros medios de transportes, siendo este un indicio de que se esta generando una alta tasa de emisiones de gases efecto invernadero con este medio de transporte.

Conclusiones

La huella de carbono para la ciudad de Neiva en el sector residencial en el año 2019 es de 188,76 Toneladas de CO₂ equivalente en una muestra de 201 habitantes, lo que representa una media de emisión anual de 0,94 Toneladas de CO₂ e por habitante. Los niveles alto de huella de carbono para la ciudad de Neiva en el año 2019 corresponde a emisiones mayores a 1,56 tCO₂e persona y el nivel bajo corresponde a los valores menores a 0,32 tCO₂e persona.

El aporte más significativo a las emisiones de CO₂ e generadas en la ciudad de Neiva en el año 2019 lo realiza el uso de transporte (auto/motocicleta/bus/taxi) con 137,14 tCO₂ e al año representando el 72,6 % de todas las emisiones generadas.

La muestra estadística representativa para realizar el cálculo de la huella de carbono para el sector doméstico en la ciudad de Neiva-Colombia son 196 habitantes con un nivel de error de 7%, un nivel de confianza de 95% y 348.964 como la población total encontrándose que: variables como la edad, estrato socioeconómico, nivel académico, consumo de gas y energía eléctrica domiciliario, el uso de algunos medios de transporte como la motocicleta, automóvil particular y taxi, y los vuelos nacionales tienen relación estadísticamente significativa con los niveles de CO₂e per que se producen en el sector residencial de Neiva.

VARIABLES como el género, número de habitantes en la residencia, uso de la bicicleta, el uso de moto taxi, el uso del autobús y los vuelos internacionales no presentaron relación estadística significativa con la huella de carbono total calculada en el sector residencial de la ciudad, mientras que los niveles de CO₂e per que se producen en el sector residencial de Neiva tiene una dependencia directa con variables como la edad, estrato socioeconómico, nivel académico, uso de la motocicleta, uso de automóvil particular, y los vuelos nacionales que se realizan al año.

Se resalta que la población mayor a 48 años, la perteneciente a estrato sociales altos y el género masculino está más propenso a generar emisiones mayores a 1,02 tCO₂ e por persona,

Se sugiere que al ser este un proyecto piloto en la región, que ofrece una visión en tiempo real de las emisiones de CO₂e a través de un procedimiento accesible a la comunidad; las instituciones gubernamentales y educativas impulsen una investigación con una mayor muestra estadística representativa y con una difusión más amplia de la herramienta tanto para usuarios como para replicadores, esto en un campo específico como procesos industriales, o poblaciones más pequeñas como una organización.

Por último, la creación de equipos interdisciplinarios que monitoreen durante periodos de tiempo específicos, el generar una amplia gama de factores de conversión y protocolos de cálculo propios para la región, son iniciativas que mejorarían el trabajo realizado; de manera reflexiva se busca mejoras en el comportamiento social respecto a las acciones que mitiguen la generación de CO₂e.

Referencias Bibliográficas

- Agudelo-Castaneda, D., Velasquez, M., Maturana, A., & Castillo, M. (2019). *Estimation of the carbon footprint from stationary industrial sources in the City of Barranquilla*. Paper presented at the Conference Proceedings - Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Publica, CASAP 2019.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338.
- Alvarez-Miño, L., Taboada-Montoya, R., Trujillo-Montes, A. C., & Salazar-Ceballos, A. (2016). Huella de carbono en Santa Marta, Colombia: Análisis desde el enfoque de los determinantes sociales de la salud-2014. *Universidad y Salud*, 18(2), 325-337.
- Aristizábal Alzate, C. E., González Manosalva, J. L., & Gutiérrez Cano, J. C. (2020). Life cycle assessment and carbon footprint calculus for a pet bottles recycling process at medellin (ant). *Produccion y Limpia*, 15(1), 7-24. doi: 10.22507/PML.V15N1A1
- Bambarén-Alatrística, C., & Alatrística-Gutiérrez, M. S. (2016). Carbon footprint in five third-level health care centers in Peru, 2013. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 33(2), 274-277. doi: 10.17843/rpmpesp.2016.332.2141

- Betancourt, E. W. (2012). Impacto de la huella de carbono en la competitividad exportadora regional. *Revista Universitaria Ruta*(13), 9-29.
- Cruz Islas, I. C. (2016). Emisiones de CO2 en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios demográficos y urbanos*, 31(1), 115-142.
- Emissions, W. Emisiones de CO2 (kt) - World, Colombia | Data.
- Estadística.DANE, R. d. C. D. A. N. d. (2017). Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal por sexo, grupos quinquenales de edad y edades simples de 0 a 26 años 1985-2020.
- Fernández, P. J. C. A. P. (1996). Determinación del tamaño muestral. 3, 138-141.
- Fombona Cadavieco, J., Sevillano, P., Ángeles, M., & Madeira Ferreira Amador, M. F. (2012). Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles.
- Fong, W. K., Sotos, M., Michael Doust, M., Schultz, S., Marques, A., & Deng-Beck, C. (2015). Global protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories (GPC). *World Resources Institute: New York, NY, USA*.
- Gómez España, M. C., & Torres Correcha, K. L. Análisis de la percepción de los ciudadanos sobre la atención y servicio recibido por los servidores públicos de la Alcaldía del Municipio de Neiva–Huila en el Año 2017 María.
- Ideam, P., MADS, C., & DNP, F. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero–Colombia. *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá DC*.
- Meza-López, P., Trujillo-Delgado, M. K., Burciaga-Álvarez, A. U., de la Cruz-Carrera, R., & Nájera-Luna, J. A. (2021). Carbon footprint estimate in the primary wood processing industry in El Salto, Durango. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(1), 127-142. doi: 10.5154/R.RCHSCFA.2019.07.060
- Molina Arias, M. (2017). ¿ Qué significa realmente el valor de p? *Pediatría Atención Primaria*, 19(76), 377-381.
- MONDÉJAR NAVARRO, M. V., Viñoles-Cebolla, R., Bastante-Ceca, M. J., Collado-Ruiz, D., & Capuz-Rizo, S. (2011). *La huella de carbono y su utilización en las instituciones universitarias*. Paper presented at the Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universitat Politècnica de València. Huesca: XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Mora-Pérez, D. A., Campos-Martínez, Á. A., Molano-Pérez, A., Ramírez-Hernández, Á. A., Rojas-Rojas, G., Jaramillo-Mosquera, J. Y., Quintero-Carvajal, P. E. (2019). Boletín Económico Regional: Centro, I trimestre de 2019. *Boletín Económico Regional. Centro; I trimestre de 2019*.
- Morán Olguín, S. (2003). Uso de Minitab Statistica y Excel para contrastar hipótesis estadísticas paramétricas.
- Parada, M. B. (2001). *Educación y pobreza: una relación conflictiva: clacso*.
- Pardo Buendía, M. (2007). El impacto social del cambio climático.
- Palma Cardoso, E., Caycedo Riaño, M., Guzmán, R. A., Varón Giraldo, O., & Ruíz Conde, S. (2019). Estrategias de mejoramiento a partir de la responsabilidad social y ambiental en los procesos de producción en la agroindustria arroceras del sur oriente del Tolima. *Aglala*, 10(2), 38-59. <http://revistas.curnvirtual.edu.co/index.php/aglala/article/view/1431>
- Quesada, J. L. D., & y Certificación, A. E. d. N. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible: Asociación Española de Normalización y Certificación-AENOR*.
- Räty, R., & Carlsson-Kanyama, A. (2010). Energy consumption by gender in some European countries. *Energy Policy*, 38(1), 646-649.

- Remuzgo, L., & Sarabia, J. M. (2020). Inequality of global distribution of CO2 emissions by sector: Decomposition and sensitivity study. *Estudios de Economía Aplicada*, 31(1), 65-92. doi: 10.25115/EEA.V31I1.3261
- RÍOS GARRIDO, I. (2020). ESTUDIO DE LAS MEDIDAS DESTINADAS A DISMINIR LA HUELLA DE CARBONO GENERADA POR AVIONES AIRBUS A320NEO Y BOEING 787DREAMLINER.
- Schiaffino, A., Rodríguez, M., Pasarín, M., Regidor, E., Borrell, C., & Fernández, E. (2003). ¿ Odds ratio o razón de proporciones? Su utilización en estudios transversales. *Gaceta Sanitaria*, 17, 70-74.
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. *Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas*.
- Terrádez, M., & Juan, A. A. (2003). Análisis de la varianza (ANOVA). *línea*. Disponible en: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/ANOVA.pdf>. [Último acceso: 07 08 2014].
- Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12.
- Valdivieso, C., Valdivieso, O., & Valdivieso, R. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión: Universidad Privada Boliviana.