

HUELLA DE CARBONO UNIVERSITARIA: ESCENARIOS DE MOVILIDAD Y ALINEACIÓN CON LOS ODS

University carbon footprint: Mobility scenarios and alignment with the SDGS

Jesús ARZATE RONCES¹, Gustavo ÁLVAREZ ARTEAGA¹,
Leonardo VÁSQUEZ IBARRA² y Claudia ALANÍS RAMÍREZ^{1*}

¹ Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, Mariano Matamoros casi esquina, Av. Paseo Tollocan, 50130 Toluca de Lerdo, Estado de México.

² Departamento de Computación e Industria, Centro de Innovación en Ingeniería Aplicada, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Católica del Maule, Universidad Católica, 3460000 Talca, Maule, Chile.

*Autor para correspondencia: calanistr001@uaemex.mx

(Recibido: junio 2025; aceptado: febrero 2026)

Palabras clave: protocolo GEI, modalidad híbrida, transporte, factores de emisión e instituciones de educación superior.

RESUMEN

Una de las estrategias para mitigar el cambio climático y avanzar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en las instituciones de educación superior es la medición de sus impactos ambientales, como la huella de carbono (HC), considerando las principales fuentes de emisión y las metas específicas, e identificando áreas prioritarias para una visión de sostenibilidad institucional. Durante la pandemia por COVID-19, las universidades experimentaron cambios significativos en sus operaciones: no solo transformaron la dinámica educativa, sino que también influyeron en los patrones de consumo eléctrico, la movilidad y la generación de residuos. El objetivo de este estudio fue cuantificar la HC de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX) en tres modalidades educativas: híbrida, presencial y virtual, así como analizar su relación con el cumplimiento de los ODS. La metodología se basó en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, categorizando las fuentes de emisión en tres niveles de alcance y utilizando factores de emisión (FE) de la base de datos Ecoinvent, según el método de evaluación de impacto ambiental del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Se aplicó un análisis de sensibilidad del sector transporte a distintas fuentes energéticas en seis escenarios y un análisis de incertidumbre de Monte Carlo, enfocado en el FE. La HC total de la institución para 2022 fue de 157.82 tCO₂eq, con predominio del alcance 3 (48.77 %), asociado principalmente con el uso del transporte urbano. El escenario eléctrico disminuye a un 63 %, alineándose con las estrategias impulsadas actualmente por la UAEMEX. Para dar cumplimiento a los ODS, la modalidad híbrida presentó una mayor correspondencia (60-80 %) con las emisiones asociadas a la movilidad universitaria.

Key words: GHG protocol, hybrid learning, transportation, emission factors and higher education institutions.

ABSTRACT

One of the strategies to mitigate climate change and move towards the fulfillment of the Sustainable Development Goals (SDGs) in higher education institutions is the measurement of their environmental impacts, such as the carbon footprint (CF), considering the main sources of emissions, specific goals, and identifying priority areas towards a vision of institutional sustainability. During the COVID-19 pandemic, universities

experienced significant changes in their operations, not only transforming educational dynamics but also affecting electricity consumption patterns, mobility, and waste generation. The objective of this study was to quantify the HC of the Faculty of Urban and Regional Planning at the Autonomous University of Mexico State (UAEMEX, in Spanish), considering three educational modalities: hybrid, face-to-face, and virtual, and to analyze its relationship with the fulfillment of the SDGs. The methodology was based on the Greenhouse Gas Protocol, categorizing emission sources into three scopes and using emission factors (EFs) from the Ecoinvent database, using the Intergovernmental Panel on Climate Change environmental impact assessment method. A sensitivity analysis was applied to the transport sector across six scenarios using different energy sources, and a Monte Carlo uncertainty analysis focused on the EF. The total CF of the institution for 2022 was 157.82 tCO₂eq, with scope 3 (48.77%) predominating, mainly associated with the use of urban transport. The electricity scenario decreases to 63%, aligning with the strategies currently promoted by the UAEMEX. To comply with the SDGs, the hybrid learning approach showed greater correspondence (60-80%), considering the emissions associated with university mobility.

INTRODUCCIÓN

La crisis climática causada por el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) de origen antrópico representa una amenaza significativa a nivel mundial. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) ha advertido que, de continuar la tendencia actual de crecimiento en las emisiones, la temperatura global podría aumentar hasta 2.0 °C, provocando graves consecuencias, como escasez de recursos naturales, y daños sobre la salud humana y los ecosistemas, entre otras (IPCC 2023). Ante esta urgencia global, las instituciones educativas de nivel superior (IES) desempeñan un papel fundamental para el cumplimiento de la Agenda 2030 hacia un Desarrollo Sostenible, puesto que son la base para la generación de estrategias y herramientas que acerquen a las instituciones a cumplir sus objetivos propuestos (Chankseliani y McCowan 2021). En este marco, la Agenda 2030 establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que sirven como guía estratégica para abordar los desafíos más apremiantes a nivel global, promoviendo un desarrollo equilibrado que considere tanto el bienestar social como la preservación del medio ambiente.

La educación ha sido una preocupación constante respecto a los resultados alcanzados y su implicación en un futuro sostenible, ya que funciona como un factor clave para el cumplimiento de los ODS a través del desarrollo, monitoreo y evaluación del desempeño ante los desafíos que imperan a diferentes escalas (UNDG 2018, SEMARNAT-INECC 2025). En este contexto, las universidades han trabajado para incorporar la Agenda 2030 dentro del ámbito

educacional y profesional, creando programas y estrategias que favorezcan de manera transversal el cumplimiento de los ODS (UNESCO 2018). Un ejemplo de ello es el establecimiento del Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable (COMPLEXUS), que busca medir el avance de las instituciones en temas de sostenibilidad (COMPLEXUS 2013).

Otro ejemplo son las métricas de UI GreenMetric, una clasificación internacional anual promovida por la Universidad de Indonesia, que se ha consolidado como uno de los principales referentes a nivel mundial para evaluar el desempeño ambiental y sostenible de las IES. En el contexto de los ODS y la Agenda 2030, UI GreenMetric se alinea directamente con metas globales como la acción por el clima (13), la gestión sostenible de recursos (12), ciudades y comunidades sostenibles (11) y la educación de calidad (4). UI GreenMetric se relaciona con la medición de la HC, ya que uno de sus principales objetivos es evaluar el desempeño ambiental de las universidades. De acuerdo con el último ranking (2023), la Universidad de Wageningen, en los Países Bajos, ocupa el primer lugar, mientras que en México instituciones como la Universidad Autónoma de Nuevo León y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX) aparecen como las mejores universidades públicas estatales (GM 2024).

La HC es un indicador de impacto ambiental que representa la cantidad total de GEI emitidos, ya sea de forma directa o indirecta, por una persona, organización, servicio o producto, y refleja las interacciones entre flujos de energía, materiales y prácticas organizacionales. En el contexto ambiental la HC es uno de los indicadores más estudiados

debido a sus implicancias sobre el cambio climático y la relevancia para los tomadores de decisiones; por ello, se ha consolidado como un indicador clave para modelar a corto, mediano y largo plazo operaciones y actividades académicas (Paredes-Canencio et al. 2024, Deda et al. 2025a).

La aplicación de la HC se apoya en metodologías reconocidas internacionalmente para la contabilidad de emisiones, como el Protocolo de GEI (WRI 2004), desarrollado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por su sigla en inglés) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), el cual es ampliamente utilizado a nivel mundial, ya que permite estimar la HC de las IES con base en tres alcances: (1) emisiones directas provenientes de fuentes controladas o propiedad de la institución; (2) emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad, vapor o calefacción; y (3) emisiones indirectas asociadas a la cadena de valor (Townsend y Barrett 2015, Battistini et al. 2022, Deda et al. 2025).

Para mejorar las evaluaciones de la HC, se consideran distintos escenarios ambientales de análisis que integran dimensiones técnicas, organizacionales y educativas (Grindsted 2011). El escenario base refleja las condiciones actuales de operación de la institución; el escenario de mejora o mitigación incorpora medidas de eficiencia energética, movilidad sustentable y minimización de residuos; y el escenario de transición combina acciones tecnológicas y de gestión con procesos de innovación y participación universitaria, articulando la transición socio-técnica hacia sistemas de bajo carbono (Deda et al. 2025b).

Entre las universidades que reportan su HC en México se encuentran la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM; Güereca et al. 2013), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM; Mendoza-Flores et al. 2019), la Universidad Autónoma de Baja California (UABC; Quintero-Núñez et al. 2015) y el Instituto Técnico de Linares de Nuevo León (ITL; Ríos-Saldaña et al. 2023). En la actualidad, la calidad y el prestigio de las universidades están fuertemente influenciados por su posición en diversos rankings internacionales, los cuales evalúan múltiples dimensiones del quehacer institucional, incluyendo aspectos académicos, de investigación, de vinculación social y, recientemente, su compromiso con la sostenibilidad. Por ello, la UAEMEX forma parte del Capítulo México de la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible, una iniciativa de las Naciones Unidas para fomentar la colaboración entre distintos actores y contribuir a la Agenda 2030 (UAEMEX 2021).

El objetivo de este estudio consistió en estimar la HC generada por la comunidad de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (FaPUR) de la UAEMEX en tres modalidades educativas: híbrida, presencial y virtual, mediante el análisis de seis escenarios ambientales de movilidad diferenciados por su fuente energética. Esto, con la finalidad de identificar y proponer estrategias de reducción de emisiones asociadas al transporte, contribuyendo al cumplimiento de los ODS en la IES.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La FaPUR es un espacio académico de la UAEMEX, ubicado en el municipio de Toluca, Estado de México. Esta facultad alberga dos licenciaturas: Ciencias Ambientales y Urbanismo Sostenible, así como dos posgrados: Urbanismo y Estudios de la Ciudad. Durante 2022 se reportó una matrícula de 578 alumnos y 126 administrativos y docentes, para un total de 704 personas (UAEMEX 2024). Dentro de la infraestructura que compone el espacio académico, se cuenta con cuatro edificios principales que integran cubículos, aulas, laboratorios, cafetería, módulos sanitarios y estacionamientos. La FaPUR representa el 9.96 % de la matrícula universitaria, como puede verse en la **figura 1**.

Cálculo de la huella de carbono

La literatura reporta principalmente dos metodologías para calcular la HC de organizaciones: la ISO 14069:2025 (ISO 2025) y el Protocolo GEI (WRI 2004). Mientras que la ISO indica que a las emisiones de GEI se deben agregar categorías a nivel de la organización como emisiones directas e indirectas de GEI (ISO 2019), el Protocolo GEI categoriza las fuentes de emisión en tres alcances que se describen en la **figura 2**. Este estudio utilizó la metodología del Protocolo GEI, considerando que es una de las más utilizadas para determinar el potencial de calentamiento global asociado a los GEI proveniente de las actividades de las organizaciones (Battistini et al. 2022). En el Protocolo de GEI, el alcance 1 considera las actividades sobre las cuales la institución tiene control directo. Esto incluye el combustible utilizado por los automóviles (diésel y gasolina) para salidas a campo, así como la papelería, entre otros. El alcance 2 considera la cantidad de energía eléctrica de los edificios de la facultad, mientras que el alcance 3 integra la cantidad de residuos sólidos urbanos, los residuos peligrosos generados por la comunidad

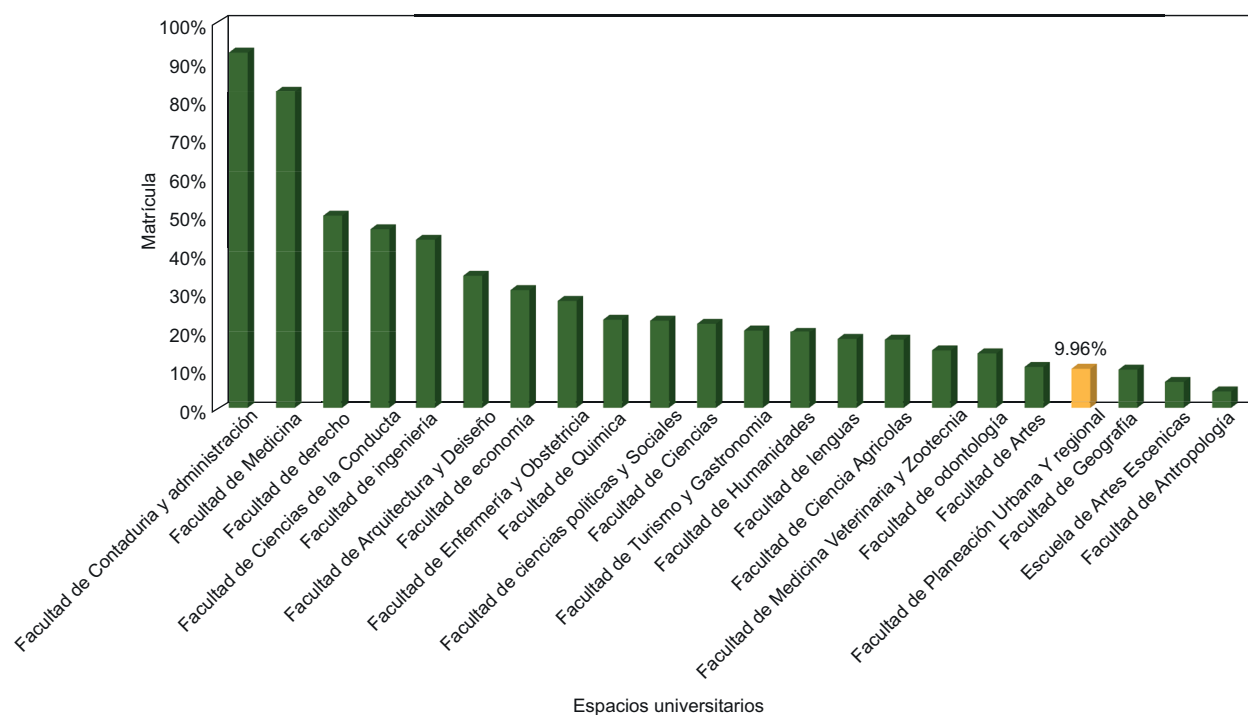


Fig. 1. Porcentaje de matrícula universitaria total de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX 2024).

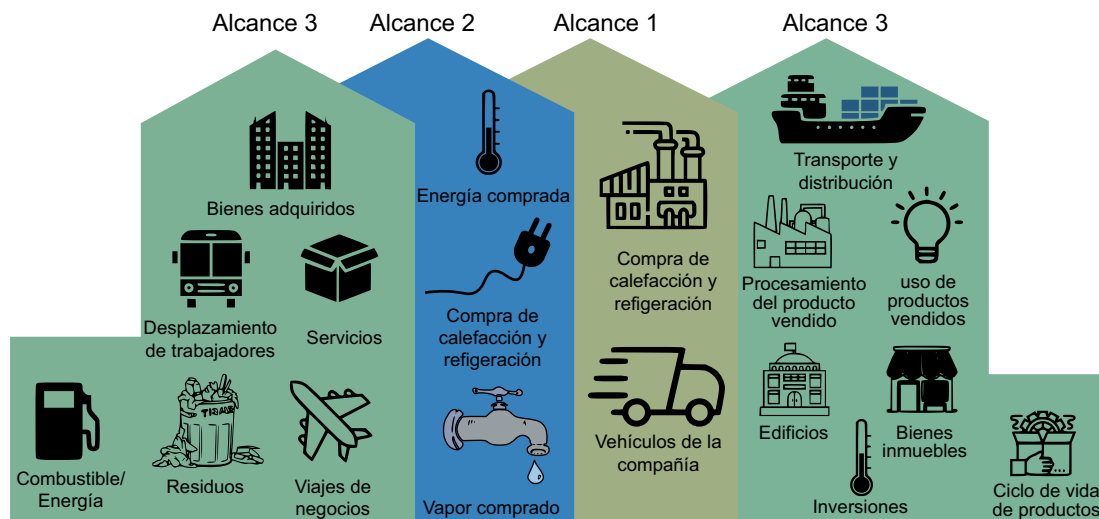


Fig. 2. Metodología del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero para el cálculo de la huella de carbono en universidades, en los alcances 1, 2 y 3 (Circularise 2022).

universitaria y el combustible utilizado por los medios de transporte que utilizan los integrantes de la comunidad universitaria.

La información se obtuvo a partir de encuestas aplicadas durante 2022 al personal académico y administrativo, así como a los estudiantes. Debido a que 2022 fue de transición de un entorno de trabajo

virtual a uno presencial en el contexto de la pandemia de COVID-19, se analizaron las implicaciones de este acontecimiento sobre la HC del espacio académico. Los tipos de emisión, los datos de actividad y las fuentes de información se describen en el **cuadro I**.

El **cuadro II** presenta los factores de emisión (FE) empleados en cada actividad. Los FE se obtuvieron

CUADRO I. CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN TIPOS DE EMISIÓN, DATO DE ACTIVIDAD Y FUENTE.

Tipo de emisión	Dato de actividad	Fuente
Alcance 1 (directas)	Consumo de combustible en fuentes móviles.	Registros institucionales.
Alcance 2 (indirectas)	Consumo de energía eléctrica.	Registros institucionales de recibos de la CFE.
Alcance 3 (otras indirectas)	Residuos sólidos urbanos.	Registros hechos por el alumnado.
	Residuos peligrosos.	Registros del LCA.
	Movilidad diaria del alumnado.	Encuesta realizada al alumnado.
	Movilidad diaria de académicos.	Encuesta realizada a académicos.
	Consumo de papel.	Registros institucionales.
	Consumo de tinta y tóner.	
	Viajes oficiales del alumnado o prácticas de campo.	

CFE: Comisión Federal de Electricidad; LCA: Laboratorio de Ciencias Ambientales (WRI 2004).

de la base de datos de Ecoinvent V3.10 (Ecoinvent 2025), creada en Suiza, una de las más completas, ya que incluye datos de procesos unitarios, emisiones e impactos de ciclo de vida en distintos países del mundo. El método de evaluación de impacto ambiental fue el del IPCC 2021 v1.03, Potencial de calentamiento global a 100 años (GWP100; Kiehle et al. 2023), mediante el uso del programa SimaPro PhD 9.10.2.0.2 (PS 2025). Si bien es metodológicamente deseable emplear FE que representen específicamente las condiciones operativas de la región de estudio, esto no siempre es viable. En el presente estudio se utilizó la base de datos de Ecoinvent debido a que la disponibilidad de FE de alcance nacional para México es limitada, lo que obliga a recurrir al uso de factores desarrollados para otras regiones, práctica común en estudios similares (Mendoza-Flores et al. 2019). Adicionalmente, el uso de una fuente homogénea de FE garantiza la consistencia metodológica en el cálculo de la incertidumbre asociada a los conjuntos de datos, dado que estos se construyen con los mismos supuestos y procedimientos de modelación (Frischknecht et al. 2005). Adicionalmente, en el **cuadro II** se especifican el nombre exacto del conjunto de datos en la base de datos Ecoinvent, la cobertura geográfica Resto del mundo (RoW, por sus siglas en inglés), México (MX) y global (GLO). Para el caso de los residuos sólidos y peligrosos se considera el modelo con su tratamiento (relleno sanitario e incineración, respectivamente).

Análisis de inventario, emisiones directas e indirectas

Alcance 1

- Transporte institucional: el alcance 1 considera la movilidad de vehículos pertenecientes al espacio académico sobre los cuales la facultad tiene

control. Se consideraron dos unidades móviles pertenecientes a la FaPUR. Ambas utilizan gasolina como combustible. La información sobre la movilidad de dichas unidades se recabó a partir de registros institucionales (**Cuadro III**). Para el cálculo de la HC se consideraron el total de kilómetros recorridos durante 2022, el rendimiento del motor de combustión, el promedio de pasajeros por viaje, el consumo de gasolina al día y el factor de emisión correspondiente. De acuerdo con los inventarios establecidos por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el rendimiento para el automóvil es de 17 km/L y para la camioneta 6 km/L (CONUEE 2025).

- Prácticas de campo: en la institución, los alumnos realizan prácticas de campo en distintos estados del país, las cuales desempeñan un papel importante en la matrícula universitaria. Estas prácticas son diseñadas por profesores a partir de un itinerario de actividades y lugares por visitar. Para el traslado se utilizan autobuses de la universidad conocidos como Potrobuses. El kilometraje recorrido se obtuvo a partir de itinerarios y bitácoras de viajes oficiales (**Cuadro IV**).
- Materiales o insumos: se consideraron materiales e insumos e inventarios de la FaPUR.
- Los datos de consumo se obtuvieron de las facturas de compra (**Cuadro V**).

Alcance 2

Consumo eléctrico: la energía eléctrica demandada por la FaPUR es suministrada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Se utilizó el valor promedio bimestral reportado para 2022 (**Cuadro VI**). Para estimar las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico (alcance 2), se empleó el FE

CUADRO II. FACTORES DE EMISIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO*.

Dato de actividad	Factor de emisión	Unidad	Nombre de la base de datos en Ecoinvent	Descripción del modelo
Consumo de combustible en fuentes móviles institucionales	0.384	kgCO ₂ eq/km	Transporte, automóvil de pasajeros, tamaño mediano, gasolina, EURO 5 {RoW} transporte, automóvil de pasajeros, tamaño mediano, gasolina, EURO 5 Corte, S	Este servicio ofrece transporte promedio de pasajeros a lo largo de un kilómetro. Este servicio solo considera el transporte de pasajeros. El vehículo funciona con gasolina y su norma de emisiones es EURO 5.
Consumo de energía eléctrica	0.615	kgCO ₂ eq/kWh	Electricidad, media tensión {MX} mercado de electricidad, media tensión Corte, S	Este conjunto de datos describe la electricidad disponible en alta tensión en México. Incluye las entradas de electricidad producidas en México y las importaciones.
Residuos sólidos	0.0507	kgCO ₂ eq/kg	Residuos sólidos municipales {RoW} tratamiento de residuos sólidos municipales, vertedero sanitario Corte, S	Es un escenario de residuo vinculado a los procesos de tratamiento de residuos de Ecoinvent. Los procesos suizos de incineración y vertedero se utilizaron como indicadores para Japón. Este registro fue creado por Pré Sustainability,
Residuos peligrosos	2.56	kgCO ₂ eq/kg	Residuos peligrosos para incineración {RoW} mercado de residuos peligrosos para incineración Corte, S	Es un tratamiento que comienza con la entrada de los residuos y finaliza en la referencia como subproducto.
Movilidad diaria del alumnado (Urbano y Potrobus)	1.02	kgCO ₂ eq/kg	Diésel bajo en azufre {GLO} Grupo de mercado para diésel bajo en azufre Corte, S	Esta actividad comienza en la entrada de los mercados que suministran diésel bajo en azufre en las zonas geográficas de este conjunto de datos y finaliza con el suministro a los consumidores en la zona geográfica global.
Movilidad diaria de académicos y administrativos (Auto particular, Uber)	0.32	kgCO ₂ eq/km	Transporte, automóvil de pasajeros, tamaño mediano, gasolina, EURO 5 {RoW} transporte, automóvil de pasajeros, tamaño mediano, gasolina, EURO 5 Corte, S	Este servicio ofrece transporte promedio de pasajeros a lo largo de un kilómetro. Este servicio solo considera el transporte de pasajeros. El vehículo funciona con gasolina y su norma de emisiones es EURO 5.
Consumo de papel	2.63	kgCO ₂ eq/kg	Papel impreso {GLO} mercado de papel impreso Corte, S	Esta actividad comienza en la puerta de las actividades que producen papel impreso, dentro del área geográfica global, y finaliza con el suministro de papel impreso a los consumidores.
Consumo de tóner	14.3	kgCO ₂ eq/pieza	Módulo de tóner, impresora láser, color {GLO} mercado de módulos de tóner, impresoras láser, color Corte, S	Esta actividad comienza en la puerta de las actividades que producen el módulo de tóner para impresora láser a color, dentro del área geográfica global, y finaliza con el suministro a los consumidores de este producto.

*Fuente: Ecoinvent (2025).

CUADRO III. CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y KILÓMETROS RECORRIDOS EN LAS UNIDADES DE TRANSPORTE DE LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

Vehículo	Modelo	Año	Combustible			Pasajeros	Distancia recorrida en un año (km)
			Rendimiento (km/L)	Consumo (L/día)	Tipo de combustible		
Camioneta	Dodge H100	2003	13.24	424.02	Gasolina	280	5614
Automóvil	Volkswagen Vento	2019	16.30	650.92	Gasolina	280	10 610

CUADRO IV. REGISTRO DE SALIDAS A CAMPO DE LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX EN 2022.

Práctica	Lugar	Distancia (km)	Combustible (kg)
1	Veracruz	1406	2007.76
2	Querétaro	1315	1877.82
3	Chiapas	2667	3808.47
4	Coahuila	4179	5967.61
Total			13 661.67

CUADRO V. MATERIALES/INSUMOS UTILIZADOS EN LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX EN 2022

Material/insumo	Cantidad (kg)
Papel bond	204
Papel higiénico	90
Tóner para impresora	86

CUADRO VI. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX EN 2022.

Bimestre	Consumo (kW/h)
Diciembre-enero	6240
Enero-febrero	8240
Marzo-abril	8000
Abril-mayo	8640
Mayo-junio	8080
Junio-julio	9280
Julio-agosto	4880
Agosto-septiembre	9040
Septiembre-octubre	9360
Octubre-noviembre	8560
Noviembre-diciembre	9440
Diciembre-enero	5680
Total	95 440

(Ecoinvent 2025) en el modelo de Electricidad, media tensión {MX} | mercado de electricidad, media tensión | Corte, S, el cual incluye las entradas de electricidad producidas en México y procedentes de importaciones, así como las transformadas a media tensión, la red de transmisión y las emisiones directas a la atmósfera.

Alcance 3

- Desplazamiento universitario (servicios de movilidad): se aplicó a los estudiantes, académicos y administrativos una encuesta de 14 preguntas de opción múltiple con código QR para recopilar datos sobre los hábitos de transporte. La muestra fue de 200 personas, que representan el 28 % del total de la matrícula registrada en 2022. Aunque el porcentaje de respuestas es bajo, debido en parte a la reincorporación gradual a las actividades presenciales de la comunidad académica por la pandemia de COVID-19, se considera que esta muestra es aceptable cuando se compara con estudios como el realizado por Kiehle et al. (2023), quienes elaboraron un inventario inicial para determinar la HC a partir de un índice de respuesta del 10 %. Respecto a los servicios de transporte que utilizaron los miembros de la comunidad universitaria, se consideraron las siguientes opciones: transporte urbano, Potrobus, automóvil particular, taxi de aplicación, motocicleta, bicicleta y a pie. Se consideraron los viajes personales de ida y regreso al domicilio, el tiempo de traslado, el promedio de kilómetros recorridos, el promedio de pasajeros por unidad, el rendimiento del combustible y el combustible consumido en un día. De acuerdo con el calendario escolar vigente para 2022, se contemplaron, para efectos de los cálculos, 140 días hábiles laborables (**Cuadro VII**).
- Residuos peligrosos: para el cálculo de los residuos peligrosos se consideró el registro del Laboratorio de Ciencias Ambientales (LCA). Estos residuos se generan debido a los procesos de análisis físicos, químicos y biológicos para el

CUADRO VII. SERVICIOS DE TRANSPORTE EN LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX.

Tipo de transporte	Pasajeros viajes/año	Combustible			
		Tipo	Rendimiento (km/L)	Combustible (kg)	Recorrido (km/año)
Urbano	12 040	Diesel	1.70	50 902	103 017
Universitario	11 200	Diesel	1.70	10 363	20 976
Automóvil particular	280	Gasolina	18.60	937.05	23 520
A pie	NA	NA	NA	NA	65
Taxi de aplicación	280	Gasolina	9.60	1 553.22	20 150

NA: no aplica.

desarrollo de prácticas docentes y de investigación. Los residuos se encuentran clasificados de acuerdo con las normas universitarias, registrándose su cantidad, procedencia y composición química. Para determinar la cantidad de residuos peligrosos, se aplicó una densidad promedio de 1 kg/L (**Cuadro VIII**).

CUADRO VIII. COMPOSICIÓN Y CANTIDAD DE RESIDUOS PELIGROSOS EN 2022 EN LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX.

Residuo	Cantidad (kg)
Disolventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contienen halógenos	5.00
Disolventes y soluciones orgánicas que contienen halógenos	5.10
Soluciones salinas (inorgánicas)	21.20

- c. Residuos sólidos urbanos (RSU): para determinar la composición y cantidad de los RSU, se consideró el estudio previo realizado por Becerril et al. (2025), el cual hizo una caracterización y cuantificación de las diferentes fracciones de los RSU durante el periodo de agosto de 2022 a junio de 2023, aplicando el método de cuarteo establecido por la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 (SECOFI 1985), como se observa en el **cuadro IX**.

Evaluación de la HC con modalidades educativas

Como parte del análisis de la HC, se propusieron tres modalidades educativas con el fin de asociar el impacto a los procesos de enseñanza-aprendizaje en el contexto universitario. Esta aproximación

CUADRO IX. COMPOSICIÓN Y CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN 2022 EN LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX.

Categoría	Composición gravimétrica (kg)	Residuos sólidos urbanos (%)
Orgánico	1656	46
Unicel	76.53	7
Plástico	222.40	19
Aluminio	63.47	5
Papel	73.76	6
Cartón	154.08	13
Otros	38.50	3
Total	2 285.14	100

metodológica permitió identificar y cuantificar las principales fuentes de emisión vinculadas con cada modelo pedagógico, considerando las diferencias en el uso de patrones de consumo energético, movilidad y generación de residuos (Paredes-Canencio et al. 2024), los cuales fueron:

- Presencial: mayor consumo institucional de electricidad, mayor movilidad diaria y mayor generación de residuos en el campus. La comunidad asiste regularmente cinco días a la semana.
- Híbrida: reducción parcial de la movilidad. Se considera una asistencia de tres días a la semana, mientras que en los dos restantes las clases se imparten de manera virtual.
- Virtual: eliminación casi total de la movilidad y de los residuos institucionales. El consumo eléctrico se desplaza al hogar.

Análisis de sensibilidad e incertidumbre para el sector transporte

En la modalidad educativa presencial, las metas de mitigación para México que han sido expuestas en

las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), se encuentra la transformación en el transporte público, fomentando programas de transporte limpio y una planeación urbana con criterios de cambio climático (SEMARNAT-INECC 2025). A partir de ello, se analizaron escenarios con el objetivo de evaluar el efecto de las distintas fuentes de energía empleadas en el servicio de transporte urbano sobre la HC. Este análisis se centró en el combustible que utiliza el transporte público en los desplazamientos diarios, principalmente de los estudiantes (Pérez-López et al. 2021), considerando los siguientes escenarios:

- a. Escenario 1: se usaron los mismos datos de movilidad (distancia, rendimiento y tecnología), haciendo referencia a la quema de combustible diésel, con un factor de emisión de 1.02 kgCO₂eq/kg de acuerdo con lo reportado por Ecoinvent (2025).
- b. Escenario 2: se preestablece que toda la flota del transporte urbano utiliza gas natural comprimido. En este caso, el factor utilizado es de 0.524 kgCO₂eq/kg (Ecoinvent 2025). Las distancias de traslado se mantienen.
- c. Escenario 3: se considera que toda la flota del transporte urbano es eléctrica. En este caso, el factor utilizado es de 0.44 kgCO₂eq/kW/h. Las distancias de traslado se mantienen.
- d. Escenario 4: considera toda la flota del transporte urbano, la cual consume energía proveniente en un 50 % de la matriz eléctrica nacional, mientras que el restante 50 % proviene de la generación solar fotovoltaica. El factor de emisión de la matriz eléctrica nacional es el mismo que el reportado en el escenario 2. Para el caso de la energía fotovoltaica, se empleó un factor de 0.0154 kgCO₂eq/MJ (Ecoinvent 2025). Las distancias de traslado se mantienen.
- e. Escenario 5: toda la flota del transporte urbano es de energía fotovoltaica. El factor de emisión es el mismo que el reportado en el escenario 4, y las distancias de traslado se mantienen.
- f. Escenario 6: considera toda la flota del transporte urbano, la cual opera con una mezcla energética compuesta por 20 % de biodiésel y 80 % de diésel fósil (B20). Para esta mezcla se empleó un factor de emisión de 0.573 kgCO₂eq/kg de combustible, de acuerdo con la base de datos Ecoinvent (2025). En este escenario, las distancias de traslado se mantienen constantes respecto al escenario base.

Como parte de la trazabilidad, consistencia metodológica y validez comparativa de los FE, se realizó un análisis de incertidumbre mediante la metodología de Monte Carlo (Kouridis et al. 2010, Torok 2015)

desarrollada en el software SimaPro 10.2.0.2 PhD, lo que permitió evaluar la variabilidad estadística de los resultados con múltiples iteraciones. Para la modelación ambiental, se eligió el modelo: Diésel bajo en azufre {GLO} | Grupo de mercado para diésel bajo en azufre | Corte, U de Ecoinvent, y se evaluó mediante el método de evaluación de impacto ambiental IPCC 2021 GWP100 v1.03 (Kiehle et al. 2023), integrando el FE y los rangos de incertidumbre asociados a este tipo de combustible.

Relación entre los ODS y la HC

La sinergia de mitigación que establecen las NDC con la Agenda 2030, permite alinear la HC en IES (SEMARNAT-INECC 2025). Para dicha alineación se utilizaron como base las 169 metas específicas globales e indicadores que rigen el cumplimiento de cada objetivo (Hannouf et al. 2023). Lo anterior se realizó con base en las fuentes de emisión evaluadas en este estudio. Al considerar las modalidades educativas, se ponderó cada ODS conforme al avance nacional obtenido en México para las NDC y de acuerdo con los indicadores reportados en el Sistema de Información de los ODS SEMARNAT-INECC 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El **cuadro X** muestra el inventario de actividades y sus emisiones por alcance con valores totales y contribución porcentual. Durante el periodo de diciembre de 2022 a enero de 2023, la HC total para la FaPUR fue de 157.82 tCO₂eq, distribuida en 14, 37 y 49 % para los alcances 1, 2 y 3, respectivamente. Considerando la participación de las diferentes actividades, el consumo eléctrico fue el principal contribuyente (37.19 %), seguido por el transporte urbano (32.90 %) y el transporte para prácticas de campo (8.83 %).

Interpretación de la HC por alcance Alcance 1

En relación con el alcance 1, la FaPUR generó 22.17 tCO₂eq (14.05 %) durante 2022. De este subtotal, 13.93 tCO₂eq provinieron de las prácticas de campo, tomando en cuenta que durante su recorrido se consume diésel (Szyszkowicz 2024). El uso de los vehículos institucionales (camioneta Dodge y automóvil Volkswagen Vento) contribuyó con 6.23 tCO₂eq, siendo el automóvil el más utilizado por las autoridades para desplazamientos dentro de la ciudad. Por su parte, la camioneta se utiliza para viajes más largos en carretera, lo que implica

CUADRO X. EMISIONES TOTALES Y PARTICIPACIÓN PORCENTUAL POR ALCANCE EN LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL DE LA UAEMEX..

Alcance	Actividad	Emisiones totales (tCO ₂ eq)	Participación (%)
1	Vehículo 1	2.16	1.37
	Vehículo 2	4.07	2.58
	Papel higiénico	0.24	0.15
	Papel bond	0.54	0.34
	Tóner	1.23	0.78
	Prácticas de campo	13.93	8.83
	Subtotal	22.17	14.05
2	Consumo eléctrico	58.70	37.19
3	Automóvil personal	7.21	4.57
	Transporte de aplicación	6.17	3.91
	Transporte universitario	10.57	6.70
	Transporte urbano	51.92	32.90
	Motocicleta	0.90	0.57
	Residuos peligrosos	0.08	0.05
	Residuos sólidos urbanos	0.12	0.07
	Subtotal	76.96	48.77
	Total	157.82	100.00

un mayor consumo de combustible y un menor rendimiento; sin embargo, su uso no supera al del automóvil. Finalmente, los cartuchos de impresión adquiridos por la institución para las actividades administrativas del espacio académico contribuyen con 1.23 tCO₂eq.

Alcance 2

Para el alcance 2 se obtuvo una emisión total de 58.70 tCO₂eq. (37.19 %), que representan la primera emisión total por actividad de la HC institucional. Los registros de consumo eléctrico reportaron un pico en el bimestre de noviembre-diciembre de 2022 (**Fig. 3**), considerado como la temporada de mayor actividad interna debido al aumento de los procesos administrativos y de evaluación. Para efectos del estudio, no fue posible identificar los usos específicos del consumo eléctrico, ya que en los registros administrativos no se consigna el consumo por edificio ni por actividad.

Alcance 3

Las emisiones para el alcance 3 fueron de 76.96 tCO₂eq, siendo el uso del transporte urbano el principal emisor con el 32.90%. De manera específica, la actividad de transporte fue la principal fuente de emisiones identificada en la HC debido al consumo de combustibles fósiles como el diésel (Szyszkowicz

2024), distribuida en primer lugar en el transporte urbano y, en segundo lugar, en el transporte universitario Potrobus (51.92 y 10.57 tCO₂eq, respectivamente). Asimismo, el automóvil particular y el servicio de taxi en conjunto generaron una emisión de 13.37 tCO₂eq, considerando un trayecto promedio de 60 min diarios.

Es destacable la participación del transporte urbano dentro de la HC; sin embargo, tomando en cuenta las preferencias de transporte de la comunidad académica (**Fig. 4**) y su tiempo de traslado, aunadas al hecho de que la matriz energética de México muestra que el 90.12 % del autotransporte utiliza gasolina y diésel como combustible principal (SENER 2022), es posible explicar la magnitud de la participación de este segmento en el alcance 3 con la evaluación de la HC institucional.

Finalmente, la participación de los RSU y residuos peligrosos fue marginal dentro de la HC (0.19 tCO₂eq), condición similar a otros estudios reportados (Mendoza-Flores et al. 2019, Cano et al. 2023). No obstante, representa una ventana de oportunidad para establecer controles y registros más rigurosos que provean información complementaria en el ámbito académico.

Para contextualizar el análisis interinstitucional, se recopiló información de diversas IES latinoamericanas (**Cuadro XI**), que han reportado sus emisiones

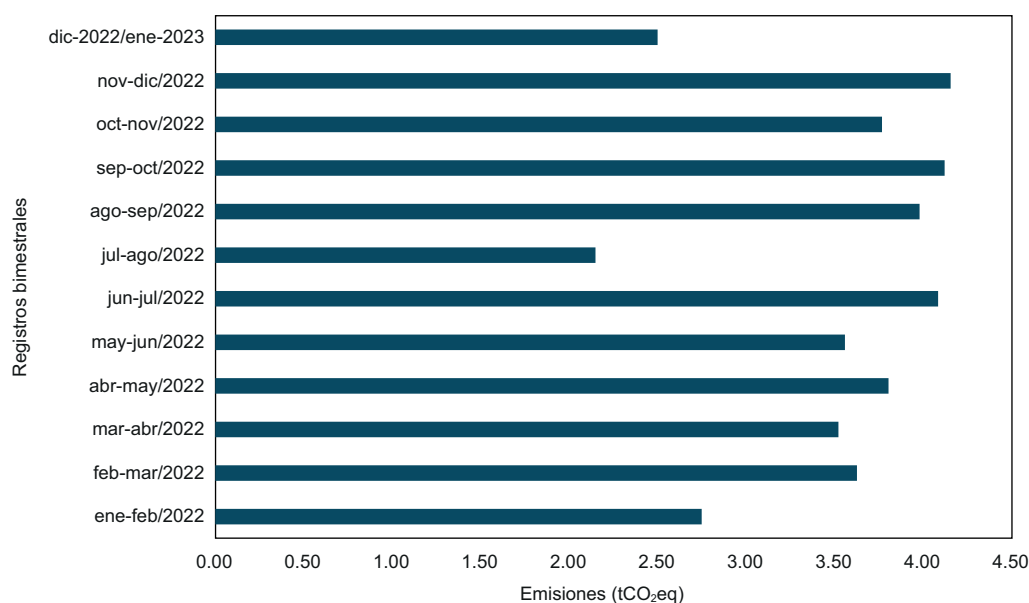


Fig. 3. Emisiones derivadas del consumo eléctrico de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMEX en 2022.

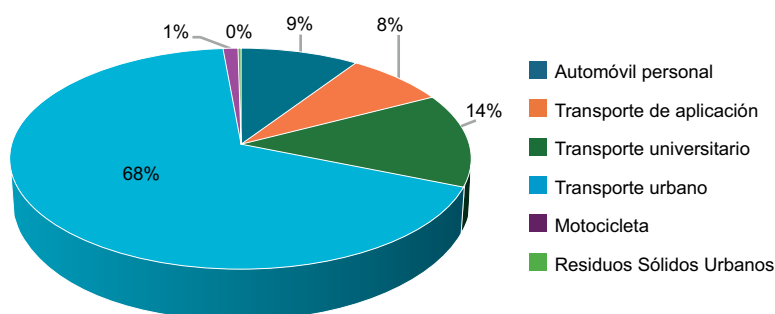


Fig. 4. Participación porcentual de las actividades del alcance 3 en la huella de carbono de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMEX en 2022.

CUADRO XI. HUELLAS DE CARBONO EN DIFERENTES INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LATINOAMÉRICA.

Universidad	País	Año	Emisión (tCO ₂ eq)		Alcance (%)			Referencia
			Total	Per cápita	1	2	3	
UABC Tecate	México	2016	882.6	0.88	1	93	6	Rojas (2017)
UAM Cuajimalpa	México	2016	2956.2	1.07	4	24	72	Mendoza et al. (2019)
II UNAM	México	2010	1577.0	1.47	5	42	53	Güereca et al. (2013)
UT campus Curico	Chile	2012	1568.6	1.00	16	16	68	Vásquez et al. (2015)
Saint Thomas University	Colombia	2018	2415.8	0.07	18	34	48	Cano et al. (2023)
PUCRJ campus Gávea	Brasil	2011	5782.0	0.29	1.5	0.2	98.3	Carvalho et al. (2017)
FaPUR UAEMEX	México	2022	157.82	0.22	14	37	49	Este estudio

UABC: Universidad Autónoma de Baja California; UAM: Universidad Autónoma Metropolitana; UT: Universidad de Talca; II UNAM: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; PUCRJ: Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro; FaPUR UAEMEX: Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.

de GEI mediante metodologías basadas en los lineamientos del Protocolo GEI.

El análisis comparativo de la HC entre las diferentes universidades latinoamericanas, incluida la del presente estudio, muestra una amplia variabilidad en las emisiones totales y per cápita, influida por factores como el tamaño institucional, el alcance metodológico de los estudios incluidos, el consumo eléctrico, el patrón de movilidad urbana, así como la matriz energética del país en cuestión. La HC per cápita en universidades nacionales tuvo un rango de 0.22-1.47 tCO₂eq/persona/año, ocupando el extremo inferior la determinada en este estudio, en tanto que la más alta fue para el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Estos valores se ubican por debajo del promedio para las universidades de Norteamérica y Europa (1.8-5.5 tCO₂eq/persona/año), analizadas en el estudio de De Carvalho et al. (2017). Al intentar una explicación del origen de estas diferencias regionales, se observa que en las universidades europeas y estadounidenses domina el alcance 2, que identifica un consumo energético elevado, explicado principalmente por su ubicación geográfica (clima frío), laboratorios energéticamente intensivos, grandes complejos, y alta movilidad en el transporte aéreo y en menor medida el transporte terrestre, considerando que en muchos de estos espacios existen estancias para docentes y alumnos que reducen la necesidad de emplear masivamente el transporte motorizado. En contraste, la huella de las universidades latinoamericanas está dominada por la movilidad mediante transporte de combustión interna (alcance 3). Su dependencia de la matriz energética nacional (alcance 2) y la ausencia casi generalizada de calefacción en sus instalaciones debido a sus climas templados y cálidos. La HC de la FaPUR se ajusta a las condiciones anteriores, ya que se comporta como un campus docente urbano de baja intensidad energética, similar al de Universidad de Talca-Campus Curico (Vásquez et al. 2015), y en menor medida al de Universidad Autónoma de Nuevo León (Cano et al. 2023), pero muy distinto al del II-UNAM o la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (Güereca et al. 2013, De Carvalho et al. 2017). El caso de la Universidad Autónoma de Baja California, Campus Tecate, rompe este patrón debido a condiciones climáticas más extremas que determinan el uso intensivo de clima artificial (alcance 2 dominante). Frente a estos hallazgos y comparaciones, destaca la necesidad de profundizar en un inventario más completo para la FaPUR, basado en la generación y el control de registros de indicadores que permitan abordar con mayor detalle el estudio de su HC y, con ello, avanzar hacia la neutralidad en sus emisiones.

La variabilidad de los resultados de la HC en las instituciones educativas también ha mostrado discrepancias entre los FE utilizados, debido a las matrices energéticas (Lee y Lee 2021) y a los inventarios de ciclo de vida en las bases de datos (desde la extracción de materias primas hasta su fin de vida). En este contexto, y como parte del desarrollo de esta investigación, se analizaron los FE de Ecoinvent, identificando las siguientes limitaciones (Ciroth et al. 2016, Weyand et al. 2023): ausencia de bases específicas para el contexto mexicano e incertidumbre del modelo del IPCC para calcular las emisiones de GEI, las cuales se estiman en un 10 %, de acuerdo con lo reportado por Chen et al. (2021).

Modalidades educativas para contrarrestar la HC

Con el fin de comparar el impacto ambiental asociado a diferentes modalidades educativas en la universidad, se analizaron tres modalidades: presencial, virtual e híbrida. Los resultados se expresaron como contribuciones ambientales relativas, considerando variables como consumo energético en las instalaciones académicas, uso de transporte para los desplazamientos cotidianos y generación de residuos durante las actividades formativas (Pérez-López et al. 2021).

En la **figura 5**, la modalidad presencial representa el 100 % de la contribución ambiental, debido a su demanda de energía para iluminación y operación de edificios, además del uso intensivo del transporte urbano por parte de estudiantes. En contraste, la modalidad virtual presenta únicamente el 20 % del impacto ambiental relativo, ya que elimina prácticamente la totalidad de los desplazamientos y reduce significativamente el uso de infraestructura física. La modalidad híbrida ocupa una posición intermedia,

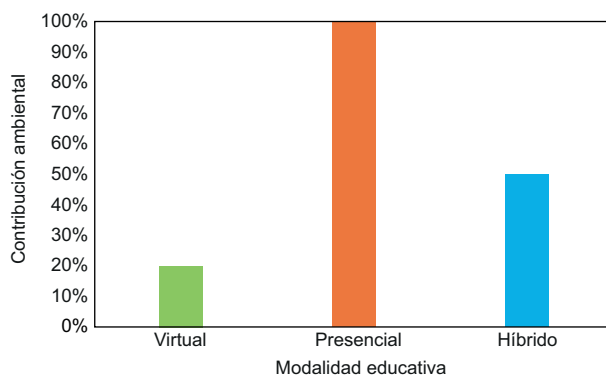


Fig. 5. Contribución ambiental porcentual de la huella de carbono para tres modalidades educativas: presencial, virtual e híbrida.

con un 50 %, lo cual refleja que la combinación de actividades presenciales y remotas puede disminuir de manera sustancial la HC sin renunciar completamente a la interacción presencial.

Escenarios para contrarrestar la HC en el sector transporte

En una modalidad educativa presencial, la movilidad de la comunidad universitaria constituye uno de los principales factores que contribuyen a la HC, debido al uso intensivo del transporte público para los desplazamientos diarios al campus. Dada la magnitud de esta contribución, se evaluaron diferentes escenarios de movilidad como estrategia para la reducción de emisiones, mediante la aplicación de un análisis de sensibilidad (**Fig. 6**), con el objetivo de identificar el desempeño ambiental de los sistemas de transporte urbano en función de su fuente energética, de acuerdo con lo reportado por Alanís et al. (2025). Los resultados indican que el escenario S5, asociado con el uso de energías renovables, como la energía solar fotovoltaica, reduce la HC en un 97 %, seguido del escenario eléctrico-renovable (S4), con un 81 %, y el eléctrico (S3) con una reducción del 63

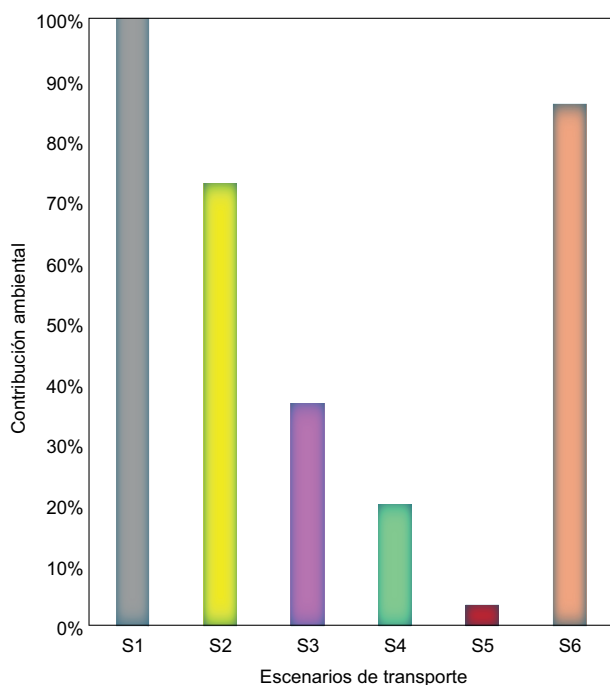


Fig. 6. Contribución ambiental a la huella de carbono institucional en distintos escenarios de transporte urbano (S1: diésel; S2: gas natural; S3: eléctrico; S4: 50 % de la mezcla eléctrica nacional y 50 % de solar fotovoltaica; S5: solar fotovoltaica; S6: 20 % de biodiésel y 80 % de diésel), en función de la fuente energética.

%. Por su parte, el uso de mezclas de biodiésel (S6), disminuye la HC en un 14%, posicionándose como una alternativa dentro de la UAEMEX, particularmente en el marco de la valorización energética del aceite de cocina residual que generan las cafeterías universitarias (Alanís et al. 2022).

Se ha demostrado que los autobuses eléctricos disminuyen entre un 30 y un 70 % las emisiones de GEI, dependiendo de la fuente energética utilizada para la recarga y del patrón operativo (Nordelöf et al. 2019, Cano et al. 2023). La implementación de autobuses eléctricos favorece la transición hacia sistemas de transporte más sostenibles, alineados con los principios de movilidad baja en carbono y con los ODS, en particular el 7 y el 13. Recientemente, la UAEMEX presentó su primer sistema de transporte universitario eléctrico, cuyo propósito es incorporar progresivamente unidades de este tipo al servicio de los Potrobuses. Esta iniciativa busca avanzar hacia un modelo de transporte más limpio, eficiente y sostenible, respondiendo a los retos ambientales actuales y fortaleciendo el compromiso institucional con la mitigación del cambio climático (Digitalmex 2025).

A partir del escenario S1 se realizó el análisis de incertidumbre del FE reportado para el consumo de diésel en el transporte urbano, con la metodología de Monte Carlo en el software SimaPro PhD (Torok 2015). Con este análisis se obtuvo un promedio de 1.02 kgCO₂eq (mediana: 0.99 kgCO₂eq), lo que indica una distribución simétrica sin sesgos significativos. La desviación estándar de 0.14 y el error estándar de 0.004 confirman la robustez frente al impacto ambiental estimada para el transporte urbano. El coeficiente de variación del 14.30 % es aceptable para estudios con datos secundarios. El intervalo de confianza del 95 % varía entre 0.79 y 1.36 kgCO₂eq (Cruz et al. 2024).

Alineación de los ODS con la evaluación de la HC en IES

La pandemia por COVID-19 modificó de manera profunda las dinámicas educativas, evidenciando la necesidad de adaptar los modelos de operación institucional a esquemas más flexibles y resilientes. Entre 2020 y 2022, las IES migraron aceleradamente de un modelo presencial tradicional a modalidades virtuales y, posteriormente, a esquemas híbridos que combinan actividades a distancia y en campus (Silva et al. 2021). Este cambio reveló impactos significativos no solo en los procesos de enseñanza-aprendizaje, sino también en los patrones de consumo energético, de movilidad y de uso de infraestructura; en consecuencia, en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (Leal et al. 2022).

En la alineación de los ODS con la HC, se identificaron seis objetivos directamente relacionados (**Fig. 7**). Para evaluar el grado de cumplimiento de cada ODS, se analizó el desempeño de las distintas modalidades educativas mediante la asignación de puntuaciones ponderadas, lo cual resulta particularmente relevante, dado que tanto la HC como las modalidades propuestas inciden de manera diferenciada en cada objetivo. Este enfoque permitió estimar el nivel de avance en el cumplimiento de las metas de los ODS, reflejando el impacto de las acciones institucionales en el corto plazo y su contribución al logro de los compromisos establecidos en la Agenda 2030.

El análisis de la factibilidad entre la reducción de la HC y el cumplimiento de los ODS permitió identificar cuál de las modalidades ofrece mayores beneficios ambientales sin comprometer la calidad educativa (**Fig. 8**). Esta relación es clave para las IES, ya que les permite tomar decisiones informadas en su transición hacia modelos más sostenibles. En el caso de la modalidad virtual, se cumple con un 30-80 % de factibilidad, lo cual significa que el aprendizaje no alcanzará la eficiencia académica deseada de acuerdo con los ODS. Sin embargo, la HC disminuirá, ya que no existen actividades en el espacio académico. Por otra parte, la modalidad presencial cumple en un rango del 30 al 90 %, lo cual indica que existirán emisiones dentro del espacio educativo de acuerdo

con las actividades; pero, a diferencia de la modalidad anterior, y de acuerdo con lo establecido en la Agenda 2030, el aprendizaje no se verá afectado. Finalmente, la modalidad híbrida cumple en un rango del 60 al 80 %, lo cual quiere decir que tanto la HC como el aprendizaje cumplen en su mayoría con los criterios establecidos por los ODS correspondientes.

Con base en lo anterior, la FaPUR de la UAEMEX podría implementar un modelo de enseñanza híbrido, combinando actividades virtuales y presenciales, asegurando que la calidad de la formación académica no se vea afectada y manteniendo la flexibilidad para la comunidad estudiantil. Esta estrategia no solo contribuiría a reducir la HC, sino que también se presenta como una medida eficaz para disminuir el impacto ambiental. Por su parte, la modalidad virtual logra reducir de manera significativa las emisiones derivadas de los desplazamientos de estudiantes, profesores y personal administrativo, así como optimizar el consumo de energía, agua y la producción de residuos en las instalaciones físicas.

CONCLUSIONES

La estimación de la huella de carbono en los espacios académicos de la Universidad Autónoma del Estado de México constituye un indicador clave para

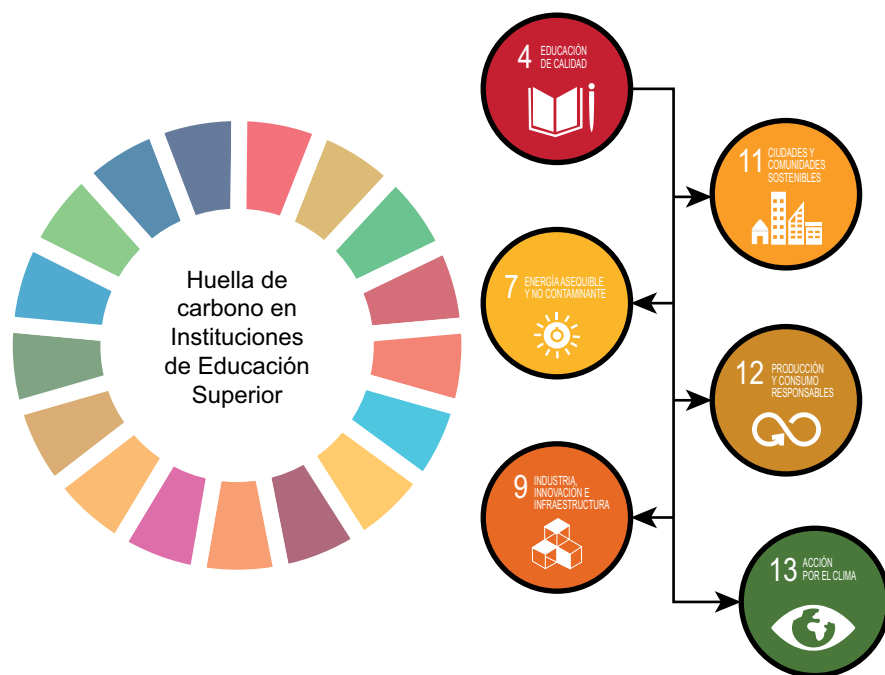


Fig. 7. Alineación de la huella de carbono en las instituciones de educación superior con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

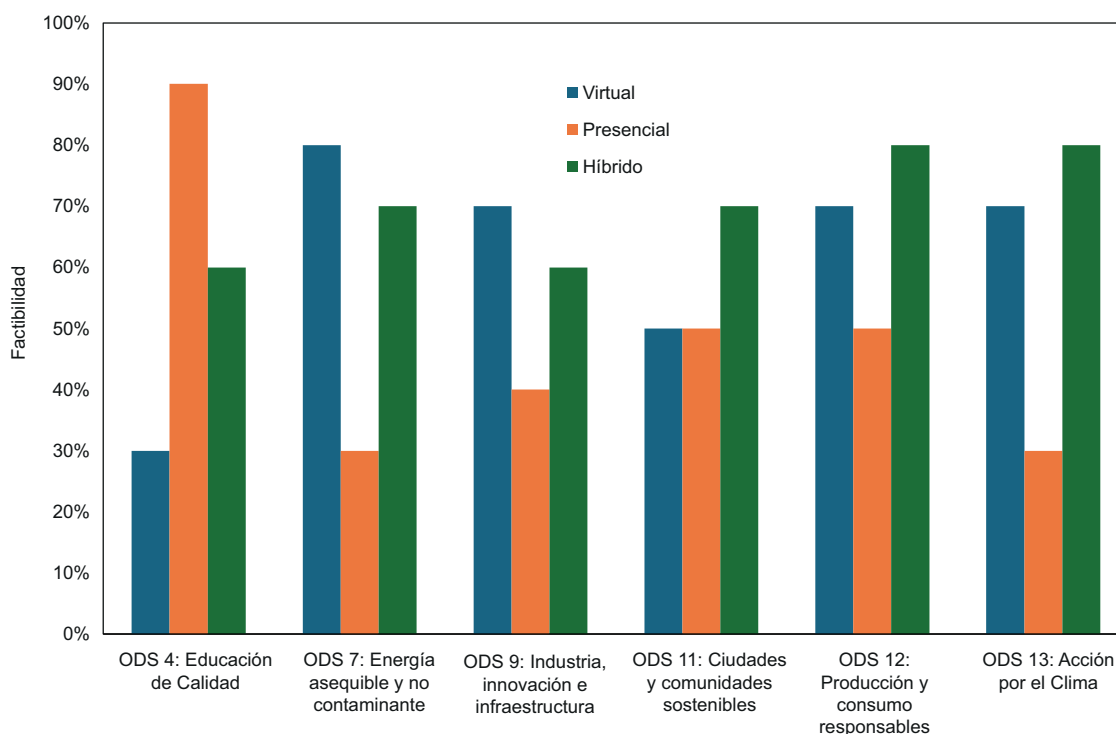


Fig. 8. Porcentaje de factibilidad entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la huella de carbono para las modalidades educativas: virtual, presencial e híbrida.

de la institución, ya que ofrece una visión integral del impacto ambiental derivado de sus actividades educativas, administrativas y de investigación. La utilización de factores de emisión provenientes de una fuente homogénea, específicamente de la base de datos Ecoinvent, permitió garantizar la coherencia y congruencia metodológica en la estimación de la huella de carbono, fortaleciendo la robustez y comparabilidad de los resultados obtenidos. La huella de carbono para la Facultad de Planeación Urbana y Regional, en su modalidad educativa presencial, con base en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, fue de 157.82 tCO₂eq durante 2022, de las cuales el 14.05 % correspondió al alcance 1; el 37.19 % al alcance 2; y el 48.77 % al alcance 3. Dentro de este último, el transporte urbano tuvo la mayor contribución ambiental, con un 32.90 %. Considerando la participación individual de la comunidad académica, la huella per cápita anual fue de 0.22 tCO₂eq anuales, que se ubica en un rango medio-bajo, similar a otras universidades latinoamericanas cuyo perfil está definido por el predominio del transporte de combustión interna y su dependencia de la matriz energética nacional. El uso del transporte urbano fue la principal fuente de emisiones, por lo que se propusieron seis escenarios

para contrarrestar la huella de carbono, siendo el eléctrico una opción favorable para reducirla en un 63 %, cambiando a un modelo de transporte más limpio, eficiente y sostenible. Para el análisis de incertidumbre en los factores de emisión con la metodología de Monte Carlo, se confirma la robustez al impacto ambiental estimado para el transporte urbano. En el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la modalidad educativa híbrida tuvo una relación entre el 60 y el 80 %, considerando las emisiones asociadas a la movilidad universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) (CVU 360631 y 100403) y al proyecto de investigación con financiamiento de la Secretaría de Ciencia de la Universidad Autónoma del Estado de México (7205/2025CIC). Asimismo, a la Consolidación de Grupos de Investigación y Estudios Avanzados, la Red de Análisis de Ciclo de Vida y Sostenibilidad (5083/REDP2020) y la Red de Ingeniería de Reacciones Químicas en Catálisis (6618/REDP2022). El estudio se realizó sin la recopilación de datos

personales identificables, garantizando la confidencialidad y el anonimato de los participantes.

REFERENCIAS

- Alanís C., Ávila Córdoba L., Álvarez Arteaga G., Romero R., Padilla-Rivera A. y Natividad R. (2022). Strategies to improve the sustainability of the heterogeneous catalysed biodiesel production from waste cooking oil. *Journal of Cleaner Production* 380, 134970-134980. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134970>
- Alanís C., Ávila-Córdoba L., Cruz-Olayo A., Natividad R. y Padilla-Rivera A. (2025). Integrating environmental and social life cycle assessment for sustainable university mobility strategies. *Sustainability* 17 (16), 7456-7480. <https://doi.org/10.3390/su17167456>
- Battistini R., Passarini F., Marrollo R., Lantieri C., Simone A. y Vignali V. (2022). How to assess the carbon footprint of a large university? The case study of the University of Bologna's multicampus organization. *Energies* 16 (1), 166-188. <https://doi.org/10.3390/en16010166>
- Becerril N.I.C., Ramírez C.I.A. y Álvarez Arteaga G. (2025). Perspectiva de ciclo de vida de residuos orgánicos en un espacio académico. *Quivera Revista de Estudios Territoriales* 27 (2), 181-204. <https://doi.org/10.36677/qret.v27i2.25837>
- Cano N., Berrio L., Carvajal E. 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 (2), 3980-3996. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22119-4>
- Chankseliani M. y McCowan T. (2021). Higher education and the sustainable development goals. *Higher Education* 81 (1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s10734-020-00652-w>
- Chen X., Matthews H.S. y Griffin W.M. (2021). Uncertainty caused by life cycle impact assessment methods: Case studies in process-based LCI databases. *Resources, Conservation and Recycling* 172, 105678-105687. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105678>
- Circularise (2022). Scope 1, 2, 3 emissions explained [en línea]. <https://www.circularise.com/blogs/scope-1-2-3-emissions-explained> 18/11/2025
- Ciroth A., Muller S., Weidema B. y Lesage P. (2016). Empirically based uncertainty factors for the pedigree matrix in ecoinvent. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21 (9), 1338-1348. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0670-5>
- COMPLEXUS (2013). Indicadores para medir la contribución de las instituciones de educación superior a la sustentabilidad. Consorcio Mexicano de Instituciones de Educación Superior para la Sustentabilidad [en línea]. <http://complexus.org.mx/> 18/11/2025
- CONUEE (2025). Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Gobierno de México [en línea]. <https://www.gob.mx/conuee> 08/11/2025
- Cruz Ake S., Ortiz Arango F. y García Ruiz R. S. (2024). Possible paths for Mexico's electricity system in the clean energy transition. *Utilities Policy* 87, 101716-101729. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2024.101716>
- De Carvalho J.P.A.F., van Elk A.G.H.P. y Romanel C. (2017). Inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus gávea da PUC-Rio. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22 (3), 591-595. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017155865>
- Deda D., Gervasio H. y Quina M. (2025a). Advancing carbon footprint in higher education: An integrated assessment model. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 30 (9), 1930-1943. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02514-y>
- Deda D., Manzolli J. A., Quina M. J. y Gervasio H. (2025b). The road to 2030: Combining life cycle assessment and multi-criteria decision analysis to evaluate commuting alternatives in a university context. *Sustainability* 17 (13), 5839-5870. <https://doi.org/10.3390/su17135839>
- Digitalmex (2025). UAEMéx pone a prueba su primer Potrobús eléctrico en la ruta CU-Lerma [en línea]. <https://www.digitalmex.mx/estado-de-mexico/story/62471/uaemex-prueba-unidad-electrica-ruta-potrobus-cu-lerma> 22/10/2025
- Ecoinvent (2025). Ecoinvent v3.10. Sectors updated include fuels, electricity, chemicals and plastics, waste, metals, textiles, forestry and wood, agriculture, transport, pulp and paper, and batteries. Zúrich, Suiza [en línea]. <https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-10/> 20/10/2025
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirschier R., Nemecek T., Rebitzer G. y Spielmann M. (2005). The ecoinvent database: Overview and methodological framework. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10 (1), 3-9. <https://doi.org/10.1065/lca2004.10.181.1>
- GM (2024). GreenMetric guideline 2024 [en línea]. <https://uigreenmetric.com/resources/university/guidelines/2024/english> 25/10/2025
- Grindsted T.S. (2011). Sustainable universities from declarations on sustainability in higher education to national law. *Environmental Economics* 2 (2), 1-8. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2697465>
- Güereca L.P., Torres N. y Noyola A. (2013). Carbon footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production* 47, 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.030>

- Hannouf M. B., Padilla-Rivera A., Assefa G. y Gates I. (2023). Methodological framework to find links between life cycle sustainability assessment categories and the UN sustainable development goals based on literature. *Journal of Industrial Ecology* 27 (3), 707-725. <https://doi.org/10.1111/jiec.13283>
- IPCC (2023). Summary for policymakers. En: *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Lee H. y Romero J., Eds.). Ginebra, Suiza, 1-34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- ISO (2019). Gases de efecto invernadero. Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero Organización Internacional de Normalización ISO 14064-2:2019. Ginebra, Suiza.
- ISO (2025). Gases de efecto invernadero, cuantificación e informe de las emisiones de gases de efecto invernadero para las organizaciones, orientación para la aplicación de la Norma Internacional ISO 14064-1. Organización Internacional de Normalización ISO/TR 14064-4:2025. Ginebra, Suiza.
- Kiehle J., Kopsakangas-Savolainen M., Hilli M. y Pongrácz E. (2023). Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. *Journal of Environmental Management*, (329), 117056-117070. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117056>
- Kouridis C., Gkatzoflias D., Kioutsioukis I., Ntziachristos L., Pastorello C. y Dilara P. (2010). Uncertainty estimates and guidance for road transport emission calculations. Publications Office of the European Union. Ispra, Italia, 165 pp.
- Leal Filho W., Lange Salvia A., Abubakar I. R., Mifsud M., Azadi H., Sharifi, A., LeVasseur T., Luetz J. M., Velazquez L., Singh, P., Pretorius R., Akib N. A. M., Savelyeva T., Brandli L., Muthu N. y Lombardi P. (2022). Impacts of the COVID-19 pandemic on routines of higher education institutions: A global perspective. *Sustainability* 14 (21), 14105-14124. <https://doi.org/10.3390/su142114105>
- Lee K.M. y Lee M.H. (2021). Uncertainty of the electricity emission factor incorporating the uncertainty of the fuel emission factors. *Energies* 14 (18), 5697-5710. <https://doi.org/10.3390/en14185697>
- Mendoza-Flores R., Quintero-Ramírez R. y Ortiz I. (2019). The carbon footprint of a public university campus in Mexico City. *Carbon Management* 10 (5), 501-511. <https://doi.org/10.1080/17583004.2019.1642042>
- Nordelöf A., Romare M. y Tivander J. (2019). Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 75, 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.019>
- Paredes-Canencio K.N., Lasso A., Castrillón, R., Vidal-Medina J.R. y Quispe E.C. (2024). Carbon footprint of higher education institutions. *Environment, Development and Sustainability* 26 (12), 30239-30272. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04596-4>
- Pérez-López J.-B., Orro A. y Novales M. (2021). Environmental impact of mobility in higher-education institutions: the case of the ecological footprint at the University of A Coruña (Spain). *Sustainability* 13 (11), 6190-6208. <https://doi.org/10.3390/su13116190>
- PS (2025). Pré Sustainability. SimaPro [en línea]. <https://pre-sustainability.com/> 20/01/2026
- Quintero-Núñez M., López-Millán M.C., Bisegna F., García-Cueto O.R., Ojeda-Benítez S. y Santillán-Soto N. (2015). Carbon and ecological footprints: Tools for measuring the sustainability of the Institute of Engineering at the UABC, Mexicali, Baja California, México. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 199, 3-13. <https://doi.org/10.2495/RAV150011>
- Ríos-Saldaña C.A., Maldonado Pesina E. y Galarza O. (2023). Huella de carbono del consumo eléctrico de un campus universitario del noreste de México [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/374002589> 08/03/2026
- Rojas M. (2017). Estimación de la huella de carbono en una institución de educación superior: caso Facultad de Ingeniería y Negocios, unidad Tecate, Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México, 62 pp.
- SEMARNAT-INECC (2025). Actualización de la contribución determinada a nivel nacional 3.0 de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- SENER (2023). Balance Nacional de Energía 2022. Secretaría de Energía, Ciudad de México, México, 242 pp.
- Silva D.A.L., Giusti G., Rampasso I.S., Junior A.C.F., Marins M.A.S. y Anholon R. (2021). The environmental impacts of face-to-face and remote university classes during the COVID-19 pandemic. *Sustainable Production and Consumption* 27, 1975-1988. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.05.002>
- SECOFI (1985). Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales, muestreo, método de cuarteo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación, México, 18 de marzo.
- Szyszkowicz M. (2024). Diesel engine age and fine particulate matter concentrations in school buses. *Air* 2 (3), 220-228. <https://doi.org/10.3390/air2030013>

- Torok A. (2015). Monte-Carlo simulation of road transport emission. *International Journal for Traffic and Transport Engineering* 5 (3), 278-285. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(3\).05](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(3).05)
- Townsend J. y Barrett J. (2015). Exploring the applications of carbon footprinting towards sustainability at a UK university: Reporting and decision making. *Journal of Cleaner Production* 107, 164-176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.004>
- UAEMEX (2021). Plan Rector de Desarrollo Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México (2021-2025). Toluca, Estado de México, 22 pp.
- UAEMEX (2024). Agenda estadística 2024. Observatorio Dinámico de Datos Estadísticos, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, 552 pp.
- UNDG (2018). Desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: desafíos y ejes de política pública. Grupo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe, Panamá [en línea]. www.undg.org/lac 20/01/2026
- UNESCO (2018). Guía abreviada de indicadores de educación para el objetivo de desarrollo sostenible 4. Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Montreal, Quebec, Canadá, 46 pp.
- Vásquez L., Iriarte A., Almeida M. y Villalobos P. (2015). Evaluation of greenhouse gas emissions and proposals for their reduction at a university campus in Chile. *Journal of Cleaner Production* 108, 924-930. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.073>
- Weyand A., Bausch, P., Engel B., Metternich, J. y Weigold M. (2023). Analysis of uncertainty factors in part-specific greenhouse gas accounting. *Sustainability* 15 (24), 16871-16888. <https://doi.org/10.3390/su152416871>
- WRI (2004). The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard. World Resources Institute, Washington D.C., EUA, 116 pp.