

Medición de la huella de carbono en la ESPAM-MFL: un enfoque hacia la sostenibilidad universitaria

Easuring the carbon footprint at ESPAM-MFL: an approach towards university sustainability

Edis Ariel Cobeña Zambrano¹, Carmen Gissella Vera Cevallos¹,
Holanda Teresa Vivas Saltos¹

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador

Recibido febrero 2026, aceptado mayo 2026, en línea 18 junio 2026.

Resumen

Las universidades asumen un rol protagónico en la transición hacia una sociedad descarbonizada, desempeñando una función esencial en la cuantificación de Gases de Efecto Invernadero. Bajo este escenario, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la huella de carbono generada por las actividades de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Para ello, se aplicó la metodología establecida por la NORMA ISO 14064-1:2020 considerando tres alcances tras la identificación exhaustiva de las fuentes de emisión. Los resultados determinaron que la huella de carbono de la ESPAM MFL durante el año 2024 ascendió a 1 631,05 Ton de CO₂ eq/año, donde el alcance uno se consolidó como el mayor contribuyente con el 53,28% del total. En conclusión, la determinación de la huella de carbono permite encaminar a la institución hacia un modelo de emisiones netas cero y desarrollo sostenible.

Palabras clave: Alcance, emisiones, gases de efecto invernadero.

Abstract

Universities are assuming a leading role in the transition to a decarbonized society, playing an essential function in quantifying greenhouse gas emissions. In this context, this research aimed to evaluate the carbon footprint generated by the activities of the Manuel Félix López Higher Polytechnic Agricultural School of Manabí (ESPAM MFL). To this end, the methodology established by ISO 14064-1:2020 was applied, considering three scopes after the exhaustive identification of emission sources. The results determined that ESPAM MFL's carbon footprint in 2024 amounted to 1,631.05 tons of CO₂ equivalent per year, with scope one being the largest contributor at 53.28% of the total. In conclusion, determining the carbon footprint allows the institution to move towards a net-zero emissions model and sustainable development.

Keywords: Scope, emissions, greenhouse gases.

Introducción

En los últimos tiempos, el planeta se ha enfrentado a un desafío sin precedentes: el cambio climático (Bekun, 2024), resultantes de las progresivas emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) derivados principalmente de las acciones antropogénicas (Raihan, 2023; Umar y Safi, 2023); lo que ha limitado el avance hacia la sostenibilidad global (Xie et al., 2021). Yáñez et al. (2020) manifiestan que estas emisiones pueden generarse por diversas acciones antropogénicas, como procesos industriales y productivos hasta actividades universitarias.

Según datos del sexto informe de evaluación del

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC] (2023), se han estimado que las emisiones antropogénicas de GEI han aportado aproximadamente a 1,1°C al aumento de la temperatura media global. A nivel mundial, el sector energético acapara el 77,01% de las emisiones de GEI, seguido por la producción agrícola que aporta un 10,55%. Por su parte, las actividades industriales representan el 9,10% y el manejo de desechos supone el 3,32% (Parlamento Europeo, 2023). Xiaoman et al. (2021) afirman que el dióxido de carbono (CO₂) presenta la causa primordial del calentamiento global; con un total de 36,3 gigatoneladas reportadas en el 2021 (Huang et al., 2023). En este escenario, China es el mayor contribuyente, debido a que, en este mismo año el

* Correspondencia del autor:

E-mail: edis.cobena@esпам.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

país emitió una cifra de 11 900 millones de toneladas de CO₂, mientras que, América Latina liberó tres billones de toneladas (Banco Mundial, 2021).

A raíz de esto, la progresiva urgencia de afrontar la crisis climática a nivel mundial ha despertado una preocupación por la preservación del entorno y la reducción de la huella de carbono (Alarcón et al., 2024). Con el Acuerdo de París y la Agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en el 2015, la comunidad global comprendió la magnitud de la gravedad y severidad de los problemas vinculados con el incremento térmico planetario y el progreso sostenible (Ali y Ahmad, 2021; Li et al., 2023), por esta razón, varios países han comenzado a tratar medidas respecto a la disminución de las emisiones de carbono (Shi y Yihn, 2021; Yaro et al., 2023).

Desde esta perspectiva, la huella de carbono se establece como un indicador fundamental para contabilizar con precisión las emisiones GEI en términos de equivalentes de CO₂eq atribuibles a las operaciones directas e indirectas del ser humano (Zhong et al., 2019; Chen et al., 2021; Mellano y Carrasco, 2021). Además de que, presenta varios beneficios como el suministro de información verídica sobre las emisiones de gases contaminantes y principales fuentes de emisión (Torres, 2023). Por ello, diversas organizaciones a nivel internacional han optado por contabilizar sus emisiones a través del indicador de huella de carbono (Hinostroza, 2019; Guillén, 2023).

Un tipo de institución que prioriza el desarrollo sostenible son las entidades académicas a de nivel superior, dado a su papel social y educativo en la formación de futuros líderes (Aghamolaei y Fallahpour, 2023). Se estima que hacia el 2020, operaba una cifra de 20 000 universidades acreditadas a nivel mundial, mientras que la población estudiantil de estos centros han crecido de manera exponencial desde el año 2000, tanto que durante el 2025 se ha estimado que existen 262 millones de estudiantes a nivel global (Bautista et al., 2023). No obstante, los planteles universitarios también son responsables de las emisiones de GEI, derivadas de la movilidad y transporte de los alumnos y docentes, la demanda energética, manejo de desechos y, demás variables institucionales (Varón et al., 2021).

Las comparaciones entre los estudios sobre huella de carbono en universidades resultan complicadas, debido a la diversidad entre las universidades, que se manifiesta tanto en la magnitud de su población como en los focos de emisión, lo que exige la adopción de metodologías de huella de carbono adaptados a cada realidad institucional (Valls y Bovea, 2021). Sin embargo, Cano et al. (2023) señalan que las emisiones per cápita de algunas IES a nivel mundial, registran valores que oscilan entre 0,069 Ton/CO₂ eq/persona hasta 10, 9 Ton/CO₂ eq/persona, con un promedio de emisiones de 2,28 Ton/CO₂ eq/persona, siendo las mayores fuentes de emisión de GEI el transporte,

la demanda energética y las aguas residuales. En el caso de Ecuador, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2020) indicó que el país emite 1,9 toneladas métricas de CO₂ per cápita, cifra que equivale al 0,1% del inventario mundial de GEI.

En la actualidad las universidades de Ecuador contabilizan sus emisiones gaseosas mediante el estándar de la huella de carbono, un ejemplo claro, es la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), institución que lleva más de una década auditando sus emisiones de GEI (Paspuezan y Mozo, 2023).

En el año 2015, los estudiantes de la USFQ generaron un total de 0,68 Ton/CO₂, mientras que, el personal docente y administrativo contribuyó con 0,84 Ton/ CO₂ derivadas de actividades como el consumo eléctrico y de combustibles, transporte, entre otras. Esta medición se efectuó como una medida de mitigación para reducir los GEI dentro de la universidad (Salazar et al., 2019).

En este sentido, las universidades se erigen como actores estratégicos para impulsar la transición de la nación hacia una economía descarbonizada (Muentes et al., 2023; Criollo et al., 2023).

Alcaraz y Alonso (2019) declaran que estos centros de nivel superior deben liderar el camino hacia un futuro sostenible integrando plenamente los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) de manera integral y sistémica, incorporando la Agenda 2030 en el núcleo de sus estrategias y políticas, dado a que, las instituciones poseen una capacidad catalizadora en la transformación social. En consecuencia, las universidades ejercen un liderazgo estratégico al auditar su impacto atmosférico, empleando la metodología de la huella de carbono como eje de su gestión ambiental (Zorrilla, 2023).

En este escenario, la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM - MFL, asume un rol determinante en la transición hacia un modelo sustentable dentro de la provincia de Manabí. En consecuencia, la investigación tiene como propósito evaluar la huella de carbono derivada de sus procesos operativos de la ESPAM MFL para la implementación de medidas correctivas que reduzcan la huella institucional y promuevan una cultura de preservación del entorno.

Materiales y Método

El estudio se efectuó en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM MFL, localizada en el sitio El Limón de la ciudad de Calceta, provincia de Manabí; emplazaga geográficamente bajo las coordenadas de: 0° 49'35,25" S, 80° 11'10,54" O y altitud 15 msnm (figura 1). La institución pertenece al sector público, cuenta con 230 Ha y posee 17 unidades entre las que destacan unidades de docencia, investigación y vinculación (UDIV).

Delimitación de los límites

Límite temporal

El período seleccionado para la determinación de las emisiones de GEI corresponde al año 2024, por tanto, el levantamiento de los datos de actividad y el registro de los consumos vinculados a la gestión de la ESPAM MFL se realizó durante el año establecido (Pazpuezan y Mozo, 2023; Zabaleta, 2021).

Límite organizacional

Se consideraron todas las áreas y unidades académicas de la ESPAM MFL, según la estructura organizacional de la institución (Padrón, 2023; Sánchez, 2023). Se realizó la selección de las áreas, considerando la disponibilidad de registros, la integridad de la información y la relevancia de cada fuente de emisión (Pérez et al., 2022), entre las cuales destacan: Unidades académicas, oficinas administrativas, salas de docentes, aulas de clases, auditorios, biblioteca, UDIV, áreas verdes, bares de comida.

Límite operacional

Según la Norma ISO 14064-1:2020, el estudio se efectuó considerando el enfoque del Control Operacional considerando tres alcances (Traub, 2023; Arvildo, 2021).

Alcance 1: Emisiones directas de GEI.

- Consumo de gas natural.
- Emisiones fugitivas de HFC (uso de equipos de refrigeración y aire acondicionado).

- Emisiones de la quema de combustibles fósiles de los vehículos.

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI.

- Consumo de energía eléctrica.

Alcance 3: Otras misiones indirectas.

- Movilidad de docentes, alumnos y personal de la universidad.
- Generación de líquidos.

Con base al límite operacional se identificaron los gases de efecto invernadero según los inventarios nacionales de GEI del Protocolo de Kioto. Según los criterios de la Norma ISO 14064-1, se incorporaron los siguientes gases: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Óxido Nitroso (N₂O).

Identificación de las fuentes de emisión de GEI

La identificación y catalogación de las diferentes fuentes de emisión de GEI se realizó a través de visitas de campo a la ESPAM MFL. Siguiendo la metodología de Aponte (2017) y Flores (2022), estas se categorizaron en combustión fija, móvil, de proceso y fugitivas. Asimismo, se contemplaron los aspectos para determinar las categorías de emisión directas e indirectas en las instalaciones evaluadas (Chavarría et al., 2015), tales como: energía eléctrica, combustible fósil, generación de residuos, aguas residuales, ganado bovino, ganado porcino y fertilizantes.

Para obtener datos precisos de las fuentes de emisión, se aplicó una entrevista a las autoridades

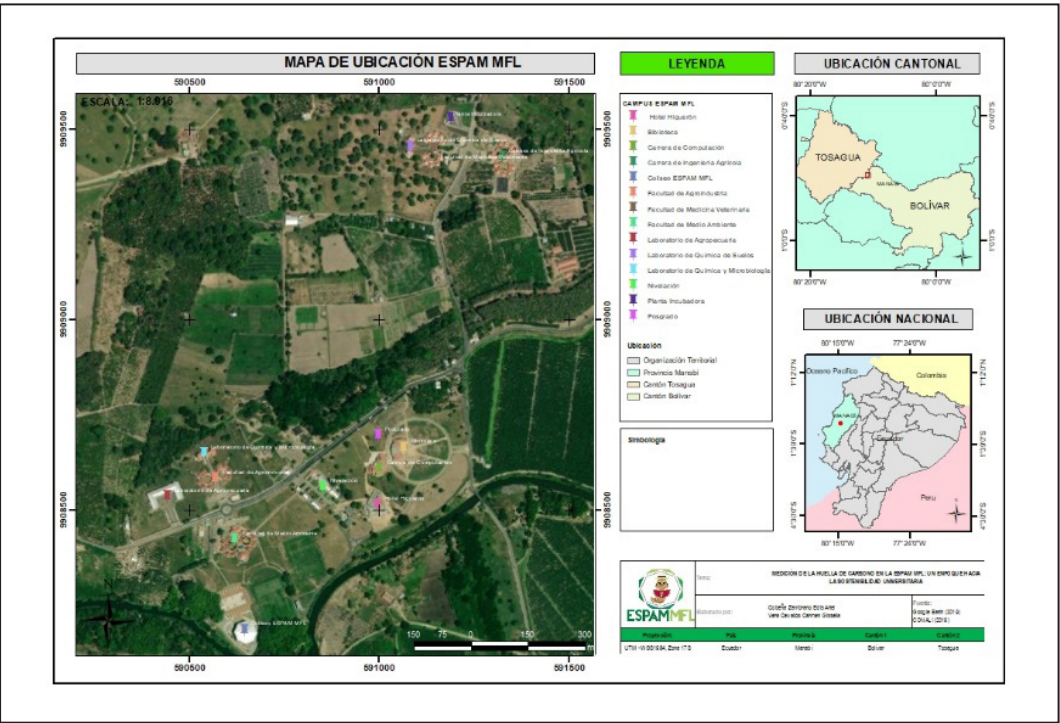


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

competentes para conocer el consumo energético y de combustible, cantidad de transporte, fertilizantes, gases refrigerantes y aguas residuales generados durante el año 2024 en la ESPAM MFL en cada una de las unidades académicas (Carrillo y Rivera, 2020; Zorrilla, 2023). Una vez establecido el enfoque del inventario, se determinó el área funcional de la universidad, las fuentes de emisión y el alcance correspondiente a cada elemento (Aponte, 2017; Banguera, 2021).

Cálculo de la Huella de Carbono

El cálculo de Huella de Carbono se realizó bajo las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de inventarios nacionales (Ferrer et al., 2021; Pérez et al., 2022). Tomando como base los datos primarios de forma directa de las actividades de la ESPAM MFL y con base a los lineamientos del GHG Protocol se efectuó el cálculo de la huella de carbono, aplicando la ecuación 1 (Aguilar, 2024; Guerrero y García, 2023).

$$Emisión\ de\ GEI = \sum (DA \times FE) \quad [Ec.1]$$

Dónde:

DA = Dato de actividad
FE = Factor de emisión

Emisiones de consumo de energía eléctrica
Las emisiones de consumo de energía eléctrica se calcularon con la ecuación 2 (IPCC, 2021)

$$CO_{2eq\ consumo\ de\ energia\ electrica} = \sum (Consumo\ de\ energia \times FE) [Ec.2]$$

Dónde

Consumo de energía = expresada en MWh

Emisiones de combustible fósil

Las emisiones de combustible fósil se calcularon con la ecuación 3 (IPCC, 2021).

$$CO_{2eq\ combustible} = \sum (Combustible \times FE) [Ec.3]$$

Combustible = expresada en Kg

Emisiones por refrigerantes en equipos de aire acondicionado

Las emisiones por refrigerantes en equipos de aire acondicionado se calcularon con la ecuación 4 (IPCC, 2021).

$$CO_{2eq\ equipos\ de\ aire\ acondicionado} = \sum (Refrigerante\ (ton) \times PCG\ del\ refrigerante) [Ec.4]$$

Dónde:

Refrigerante = Cantidad de peso recargado en aire refrigerante (tn).

PCG = para cada gas según su composición.

Emisiones producidas por animales

Las emisiones producidas por animales se calcularon con la ecuación 5 (IPCC, 2021).

$$CH_4\ Estiercol = \sum \frac{(EF_{(T)} \times N_{(T)})}{10} [Ec.5]$$

Dónde:

CH₄ Estiercol = emisiones de CH₄.

EF_(T) = factor de emisión para la población de ganado definida kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T) = cantidad de cabezas ganado T del país.

T = especie/ categoría de ganado.

Emisiones a causa de los fertilizantes

Las emisiones a causa de los fertilizantes se calcularon con la ecuación 6 (IPCC, 2021).

$$Emisiones\ N_2O = \sum (Consumo\ N \times FE) [Ec.6]$$

Emisiones N₂O = Emisiones expresadas en t.

Consumo N = consumo de nitrógeno (Kg/año).

Posteriormente, se calcularon las emisiones totales de GEI expresadas en Tn de CO₂ eq con su correspondiente potencial de calentamiento global (IPCC) de GEI (ecuación 7).

$$CO_{2eq} = \sum (emision_{GEI} \times PCG) [Ec.7]$$

$$CO_{2eq} = CO_2 \times 1 + CH_4 \times 21 + N_2O \times 310 [Ec.8]$$

Dónde:

Emision_{GEI} = Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O expresado en T

PCG = Potencial de Calentamiento Global de GEI.

Los valores del Potencial de Calentamiento Global se exponen en la tabla 1.

Resultados y Discusión

Se identificaron las principales fuentes de emisión (tabla 2), organizadas según los tres alcances establecidos por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol): alcance 1 (emisiones directas), alcance 2 (emisiones indirectas por consumo de electricidad) y alcance 3 (otras emisiones indirectas). Además, se detallan los tipos de GEI identificados, siendo los más relevantes el CO₂, el CH₄ y el N₂O, mismos que fueron generados por diversas actividades institucionales, tales como el consumo de combustibles fósiles, el uso de energía eléctrica, la generación de residuos y el transporte.

Respecto a las emisiones directas (alcance 1), se identificaron diversas fuentes generadoras de GEI dentro de las actividades propias de la ESPAM MFL. Estas se originan de procesos que ocurren dentro de los límites operacionales de la institución y que están bajo su control directo. En la tabla 3, se desglosan las principales fuentes de emisión asociadas a este

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global de GEI

Gas de efecto invernadero	Fórmula	Potencial de calentamiento IPCC
Dióxido de carbono	CO2	1
Metano	CH4	27,9
Óxido nitroso	N2O	273

Tabla 2. Identificación de fuentes de emisión de GEI

Alcances	Fuentes de emisión	Área / Unidad	GEI emitido
Alcance 1	Aire acondicionado (refrigerante fugado)		CO2
	Movilidad institucional (consumo combustible de instalaciones o maquinaria)	Unidades académicas	CO2 - CH4 - N2O
	Aplicación de fertilizantes nitrogenados	Áreas de cultivo	CO2 - N2O
	Crianza de animales	Hato porcino y bovino	CH4
	Consumo de GLP	Bares de comida	CO2 - CH4 - N2O
Alcance 2	Consumo eléctrico	Unidades académicas	CO2
Alcance 3	Transporte laboral hacia el campus (docentes, estudiantes, etc.)	Unidades académicas	CO2 - CH4 - N2O
	Generación de residuos	Aguas residuales	CH4

alcance.

Entre las fuentes más representativas descritas en la tabla 3, destaca el uso de sistemas de aire acondicionado en las unidades académicas, que generaron 121,86 Ton de CO2 eq/año, debido a fugas de refrigerante. En el campus universitario del Noreste de México, se determinó una huella de carbono procedente del aire acondicionado de 141 Ton de CO2 eq/año (Ríos et al., 2023). Este valor se asemeja significativamente al resultado obtenido en el presente estudio, reforzando la tendencia de que la climatización es un foco clave de las emisiones.

La movilidad institucional relacionada al consumo de combustible (gasolina) de instalaciones y/ maquinaria dentro del campus politécnico generó emisiones de 78,21 kg de CO2 /TJ, además de cantidades mínimas de 0,028 kg de CH4/TJ y 0,009 kg de N2O/TJ. Esto equivale a una huella de carbono total de 81,46 Ton de CO2 eq/año. Respecto a la movilidad laboral, el consumo de diésel generó emisiones de 378,84 kg de CO2/TJ; 0,02 kg de CH4/TJ y 0,020 kg de N2O/TJ. El valor total de estas emisiones fue de 384,84 Ton de CO2 eq/año. En la localidad de San Juan de Lurigancho, las emisiones de GEI por el consumo de diésel y gasolina fueron de 63,48 Ton de CO2 eq/año y 10,66 Ton de CO2 eq/año, respectivamente (Lamas, 2024).

Se observa que, ambos registros se sitúan por debajo de los obtenidos en el presente estudio, lo que manifiesta una mayor intensidad de emisiones en la movilidad analizada en el campus politécnico. Según Zabala et al. (2023) el diésel genera mayor aporte de

CO2 que la gasolina, debido a que, durante el proceso de combustión, la estructura química del diésel produce mayor liberación de carbono, a diferencia de la gasolina, que origina una cantidad menor del gas. En cuanto a la aplicación de fertilizantes nitrogenados en las áreas de cultivos se produjo 0,02 kg de N2O, equivalente a 5,46 Ton de CO2 eq/año.

En las instalaciones del campus de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidad de Sao Paulo ESALQ - USP, los insumos utilizados generaron 81,72 Ton de CO2 equivalente (Campos, 2020), siendo un valor superior al obtenido en la ESPAM MFL. Qin et al. (2020) indican que la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenado en tierras de cultivos conlleva a una retención sustancial de nitrógeno en el suelo.

En el sector ganadero, el hato porcino generó emisiones de 1,10 kg de CH4, valoradas en 30,63 Ton de CO2 eq/año, mientras que, el hato bovino emitió 7,28 kg de CH4, correspondiente a un total de 203,11 Ton de CO2 eq/año. El CH4 es el gas con mayor impacto en el inventario de GEI del sector ganadero; el ganado vacuno constituye la fuente más significativa en la emisión de GEI a nivel mundial (Evangelista et al., 2024; Frascarelli et al., 2025).

El consumo de gas licuado de petróleo (GLP) en los bares de comida generó cantidades mínimas de emisiones: 41,50 kg de CO2, 0,00037 kg de CH4 y 0,0001 kg de N2O, esto como resultado del uso de cilindros, equivalente a un total de 41,63 Ton de CO2 eq/año. El GLP en bares de comida de la Universidad San Francisco de Quito presentó un valor de 61,24 kg

Tabla 3. Alcance 1 - Emisiones directas

ALCANCE 1								
Área	Emisiones directas	Dato de Actividad	Unidades de inventario	Factor de emisión según el IPCC		Kg gas	Ton de gas (ton/año)	Ton. CO2 eq. Año
Unidades académicas	Aire acondicionado (refrigerante fugado)	108,80	kg de refrigerante liberado / año	1 120	Kg CO2/kg	121 856,00	121,86	121,86
	Movilidad institucional (consumo de instalaciones o maquinaria)	1 129	TJ de gasolina/año	69 300,00	Kg CO2/TJ	78 208,76	78,21	81,46
				25,00	Kg CH4/TJ	28,21	0,028214	
				8,00	Kg N2O/TJ	9,03	0,009028	
	Actividades laborales (consumo de diésel y de instalaciones y maquinaria)	5 112	TJ de diésel / año	74 100,00	Kg CO2/TJ	378 835,46	378,84	384,84
				3,90	Kg CH4/TJ	19,92	0,02	
				3,90	Kg N2O/TJ	19,94	0,020	
	Áreas de cultivo	2 000,00	kg fertilizante (urea, NPK, etc) / año	0,01	kg N2O/kg	20,00	0,02	5,46
	Hato porcino	61	número de cerdos	18	kg CH4/ Cabezas/año	1 098,00	1,10	30,63
Hato bovino	Crianza de animales	130	número de vacas	56	kg CH4/ Cabezas/año	7 280,00	7,28	203,11
				56 100	kg CO2/TJ	41 501,658	41,50	41,63
				5	kg CH4/TJ	3,70	0,0037	
Bares de comida	Consumo de GLP	0,74	TJ / año	0,1	kg N2O/TJ	0,07	0,0001	

Tabla 4. Alcance 2 - Emisiones indirectas de consumo eléctrico

ALCANCE 2								
Área	Emisiones indirectas	Dato de Actividad	Unidades de inventario	Factor de emisión	Kg gas	Ton de gas (ton/año)	Ton. CO2 eq. Año	
UDIV	Consumo eléctrico	1 691 358,00	kWh/d en el campus	0,3	Kg CO2/ kWh	121 856,00 kg CO2eq	121,86	507,41

de CO2 y 0.004 kg de CH4 (Pérez, 2018). Las emisiones incluidas en el alcance 2 (tabla 4) se deriva al consumo de electricidad requerido por la infraestructura institucional. Aunque dichas emisiones no se generen directamente dentro del campus, están asociadas a la generación eléctrica del proveedor externo, por lo que representa un componente significativo del inventario total de GEI de la institución.

Durante el año 2024, la ESPAM MFL registró un consumo de 1 691 358,00 kWh/d en el campus, lo que al ser

evaluado con un factor de emisión de 0.3 kg de CO2 por kWh, resultó una emisión estimada de 121,86 kg de CO2, representando un total de 507,41 Ton de CO2 eq/año. Este valor refleja el impacto ambiental del uso energético cotidiano en las funciones sustantivas de la universidad.

En la ESALQ- USP las emisiones de CO2 del consumo energético fue de 6 826,93 Ton de CO2 eq/año (Campos, 2020); este alto porcentaje se atribuye principalmente a la densidad de laboratorios de

Tabla 5. Alcance 3 - Otras emisiones indirectas

ALCANCE 3								
Área	O t r a s emisiones indirectas	Dato de Actividad	Unidades d e inventario	Factor de emisión del IPCC	Kg gas	T o n de gas (t o n / año)	T o n . C O 2 e q . Año	
Unidades académicas	Transporte de personal en buses (docentes, estudiantes, etc)	0,856	TJ de diésel / año	7 4 100,00	Kg CO2/ TJ	63 463,35	63,46	
				3,90	Kg CH4/ TJ	3,34	0,0003	64,47
				3,90	Kg N2O/ TJ	3,34	0,0003	
	A g u a s residuales	3 891	# de personas q u e asisten al campus	1,752	Kg de C H 4 / persona / año	6817,0320	6,82	190,20

investigación, así como a la infraestructura academica que comprende aulas de clase, auditorios y centros de documentación (Larios et al., 2022).

Respecto al alcance 3 (tabla 5), se identificaron las emisiones indirectas provenientes a partir de actividades que no son controladas directamente por la ESPAM MFL, pero están vinculadas con su funcionamiento institucional. Este alcance incluye, entre otras, las emisiones derivadas del transporte de personas en buses y el tratamiento de los efluentes líquidos. Para el año 2024, la fuente más significativas de este alcance fue el transporte, aportando factores de emisión de 63,46 Kg de CO2/TJ y 0,0003 de Kg/ TJ para el CH4 y N2O. El total de estas emisiones equivale a 64,47 Ton de CO2 eq/año. Por su parte, la Universidad Nacional de Ucayali de Perú, Ruiz (2019) obtuvo como resultados que el uso de transporte fue la principal fuente de emisión con 117,77 Ton de CO2 eq/año.

Con respecto a las aguas residuales, se determinó que dentro del campus se generaron un total de 6,82 kg

de CH4, lo que equivale a 190,20 Ton de CO2 eq/año. En la Universidad Técnica de Machala, se generan grandes volúmenes de aguas residuales, debido al número de personas que utilizan los servicios sanitarios, generando aguas grises y negras (Ferrer et al., 2021). Chavarría et al. (2016) argumentan que la expansión demográfica de la institución conlleva a una mayor generación de aguas residuales.

En la figura 2, se identifica con claridad la magnitud de los aportes de cada GEI y su origen según las fuentes de emisión institucional. El CO2 es el gas con mayor volumen de emisión, siendo generado en las tres categorías del inventario. En el alcance 1 (emisiones directas), el CO2 se libera principalmente por consumo de combustibles con un total de 78,21 Ton de CO2/año, constituyéndose como la principal fuente de emisiones totales de la institución. Asimismo, la fuga de refrigerantes de los sistemas de aire acondicionados contribuyó con 121,86 Ton de CO2 eq/año, así como por el consumo de GLP en los

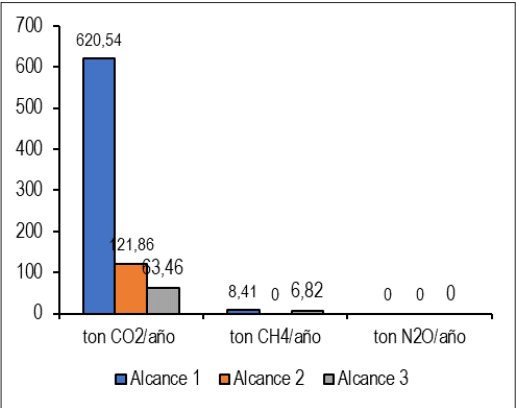


Figura 2. Gases generados de efecto invernadero en la ESPAM MFL

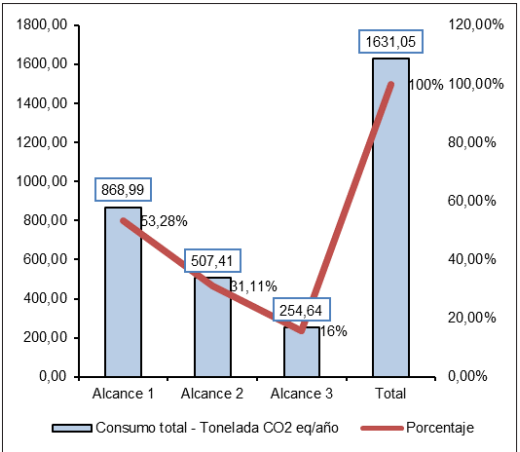


Figura 3. Emisiones totales

bares de comida, aunque en este último caso con una emisión poco representativa (41,50 Ton de CO₂/año). Con respecto al alcance 2, derivado del consumo energético, se reportan 121,86 Ton de CO₂/año, siendo la segunda fuente más importante de CO₂. Por su parte, el mayor aporte de este gas en el alcance 3, corresponde al transporte de personas en buses con 63,46 Ton de CO₂/año.

En cuanto al CH₄, su emisión se concentra exclusivamente en el alcance 1, y está directamente relacionada con actividades agropecuarias. Las principales fuentes de metano son la crianza de animales, tanto en el hato porcino como en el hato bovino, con emisiones 1,10 y 7,28 Ton de CO₂/año respectivamente, siendo el hato bovino la fuente

dominante. Por su parte, en el alcance 3 las aguas residuales contribuyen con 6,82 Ton de CO₂/año. Estas emisiones de metano, aunque menores en comparación con las de CO₂, tienen un impacto climático significativo debido al alto potencial de calentamiento global del CH₄. De acuerdo con Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2023) los sistemas agroalimentarios ganaderos son responsables del 12% de todas las emisiones de GEI, lo que equivale a 6,2 Gt de CO₂ equivalente; el sector ganadero produce 54% de CH₄, 31% de CO₂ y 15% de N₂O.

Respecto al N₂O, la figura 2 evidencia que no se registraron emisiones significativas en ninguno de los tres alcances. No obstante, en la tabla de inventario se observa que este gas está considerado, particularmente asociado con la aplicación de fertilizantes nitrogenados en las unidades de producción agrícola, y al consumo de diésel y GLP. A pesar de su baja representación cuantitativa en la figura, el N₂O es un gas con un potencial de calentamiento global considerablemente alto (272 veces superior que el CO₂), por lo que incluso pequeñas cantidades pueden tener un efecto climático notable. Esto sugiere que la institución podría revisar las metodologías de cálculo de las emisiones de N₂O y fortalecer el seguimiento de estas actividades, especialmente en prácticas agrícolas o de mantenimiento de áreas verdes.

En síntesis, las emisiones totales generadas por la ESPAM MFL durante el año 2024 ascienden a 1 631,05 Ton de CO₂ eq/año, resultando del análisis integrado de las emisiones directas e indirectas asociadas a las actividades institucionales. Tal como se detalla en la figura 3, la mayor contribución derivó del alcance 1, el cual representó el 53,28% del inventario total. Esta cifra refleja el impacto predominante de las fuentes directas de emisión bajo el control de la entidad, tales como el consumo de combustible por actividades y movilidades laborales.

En segundo lugar, el alcance 2 contribuyó con un 31,11% del total, asociado principalmente al consumo de energía eléctrica en las unidades

académicas, por tanto, resulta indispensable adoptar estrategias de ahorro energético y la evolución hacia alternativas renovables. Finalmente, el alcance 3, correspondientes a emisiones indirectas como el uso de combustibles por buses, constituyó el 16% del impacto general, lo que indica un impacto comparativamente menor a comparación del consumo de combustibles por actividades laborales.

Los datos presentados en la presente investigación concuerdan con diversos estudios que indican que las emisiones de los GEI en universidades provienen principalmente por el consumo de combustible, electricidad y transporte. En un campus universitario de Colombia, se determinó que las emisiones directas (alcance 1) producidas por el uso de combustibles fósiles generaron un total de 76,1 Ton de CO₂ eq, las emisiones indirectas asociadas con el consumo energético (alcance 2) fueron de 221,6 Ton de CO₂ eq y, las emisiones indirectas (alcance 3) fueron de 8 671,1 Ton de CO₂ eq, siendo la mayor proporción de las emisiones totales (Varón et al., 2021). Por otro lado, en la Universidad de Aarhus reveló que el alcance 1 provenientes del consumo de combustible y las emisiones agrícolas aportaron con 5 811 Ton de CO₂ eq, las emisiones del alcance 2 derivadas de la electricidad fueron de 8 717 Ton de CO₂ eq y el alcance 3 provenientes de los viajes aéreos, generación de aguas residuales y emisiones asociadas a las inversiones de la institución fueron de 5 795 Ton de CO₂ eq (Stridsland et al., 2023).

Con base al cálculo de la huella de carbono durante el 2024 en la ESPAM MFL, es recomendable implementar acciones que permitan reducir las emisiones de CO₂ generadas por el uso de combustible, el consumo energético y la movilidad o transporte de los estudiantes y docentes.

Desde un enfoque técnico, para disminuir las emisiones provenientes del consumo de combustibles resulta indispensable reducir el consumo específico de combustible por unidad de servicio e implementar programas de mantenimiento preventivo. Asimismo, resulta esencial efectuar un sistema de gestión para controlar el tiempo de operación de las maquinarias y, además se sugiere utilizar lubricantes alternativos que permitan reducir las emisiones de CO₂ en la institución.

Desde un enfoque de gestión energética eficiente, resulta pertinente integrar sistemas de generación distribuida mediante fuentes renovables en la infraestructura del campus. Esta transición permitiría mitigar las emisiones de CO₂ asociadas al consumo eléctrico y reducir la dependencia de la red convencional. Por tanto, es necesario optar por las instalaciones de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para disminuir el consumo energético y aporta un autoconsumo sostenible (Campos, 2025). Desde una perspectiva práctica, mediante esta propuesta se promueve la movilidad sostenible como un pilar central dentro de la política

de responsabilidad social y ambiental, es decir, se plantea el uso de bicicletas o motocicletas eléctricas a estudiantes o docentes que viven cerca del campus politécnico, como una opción viable y sostenible ante la reducción de CO₂ por el uso de transporte (Aguilar, 2024).

Desde el punto de vista de mitigación, la ESPAM MFL debe aprovechar su enfoque agropecuario, convirtiendo las áreas del campus politécnico en sumideros de carbono, por tanto, es necesario aumentar cultivos o plantaciones que capten carbono. La expansión de cultivos permanentes con alta capacidad de fijación de CO₂ como el cacao; el secuestro de carbono a través de sistemas de producción de cacao constituye una alternativa sostenible para la mitigación del cambio climático, gracias a que actúa como un sumidero natural que integra el carbono en la estructura vegetal y la materia orgánica del suelo (Bermello et al., 2024).

Conclusión

Con un total de 1 631,05 Ton de CO₂ equivalente/año registrados en la anualidad 2024, la huella de carbono de la ESPAM MFL destaca una alta dependencia de las fuentes del alcance 1 con el 53,28% del total, seguido por el alcance 2 con 31,11% y el alcance 3 con 16%. Los principales contribuyentes a la generación de GEI son el consumo de combustible por actividad y movilidad laboral y la electricidad. Las estrategias de mitigación ayudarán a encaminar a la institución hacia un modelo de emisiones netas cero y desarrollo sostenible.

Recomendaciones

Se recomienda a la ESPAM MFL establecer un inventario de GEI de carácter permanente, que permita cuantificar, monitorear y verificar las emisiones de los tres alcances dentro del campus politécnico en los años posteriores. El inventario de GEI servirá a la institución como línea base para la formulación de un plan de mitigación que ayuden a controlar las emisiones de carbono y conlleven hacia la neutralidad de carbono institucional. Además, se sugiere implementar tecnologías verdes dentro del campus para reducir las emisiones de CO₂ derivadas de las operaciones institucionales.

Referencias bibliográficas

- Aghamolaei, R. y Fallahpour, M. (2023). Strategies towards reducing carbon emission in university campuses: A comprehensive review of both global and local scales. *Journal of Building Engineering*, 76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107183>
- Aguilar, M. (2024). Metodología para el cálculo de la huella carbono en las universidades cubanas. Estudio de caso: Universidad de La Habana. Congreso Universidad, 11(1). Obtenido de <https://revista.congresouniversidad.cu/congreso/article/view/5/29>
- Alarcón, M., Montilla, Y., Linares, B. y Alarcón, M. (2024). Huella de carbono en microempresas generada por el consumo de energía eléctrica: Un enfoque práctico. *Revista Social Fronteriza*, 4(5). doi:[https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(5\)453](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(5)453)
- Alcaraz, A. y Alonso, P. (2019). La contribución de las universidades a la Agenda 2030. Obtenido de Universitat de Valencia: https://www.uv.es/coopweb/Libro%20Agenda/Contribucion%20universidades%20a%20ODS_sin%20blancas.pdf
- Ali, S. y Ahmad, N. (2021). Reviewing the strategies for climate change and sustainability after the US defiance of the Paris Agreement: an AHP-GMCR-based conflict resolution approach quantile regression. *Environment, Development and Sustainability*, 23. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01147-5>
- Aponte, H. (2017). Propuesta de estrategias de mitigación a partir del cálculo de la huella de carbono de los campus Norte y Sur de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A en los años 2014 - 2015. Obtenido de Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A: <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/af7f616b-7351-4d82-9d01-c4fd4a4a2d6/content>
- Arvildo, P. (2021). Estimación de la huella de carbono de la Unidad de Gestión Educativa Local - Leoncio Prado, periodo 2015 - 2019. Obtenido de Universidad Nacional Agraria de La Selva: <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4a4dc99f-73b1-4165-beb7-c651c5166b65/content>
- Banco Mundial. (2021). Hoja de ruta para la acción climática en América Latina y el Caribe 2021 - 2025. Obtenido de Grupo Banco Mundial: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/1a7421c1-fa2b-58b9-b2ed-b8f6e07bf392/content>
- Banguera, H. (2021). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades realizadas por una consultora ambiental, mediante el cálculo de la huella de carbono. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BANGUERA%20ERAZO%20HUGO%20DANIEL.pdf>
- Bautista, J., Sierra, Y. y Bermeo, J. (2023). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en las Instituciones de Educación Superior. *Revista Producción + Limpia*, 17(1). doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a10>
- Bekun, F. (2024). Race to carbon neutrality in South Africa: What role does environmental technological innovation play? *Applied Energy*, 354. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122212>
- Bermello, Á., Briones, L. y Vivas, H. (2024). Captura de carbono en cacao (*Theobroma cacao* L.): Una estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 18(2), 591 - 598. <https://doi.org/10.53591/cna.v18i2.1925>
- Campos, C. (2020). Huella de carbono en el campus central de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidad de Sao Paulo, Piracicaba, Estado de Sao Paulo, Brasil. Obtenido de Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas: <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2085/Campos%20Quir%C3%B3z%20Clara%20Nely.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, C. (2025). Cálculo de la huella de carbono y propuesta de plan de mejora en el Instituto de Educación Superior Tecnológico Huando - Lima 2022. Obtenido de Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Cano, N., Berrio, L. y Arango, S. (2023). Assessing the carbon footprint of a Colombian University Campus using the UNE-ISO 14064-1 and WRI/WBCSD GHG Protocol Corporate Standard. *Environmental Science and Pollution Research*, 30.
- Carrillo, G. y Rivera, M. (2020). Formulación de soluciones tecnológicas que mitiguen la huella de carbono en la Universidad Santo Tomás, Sede Aguas Claras - Villavicencio. Obtenido de Universidad

- Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32023/2021mariarivera.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Chavarria, F., Molina, O., Gamboa, R. y Rodríguez, J. (2016). Measurement of Carbon Footprint at National University of Costa Rica for 2012-2014. Heading for Carbon Neutrality. *UNICIENCIA*, 30(2), 47 - 62. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.30-2.4>
- Chen, R., Zhang, R. y Han, H. (2021). Where has carbon footprint research gone? *Ecological Indicators*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106882>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2020). Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Total, por habitante y por producto interno bruto). Obtenido de CEPAL: https://statistics.cepal.org/portal/databank/index.html?lang=es&indicator_id=2027
- Criollo, N., Ramírez, A., Salas, D. y Andrade, R. (2020). The Role of Higher Education Institutions Regarding Climate Change: The Case of Escuela Superior Politécnica del Litoral and its Carbon Footprint in Ecuador. *ASME Digital Collection*. <https://doi.org/10.1115/IMECE2019-10676>
- Evangelista, C., Milanese, M., Pietrucci, D., Chillemi, G. y Bernabucci, U. (2024). Enteric Methane Emission in Livestock Sector: Bibliometric Research from 1986 to 2024 with Text Mining and Topic Analysis Approach by Machine Learning Algorithm. *Animals*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/ani14213158>
- Ferrer, J., Blacio, S., Vera, T., Gadway, K. y Muñoz, G. (2021). Huella de carbono de la Universidad Técnica de Machala período 2018-2020. *Revista Científica Dominio de Las Ciencias*, 7(5), 78 - 92. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2235>
- Flores, J. (2022). Huella de carbono en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de Universidad Nacional del Centro del Perú: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9705/T010_71200576_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Frascarelli, A., Ciliberti, S., Lilli, S., Pascolini, P., Orlando, J. y Tiradritti, M. (2025). Comparative Techno-Economic and Carbon Footprint Analysis of Semi-Extensive and Intensive Beef Farming. *Agriculture*, 15(5), 472. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050472>
- Guerrero, A. y García, F. (2023). Evolución y Estado de la Huella de Carbono de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Año 2022. *Electrónica Universidad Miguel Hernández de Elche*.
- Guillén, S. (2023). Universidades líderes en sostenibilidad: un análisis de las iniciativas de huella de carbono en Latinoamérica. *South Sustainability*, 4(2), 1 - 24. doi: 10.21142/SS-0402-2023-e081
- Hinostroza, M. (2019). Huella de carbono del traslado de estudiantes, profesores y trabajadores de la Universidad Ricardo Palma (URP). Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8b12eef4-1428-4687-aed5-1d3accb27107/content>
- Lamas, A. (2024). Estimación de la huella de carbono en la gestión de áreas verdes y propuesta de estrategias de economía circular para su reducción en el Distrito de San Juan de Lurigancho, 2024. Obtenido de Universidad Privada del Norte: <https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/17527b3e-14c5-417c-aa9d-c12b3cdd2f55/content>
- Larios, M., Ariza, V. y Zuleta, M. (2022). Huella de carbono institucional como indicador de sostenibilidad en la Universidad de la Costa - CUC. Obtenido de Universidad de La Costa.
- Li, C., Solangi, Y. y Ali, S. (2021). Evaluating the Factors of Green Finance to Achieve Carbon Peak and Carbon Neutrality Targets in China: A Delphi and Fuzzy AHP Approach. *Sustainability*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032721>
- Mellano, N. y Carrasco, S. (2021). Huella de carbono en Latinoamérica como herramienta de medición de impacto ambiental en Instituciones privadas, 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.1050
- Muentes, J., Alcivar, M., León, E. y Chata, C. (2023). Sustainability in Higher Education Institutions: Theoretical Management of the Carbon Footprint at UNESUM. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 3(1), 160 - 171. doi:10.18502/espoch.v3i1.14423
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2023). Pathways towards lower emissions. A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Obtenido de FAO: <https://openknowledge.fao.org/items/b3f21d6d-bd6d-4e66-b8ca-63ce376560b5>
- Padrón, C. (2023). Actualización de la huella de carbono de la Universidad Católica Andrés Bello Sede Montalbán para el año 2022. *Revista Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(2), 1 - 14. <https://doi.org/10.18272/aci.v15i2.3017>
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2023). Sexto Informe de Evaluación. Informe de Síntesis 2023. Obtenido de IPCC: <https://apps.ipcc.ch/outrreach/documents/703/1689183149.pdf>
- Parlamento Europeo. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector. Obtenido de https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180301STO98928/20180301STO98928_es.pdf
- Paspuezan, J. y Mozo, A. (2023). Determinación de huella de carbono y desarrollo de un plan piloto basado en la ISO 14064 en dos obras Salesianas ubicadas en Quito, Ecuador. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24413/1/TTS1187.pdf>
- Pérez, A., Oblitas, A. y Ocaña, C. (2022). Estimación de huella de carbono en la Universidad Nacional de Jaén para el 2021. Obtenido de Universidad Nacional de Jaén: https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/549/1/IFT_P%3a%9rez%20D%3adaz%20y%20Oblitas%20Romero_IFA.pdf
- Pérez, P. (2018). Huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito año 2017 y plan de mitigación de emisiones de CO₂-eq. Obtenido de Universidad San Francisco de Quito USFQ: <https://www.usfq.edu.ec/sites/default/files/2023-07/actualizacion-huella-carbono-2017.pdf?itok=kUPEqx3Nt>
- Qin, H., Xing, X., Tang, Y., Zhu, B., Wei, X., Chen, X. y Liu, Y. (2020). Soil moisture and activity of nitrite- and nitrous oxide-reducing microbes enhanced nitrous oxide emissions in fallow paddy soils. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 53 - 67. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01403-5>
- Raihan, A. (2023). Toward sustainable and green development in Chile: Dynamic influences of carbon emission reduction variables. *Innovation and Green Development*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100038>
- Ríos, C., Martínez, C., Maldonado, E. y Galarza, O. (2023). Huella de carbono del consumo eléctrico de un campus universitario del noreste de México. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 23, 1 - 7.
- Ruiz, M. (2019). Cálculo de la huella de carbono en la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali para la elaboración de un plan de carbono neutro, Pucallpa - Perú. Obtenido de Universidad Nacional de Ucayali.
- Salazar, F., Valencia, M., Velasco, A. y Ochoa, V. (2019). Actualización de la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito USFQ para el año 2015. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 11(2), 254 - 265. <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v11i2.450>
- Sánchez, D. (2023). Huella de carbono en el campus universitario de las universidades Peruana de los Andes.

- Obtenido de Universidad Peruana Los Andes.
- Shi, S. y Yin, J. (2021). Global research on carbon footprint: A scientometric review. *Environmental Impact Assessment Review*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106571>
- Stridsland, T., Stoubjerg, A. y Sanderson, H. (2023). A hybrid approach to a more complete emissions inventory: a case study of Aarhus University. *Carbon Management*, 14(1). doi:<https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2275579>
- Torres, M. (2023). Cálculo huella de carbono Corporación Colombiana de Logística. Obtenido de Universidad El Bosque: <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/b84c695f-0a8b-44f1-b037-81f3f81e745a/content>
- Traub, J. (2023). Evolución de la Huella de Carbono de Universidades Públicas de la Comunidad de Madrid en sus tres alcances. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: https://oa.upm.es/75667/3/TFM_Traub_Gainsborg_Jose.pdf
- Umar, M. y Safi, A. (2023). Do green finance and innovation matter for environmental protection? A case of OECD economies. *Energy Economics*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106560>
- Valls, K. y Bovea, M. (2021). Carbon footprint in Higher Education Institutions: a literature review and prospects for future research. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 2523 - 2542.
- Varón, M., Osorio, J. y Morales, T. (2021). Carbon footprint of a university campus from Colombia. *Carbon Management*, 12(1), 93 - 107. <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1876531>
- Xiaoman, W., Majeed, A., Vasbieva, D., Yameogo, C. y Hussain, N. (2021). Natural resources abundance, economic globalization, and carbon emissions: Advancing sustainable development agenda. *Sustainable Development*, 29(5). <https://doi.org/10.1002/sd.2192>
- Yáñez, P., Sinha, A. y Vásquez, M. (2020). Carbon Footprint Estimation in a University Campus: Evaluation and Insights. *Sustainability*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/su12010181>
- Yaro, N., Sutanto, M., Baloo, L., Habib, N., Usman, A., Yousafzai, A. y Noor, A. (2023). A Comprehensive Overview of the Utilization of Recycled Waste Materials and Technologies in Asphalt Pavements: Towards Environmental and Sustainable Low-Carbon Roads. *Processes*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/pr11072095>
- Zabala, R., Guanga, D., Verdezoto, F. y Carrasco, K. (2023). La huella de carbono del parque automotor en el 2019 de la Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 257 - 273.
- Zabaleta, M. (2021). Cálculo y análisis comparativo de la huella de carbono y de la calidad del aire en la Universidad del Magdalena antes y durante la pandemia por COVID-19. Obtenido de Universidad del Norte: <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/10005/40935289.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zhong, S., Chen, R., Song, F. y Xu, Y. (2019). Knowledge Mapping of Carbon Footprint Research in a LCA Perspective: A Visual Analysis Using CiteSpace. *Processes*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/pr7110818>
- Zorrilla, I. (2023). Estimación de la huella del carbono en el Campus Divino Maestro de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, PII 2021 y PI 2022. Obtenido de Universidad Estatal del Sur de Manabí: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5004/1/ZORRILLA%20PIONCE%20ILIANA%20AMPARO.pdf>