

Estimación de Huella de Carbono en instalaciones de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero

Estimation of Carbon Footprint in facilities of the Faculty of Forestry Sciences, National University of Santiago del Estero

Luana Prados*

Universidad Nacional de Santiago del Estero, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

luana1prados@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-2923-6661>

Gabriela Giuliano**

Universidad Nacional de Santiago del Estero, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

gm.giuliano@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7226-8925>

Beatriz Garzón***

Universidad Nacional de Tucumán, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

bgarzon2022@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>

Fecha de envío: 24 de febrero de 2025

Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2025

Fecha de publicación: diciembre de 2025

Disponible en: <https://doi.org/10.24215/24226483e155>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

* Licenciada en ecología y conservación del ambiente por la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina. Becaria Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

** Doctora en Ciencias en el área de Energías Renovables por la Universidad Nacional de Salta (UNSa). Arquitecta por la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Profesora de Cátedras de Conocimiento de Edificio y Arquitectura en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT, UNSE). Investigadora Asistente del CONICET. Codirectora del Grupo de Hábitat Sustentable y Saludable (GHabSS) de FAU, UNT – FCEyT, UNSE

*** Doctora en Ciencias en el área de Energías Renovables por la Universidad Nacional de Salta (UNSa). Arquitecta por la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Profesora Asociada a cargo de Cátedras en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU, UNT). Investigadora Independiente del CONICET. Directora del Grupo de Hábitat Sustentable y Saludable (GHabSS) de FAU, UNT – FCEyT, UNSE.

Resumen

Frente al cambio climático, la medición de Huella de Carbono (HC) en el ámbito universitario representa una oportunidad para que las instituciones se comprometan activamente con la mitigación de sus impactos. Este trabajo tiene como objetivo estimar la HC para la Facultad de Ciencias Forestales (FCF), Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), durante el período 2019-2022. Se adopta la Norma IRAM-ISO 14064-1:2020 como referencia para estimar las emisiones de GEI a partir de datos relevados. En 2019, se registraron las mayores emisiones anuales, 117,4 tCO₂e, de las cuales el 66,4% derivaron del consumo eléctrico y el 33,6% de la combustión en vehículos institucionales. Las emisiones por desplazamientos del personal y estudiantes hacia la FCF en 2023 fueron las de mayor impacto: 155,5 tCO₂e. El análisis permitió identificar las principales fuentes de emisión, brindando un diagnóstico inicial para mejorar la gestión ambiental universitaria, reducir emisiones y promover el desarrollo sostenible.

Palabras clave: gases de efecto invernadero, edificio universitario, Instituto de enseñanza superior, cambio climático.

Abstract

In the face of climate change, measuring Carbon Footprints (CF) within a university setting offers institutions an opportunity to take an active role in mitigating their environmental impacts. This study aims to estimate the CF of the Faculty of Forestry Sciences (FCF) at the National University of Santiago del Estero (UNSE) for the period 2019–2022. Greenhouse gas (GHG) emissions are estimated based on collected data, following the IRAM-ISO 14064-1:2020 Standard. The highest annual emissions were recorded in 2019, totaling 117,4 tCO₂e, of which 66,4% resulted from electricity consumption and 33,6% from fuel combustion in institutional vehicles. Commuting by staff and students to the FCF in 2023 was the most significant source of emissions, amounting to 155,5 tCO₂e. This analysis identified the main emission sources, providing an initial diagnosis to support improved environmental management at the university, reduce emissions, and promote sustainable development.

Keywords: greenhouse gas, academic buildings, higher education institutions, climate change.

Introducción

El cambio climático representa uno de los problemas ambientales más relevantes que enfrenta el mundo en la actualidad. Las medidas adoptadas para limitar el calentamiento global a 1,5°C son insuficientes y las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) siguen aumentando. Sus efectos han generado daños en la naturaleza y en la salud de millones de personas en todo el mundo (IPCC, 2023). En este contexto, la reducción y mitigación de las fuentes de GEI, junto a la adaptación a sus impactos, son medidas prioritarias. Es así como el cálculo de la huella de carbono adquiere importancia al permitir identificar aquellas actividades que contribuyen al incremento de GEI y gestionar eficientemente medidas de reducción (PNUD, 2022). En particular, la estimación de la huella de carbono en el ámbito universitario representa una oportunidad para que estas instituciones, dedicadas a la educación, la investigación y los servicios a la comunidad, asuman un papel activo en la mitigación de sus impactos y en la promoción de prácticas sostenibles (Valls Val y Bovea, 2021).

Actualmente, los informes publicados sobre el cálculo de huellas de carbono universitarias a nivel internacional se concentran en Europa occidental, específicamente en Gran Bretaña, y en América del Norte (Helmerts et al., 2021). Sin embargo, existen universidades de todo el mundo comprometidas con esta actividad (Li et al., 2021). Helmerts et al. (2021) en su trabajo analizaron estudios sobre la huella de carbono de más de veinte universidades a nivel mundial, destacando a la ETH Zürich en Suiza, la Universidad de Talca en Chile y Leuphana University of Lüneburg en Alemania. En el caso de España, varias universidades se han inscrito en el Registro Nacional de Huella de Carbono impulsado por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (Valls Val y Bovea, 2021).

En Latinoamérica, también se suman otras instituciones de educación superior que abordan tareas afines a la estimación de sus emisiones de GEI. Algunas de las cuales se citan a continuación a modo de ejemplo: la Universidad de Monterrey (Cardoza Cedillo et al., 2023) de México, la Universidad de Talca (Yañez et al., 2020) de Chile, la Universidad Técnica de Machala de Perú (Ferrer Gutiérrez et al., 2021), la Unidad Regional Huetar Caribe del Instituto Nacional de Aprendizaje de Costa Rica (Miranda Brenes y Bustos Baldelomar, 2019). En Ecuador, la Universidad San Francisco de Quito (Salazar et al., 2019) y en Venezuela, la Universidad Católica Andrés Bello, sede Montalbán (Padrón, 2023). En Perú, la Universidad Nacional de Jaén (Oblitas-Romero et al., 2023), la huella de carbono generada por las unidades de transporte de la Universidad Nacional del Altiplano Puno (Quispe Zapana, 2021) y las emisiones de GEI por uso del sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería (Saavedra-Farfán, 2020). En Colombia, la

Universidad Tecnológica de Pereira (Varón-Hoyos et al., 2021), el Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (Aristizabal-Alzate y González-Manosalva, 2021), la Fundación Universitaria Konrad Lorenz (Bautista et al., 2022) y la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Manso Piñeros et al., 2017).

Estos esfuerzos reflejan un interés creciente por parte de las instituciones educativas en conocer y reducir su huella de carbono. Aunque la mayoría de las metodologías se basan en marcos internacionales como el GHG Protocol y la Norma ISO 14064-1, persiste una gran diversidad en aspectos como el período de análisis, la unidad funcional, los alcances considerados, las fuentes de emisión y los factores utilizados. Esta falta de estandarización dificulta la comparación entre instituciones y resalta la necesidad de una guía metodológica común para el sector educativo (Valls-Val y Bovea, 2021; da Silva et al., 2023; Martínez-Díaz y Trujillo-González, 2024). Aun así, los estudios revisados reflejan una creciente preocupación por establecer criterios más homogéneos e interés en la adopción de iniciativas sostenibles.

En las universidades argentinas, durante los últimos años, se ha promovido la gestión ambiental y acciones orientadas a la sostenibilidad. A fines de 2022, el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) creó el Programa Nacional de Carbono Neutro desde el cual se convocó a cada universidad a calcular su huella de carbono a fin de conocer la de todo el sistema universitario nacional. En este marco, la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) realizó, en 2023, la estimación de su huella de carbono institucional para el año 2019 desde el Programa UNSE Verde.

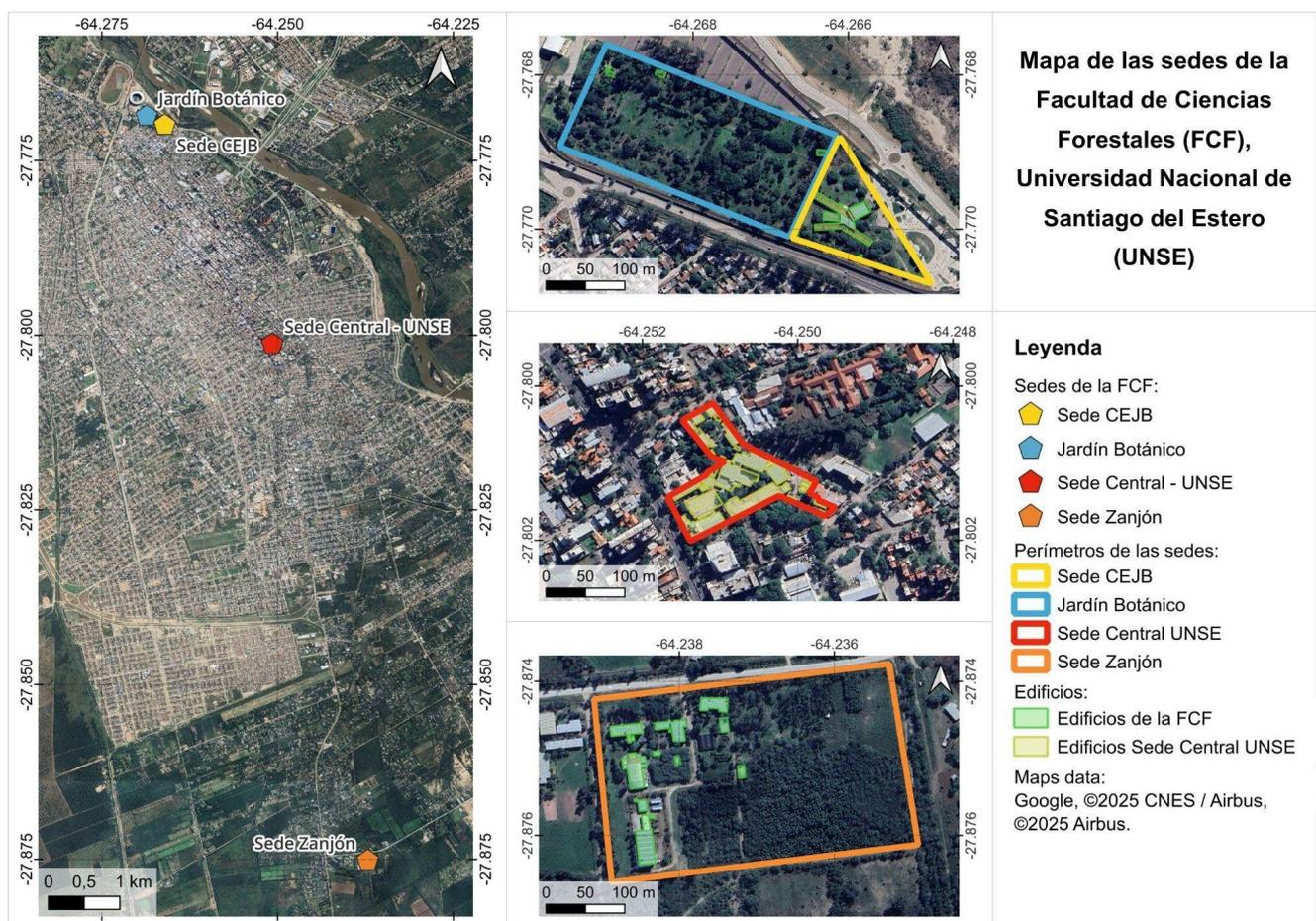
La UNSE es una universidad pública, autónoma y gratuita creada en 1973 en Santiago del Estero, Argentina, con el fin de satisfacer las demandas de la comunidad. Entre las distintas unidades académicas que la conforman, se encuentra la Facultad de Ciencias Forestales (FCF), de la cual se reveló la necesidad de determinar su huella de manera específica. Esto debido a que la misma es una unidad académica orientada a promover el desarrollo sustentable y la mejor calidad de vida, con énfasis en el ámbito regional. Está organizada en cinco sedes y ofrece una variedad de carreras de pregrado, grado y posgrado en el ámbito de las ciencias forestales y ambientales (FCF, 2025). Por esta razón, el objetivo de este trabajo es estimar su huella de carbono para el período 2019-2022, con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible de la comunidad universitaria.

Metodología

La metodología se basó en la Norma IRAM-ISO 14064-1:2020. El área de estudio fue la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), en sus cuatro sedes ubicadas en la localidad Capital y en la localidad El Zanjón, Santiago del Estero, Argentina.

En primer lugar, se definieron los límites de la organización (Figura 1). Se incluyeron todas las instalaciones de la FCF en sus sedes: Zanjón, Complejo edilicio Jardín Botánico (CEJB) y Jardín Botánico propiamente dicho. En cuanto a la sede Central, que es compartida con el rectorado y las diferentes unidades académicas de la UNSE, se incluyen únicamente las dependencias de la FCF sobre las cuales tiene el control operativo.

Figura 1: Límites de la organización y sedes de la FCF-UNSE.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Google Earth, año 2025.

Los límites de informe contemplaron las emisiones directas e indirectas agrupadas en las categorías y subcategorías enlistadas en la Tabla 1. Las emisiones se clasifican en directas, provenientes de fuentes de GEI que pertenecen o son controladas por la organización, o indirectas, que resultan de operaciones y actividades de la organización, pero provenientes de fuentes externas (IRAM-ISO, 2020). Las categorías 1 y 2 fueron estimadas para el período 2019-2022. En base a estos valores, se reportaron las emisiones per cápita y emisiones por m² de superficie cubierta. Mientras que, las emisiones indirectas de GEI de las categorías 3 y 4 se estimaron solo para el año 2023, debido a la dificultad para acceder a los datos de años anteriores y se incorporaron con el fin de conocer su aporte a la huella de carbono de forma aproximada.

Tabla 1: Emisiones directas e indirectas de la Facultad de Ciencias Forestales incluidas en el cálculo, según Norma IRAM-ISO 14064-1:2020.

Categorías de emisiones de GEI	Subcategorías
Categoría 1: Emisiones directas de GEI	1.1. Por combustión estacionaria: por uso de gas natural en laboratorios. 1.2. Por combustión móvil: por consumo de gasolina y diésel por la flota vehicular institucional para la realización de actividades académicas y administrativas.
Categoría 2: Emisiones indirectas de GEI por energía importada	2. Por electricidad importada: por consumo de electricidad importada en instalaciones.
Categoría 3: Emisiones indirectas de GEI por el transporte	3. Por traslados del personal y estudiantes hacia la institución.
Categoría 4: Emisiones indirectas de GEI causadas por productos que utiliza la FCF	4. Por bienes comprados: por consumo de papel para actividades administrativas.

Fuente: Elaboración propia, año 2024.

Se calcularon las emisiones de GEI multiplicando los datos de actividad asociados a cada fuente (como los m³ de gas natural o litros de gasolina) por los factores de emisión correspondientes (ecuación 1). Los resultados se expresan en toneladas o kilogramos de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), unidad que permite comparar el forzamiento radiativo de distintos GEI respecto al CO₂, según su potencial de calentamiento global (PCG) (IRAM-ISO, 2020).

$$\text{Emisiones de GEI} = DA \times FE \quad (1)$$

Donde:

- Emisiones de GEI: emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en kg o t CO₂e.
- DA: dato de actividad de cada fuente de emisión.
- FE: factor de emisión correspondiente.

Se presentan en la Tabla 2 los factores de emisión seleccionados de distintas fuentes bibliográficas. De acuerdo con la metodología empleada a nivel nacional para la elaboración del Quinto Informe Bienal de Actualización (IBA5) de la República Argentina a la CMNUCC (MAyDS, 2023), se tomaron los factores de emisiones de CO₂, CH₄ y NO₂ de gas natural, gasolina y diésel por defecto de las Directrices del IPCC de 2006, excepto por el factor de emisión de CO₂ local del gas natural distribuido por redes de 2,351 tCO₂/TEP.

Debido a que el consumo de combustible en la FCF se registra en unidades de volumen, se realizó la conversión de las unidades de estos factores de emisión, originalmente expresados en t de GEI/TEP, a kgCO₂e/l para la gasolina y diésel, y kgCO₂e/m³ para el gas natural. Para esta conversión, se emplearon los valores de Poder Calorífico Inferior (PCI) de cada combustible reportados en el Balance Energético Nacional: 8.300 kcal/m³ del gas natural, 7.512 kcal/l de la gasolina o nafta, y 8.616 kcal/l del diésel (Ministerio de Energía y Minería, 2016). Además, la conversión implicó la suma de los factores de emisión de cada GEI multiplicados por sus respectivos valores de PCG a cien años del Segundo Informe de Evaluación del IPCC (1995), en concordancia con la metodología nacional, siendo 1 para CO₂, 21 para el CH₄ y 310 para N₂O.

Tabla 2: Factores de emisión empleados en el cálculo.

Actividad	Factor de emisión			Fuente bibliográfica
	Año	Valor	Unidades	
Consumo de gas natural en instalaciones fijas	2019-2022	1,953	kgCO ₂ e/m ³	Conversión de unidades de factores reportados en IPCC (2006) y MAyDS (2023)
Consumo de gasolina o nafta en transporte propio	2019-2022	2,231	kgCO ₂ e/l	
Consumo de diésel o gasoil en transporte propio	2019-2022	2,717	kgCO ₂ e/l	
Consumo de electricidad en instalaciones	2019	0,3861	kgCO ₂ e/kWh	(Secretaría de Energía, 2024)
	2020	0,3948		
	2021	0,3933		
	2022	0,3709		
Consumo de papel	2019-2022	1,32	kgCO ₂ e/kg papel	(RAMCC, 2014, como se citó en Ministerio de Agroindustria de la Pcia. de Bs. As., 2018)

Fuente: Elaborado a partir de bibliografía citada, año 2024.

Los datos de actividad necesarios para cada categoría fueron proporcionados por las áreas administrativas pertinentes. El consumo anual de gas natural en m³ se determinó por estimación indirecta a través del tiempo de uso anual de mecheros en laboratorio multiplicado por el consumo promedio de gas de un quemador chico, 0,10 m³/h según ENARGAS (2024). La Secretaría de Administración de la FCF proporcionó el volumen en litros de gasolina y diésel empleado en vehículos institucionales a partir de los registros de compra.

En el caso de la electricidad, se realizó un cálculo diferenciado por sedes. Para las sedes Zanjón, CEJB y Jardín Botánico, la Secretaría de Planeamiento Físico Universitario de la UNSE proporcionó los consumos eléctricos en kWh registrados en las facturas del servicio de distribución eléctrica. En cambio, para la sede Central se realizó un relevamiento energético de Nivel 1 o inspección visual para calcular el consumo eléctrico de las dependencias de la FCF. Esto fue necesario debido a que la factura de electricidad corresponde al consumo de un único medidor compartido con rectorado y las

distintas unidades académicas de la UNSE, por lo que resulta difícil discriminar exclusivamente la demanda de la FCF.

El relevamiento consistió en un recorrido por las dependencias, registrando características de los equipos e instalaciones en un inventario, acompañado de un registro fotográfico. La potencia de los equipos se determinó revisando sus etiquetas informativas, y en el caso de no poseerlas, se realizó la búsqueda bibliográfica de las características del modelo o se asignó un valor promedio según tipo de electrodoméstico. Posteriormente, el consumo eléctrico diario y anual (kWh) se calculó como el producto de la potencia (kW) por las horas de uso anual. El consumo eléctrico resultado del relevamiento para la FCF se contrastó con el consumo obtenido de las facturas eléctricas del total de la sede central, y se realizó un ajuste de acuerdo con la variación porcentual del consumo de cada año.

Las emisiones indirectas causadas por el desplazamiento del personal y estudiantes hacia la Facultad se estimaron mediante encuestas realizadas durante el año 2023, por lo que únicamente se presentan estos datos para el mencionado año. Las mismas recopilaron información referente al medio de transporte empleado, la distancia recorrida desde el lugar de residencia hasta la FCF y la frecuencia semanal con la que los encuestados asistían a la Facultad.

En 2023, la FCF estaba integrada por 198 empleados y 879 estudiantes. De los cuales, solo el 29,3% de los empleados (58 docentes y no docentes) y el 19% de los estudiantes (167 de ellos) respondieron las encuestas. A pesar de que no se alcanzó un tamaño de muestra representativo dado el limitado lapso en el que se difundió la encuesta, se incluyeron las estimaciones a fin de obtener una aproximación de las emisiones generadas, considerando el grado de incertidumbre o sesgo inherente.

A partir de los resultados, se calculó el recorrido anual individual en km para cada encuestado utilizando la ecuación 2. En esta se multiplican las distancias por 2 para reflejar los viajes de ida y vuelta, se consideran 5 días hábiles por semana, 200 días laborales al año para empleados, 155 días de cursada al año para estudiantes y un factor de presencialidad de 0,9 para ambos.

$$R_i = d \times 2 \times \left(\frac{f}{5 \text{ días}} \right) \times t \times p \quad (2)$$

Donde:

- R_i : recorrido anual individual (km).
- d : distancia de ida desde el lugar de residencia hasta la Facultad (km).

- f: frecuencia semanal (días/semana).
- t: días hábiles al año (155 para estudiantes o 200 para empleados).
- p: factor de presencialidad (0,9 para ambos grupos).

Luego, se agruparon los valores de R_i por medio de transporte y se sumaron para obtener el recorrido anual total por tipo de transporte dentro de la muestra. Este total fue extrapolado al total de la población de estudiantes y de empleados mediante la ecuación 3:

$$R = \left(\frac{N}{n}\right) \times \sum R_i \quad (3)$$

Donde:

- R: Recorrido total anual extrapolado a la población (km/año).
- N: tamaño total de la población (198 empleados, y 879 estudiantes).
- n: tamaño de muestra (58 empleados y 167 estudiantes).
- $\sum R_i$: suma de los recorridos anuales individuales calculados a partir de los datos obtenidos en las encuestas.

Por último, se estimaron las emisiones de GEI generados por los traslados para cada medio de transporte, mediante la ecuación 4, tomada de Leanza y Parente (2016), con los recorridos anuales extrapolados. En el caso de los desplazamientos en bicicleta o a pie se les asignó un valor de cero emisiones de GEI.

$$\text{Emisiones de GEI} = \frac{R \times (1/EM) \times FE}{C} \quad (4)$$

Donde:

- Emisiones de GEI de la categoría 3 (kgCO_{2e}/año).
- R: Recorrido total anual poblacional para cada medio de transporte (km/año).
- EM: Factor de eficiencia del combustible para cada medio de transporte (km/l) del IPCC (2006) empleados por Leanza y Parente (2016) en Tabla 3.
- FE: Factor de emisión del combustible utilizado (kgCO_{2e}/l) en Tabla 2.
- C: Capacidad promedio de pasajeros por vehículo en Tabla 3.

Tabla 3: Factores considerados para la estimación de las emisiones indirectas de GEI por el transporte (categoría 3).

Medio de transporte	Tipo de combustible	Eficiencia del combustible (km/l)	Capacidad promedio de pasajeros por vehículo
Auto a nafta	Nafta	12	2
Auto a diésel	Diésel	18	2
Colectivo	Diésel	16,66	20
Moto	Nafta	17	1

Fuente: Elaborado a partir de IPCC (2006); Leanza y Parente (2016).

También se estimaron las emisiones promedio por persona para cada medio de transporte, dividiendo las emisiones totales por medio de transporte entre la cantidad de personas que utilizan ese medio extrapoladas a la población total (ecuación 5).

$$Emisiones\ por\ persona_{vehículo} = \frac{Emisiones_{vehículo}}{\left(\frac{N}{n}\right) \times u} \quad (5)$$

Donde:

- Emisiones por persona_{vehículo}: emisiones promedio de GEI por persona, según el medio de transporte (tCO₂e/persona por año).
- Emisiones_{vehículo}: emisiones totales de GEI por medio de transporte (tCO₂e/año).
- N: población total; n: número de encuestados.
- u: número de encuestados que usan ese medio de transporte.

Resultados y discusión

Análisis de la Huella de Carbono Anual de la FCF: Categorías 1 y 2

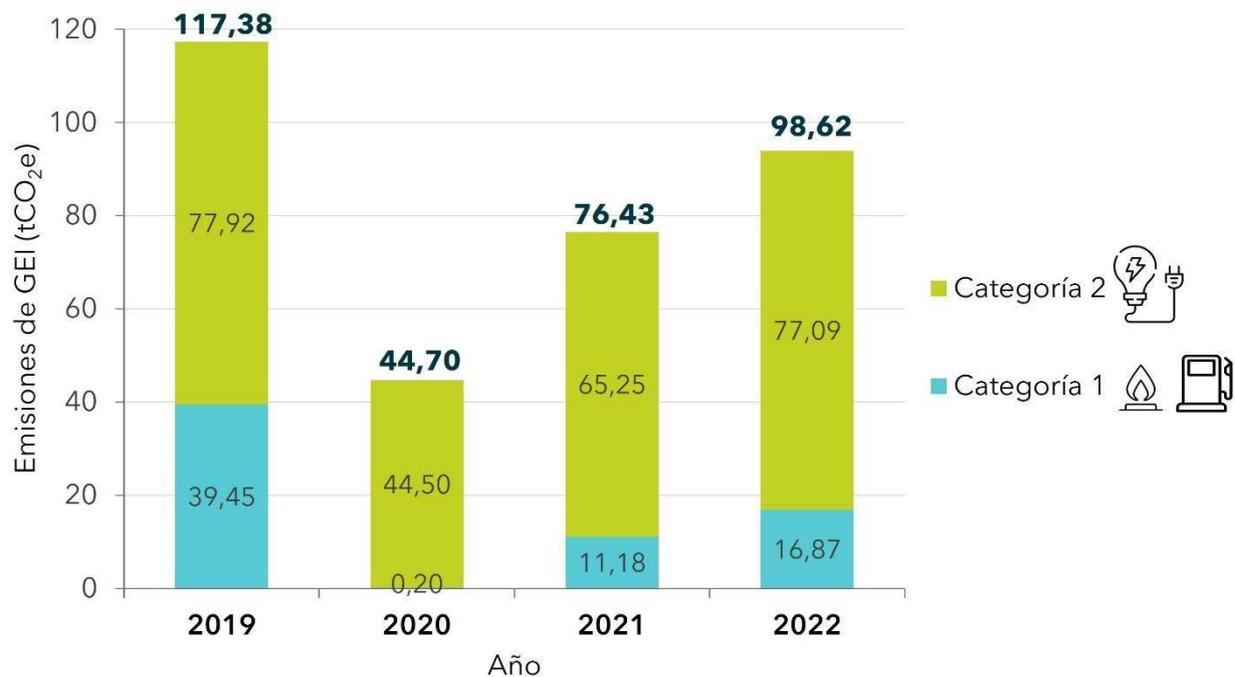
En la Figura 2 se analizan las emisiones de GEI anuales de las categorías 1 (emisiones directas de GEI) y 2 (emisiones indirectas de GEI por energía importada) de la FCF del período 2019-2022. El 2019 fue el año en el que se generó la mayor cantidad de emisiones, con 117,38 tCO₂e. El 66,39% correspondió a la categoría 2, y el 33,61% restante a la categoría 1. Dentro de esta última, fue el año en el que se registraron las mayores emisiones por consumo de combustibles en vehículos institucionales (39,45 tCO₂e), principalmente de diésel que representó un 70%, y la gasolina el 30% restante. En cambio, el consumo anual de gas natural fue poco significativo, de 0,05 m³, emitiendo 0,000098 tCO₂e, es decir, 98 gCO₂e.

En 2020, la FCF generó las emisiones más bajas de todo el período: 44,70 tCO₂e. El 99,55% correspondió a la categoría 2 y el 0,45% a la categoría 1. Con respecto al 2019, las emisiones disminuyeron en un 61,9%, debido a que las actividades presenciales se vieron afectadas durante la pandemia de COVID-19.

En 2021 se emitieron 76,43 tCO₂e, de las cuales, el 85,37% procedieron de la categoría 2 y el 14,63% de la categoría 1.

El 2022, fue el segundo de mayores emisiones, con un total de 93,96 tCO₂e. Las emisiones derivadas de la categoría 2 representaron el 72,09%, alcanzando el pico más alto de consumo eléctrico del período.

Figura 2: Huella de carbono anual de la FCF en el período 2019-2022 considerando categorías 1 y 2.



Fuente: Elaboración propia, año 2024.

En la Tabla 4, se observa que la huella de carbono por superficie cubierta varió entre 0,005 y 0,014 tCO₂e/m², valores relativamente bajos en los que influyó la extensa superficie de las instalaciones (aproximadamente 8590 m² construidos) en comparación con la magnitud de las actividades.

El mayor valor de huella de carbono per cápita registrado fue de 0,141 tCO₂e/persona en el año 2019, dado que las emisiones generadas fueron las más altas de todo el período y que la cantidad de estudiantes fue la segunda más baja (633 estudiantes). En contraste, el valor más bajo se observó en 2020, con una huella per cápita de 0,063 tCO₂e/persona, año en el que se registraron menores

emisiones de GEI y menor cantidad de estudiantes (515) de todo el período. En 2021, se dio el segundo valor más bajo de 0,066 tCO₂e/persona, en el que influyó un mayor número de estudiantes (966). La cantidad de docentes y no docentes (198 empleados) se mantuvo igual durante todo el período analizado.

Tabla 4: Huella de carbono por superficie cubierta y per cápita de la FCF en el período 2019-2022, considerando categorías 1 y 2.

Año	Emisiones de GEI de categorías 1 y 2 (tCO₂e/año)	HC por superficie cubierta (tCO₂e/m² construido)	HC per cápita (tCO₂e/persona)	Núm. de estudiantes
2019	117,38	0,014	0,141	633
2020	44,7	0,005	0,063	515
2021	76,43	0,009	0,066	966
2022	93,96	0,011	0,085	907

Fuente: Elaboración propia, año 2024.

Análisis de la categoría 3

Las emisiones indirectas de GEI provenientes de los desplazamientos del personal docente, no docente y estudiantes desde sus residencias hacia la Facultad durante el 2023 se estimaron en un total de 155,50 tCO₂e. De este total, el 38,77% correspondió a las generadas por el personal y el 61,23% a los estudiantes.

Los tres medios de transporte más utilizados por los empleados fueron el automóvil a nafta (66% de los encuestados), el autobús urbano (16%) y la moto (10%). En el caso de los estudiantes, el medio de transporte más recurrente fue el autobús (59%), seguido por la moto (16%) y el automóvil a nafta (11%), mientras que casi el 11% de los estudiantes se desplazó a pie o en bicicleta.

En cuanto a los medios de transporte que generaron mayores emisiones, el automóvil a nafta fue el principal emisor de GEI para ambos grupos, especialmente entre los empleados, donde representó el 81,2% del total de sus emisiones (48,95 tCO₂e), como se detalla en la Tabla 5. Las motos también tuvieron un aporte significativo, con 31,6 tCO₂e anuales para los estudiantes. En contraste, el autobús, a pesar de ser ampliamente utilizado por los estudiantes, generó 13,96 tCO₂e anuales y presentó una baja emisión per cápita de 0,027 tCO₂e/persona.

Tabla 5: Emisiones indirectas de GEI provenientes de los desplazamientos del personal docente, no docente y estudiantes de la FCF estimadas para 2023.

Medio de transporte	Porcentaje de usuarios (%)		km anuales recorridos por la población		Emisiones de GEI (tCO ₂ e/año)		Emisiones por persona (tCO ₂ e/persona)	
	PD+ND	E	PD+ND	E	PD+ND	E	PD+ND	E
Auto a nafta	65,5	11,4	526550	452301	48,95	42,05	0,38	0,420
Auto diésel	5,2	2,4	36377	100402	2,75	7,58	0,27	0,360
Autobús	15,5	59,3	129041	1712458	1,05	13,96	0,03	0,027
Moto	10,3	16,2	57516	240953	7,55	31,62	0,37	0,223
A pie	3,4	7,8	6882	31309	-	-	-	-
Bicicleta	0	3,0	0	71898	-	-	-	-
Totales	100	100	756366	2609320	60,29	95,21	-	-

Nota: PD+ND: personal docente y no docente, E: Estudiantes.

Fuente: Elaboración propia, año 2024.

Análisis de la Categoría 4

En cuanto a las emisiones indirectas de GEI causadas por productos que utiliza la organización, la FCF utilizó un total de 458,3 kg de papel para el año 2023 para fines académicos y administrativos, emitiendo 0,605 tCO₂e anuales.

Incidencia de las categorías en la huella de carbono total

En la Figura 3 se presentan las emisiones de GEI de cada categoría medida a fin de realizar una comparación del impacto de cada una. Es importante resaltar que esta comparación es una aproximación a modo orientativa, debido a la falta de datos de las cuatro categorías en un mismo año. Se incluyeron las emisiones de las categorías 1 y 2 del 2019, debido a que en este año alcanzaron los valores más altos del período cuantificado, y las categorías 3 y 4 del 2023.

Se observa que la categoría 3 presentó la mayor cantidad de emisiones (155,50 tCO₂e), representado el 56,86% del total de las cuatro. Seguida de la categoría 2 (77,92 tCO₂e) que representó el 28,49% y la categoría 1 (39,45 tCO₂e) con un 14,43%. La categoría 4 registró la menor cantidad de emisiones (0,60 tCO₂e), representando solo un 0,22%.

Figura 3: Incidencia de las categorías de emisiones de GEI en la huella de carbono total de la FCF.



Fuente: Elaboración propia, año 2024.

Con relación a otros casos de estudio, se dificulta realizar una comparación objetiva debido a la gran diversidad de metodologías empleadas por las universidades. Por tal motivo, a continuación, se compara la huella de carbono de la FCF con la de la UNSE, evaluando su contribución al total de las emisiones de la misma.

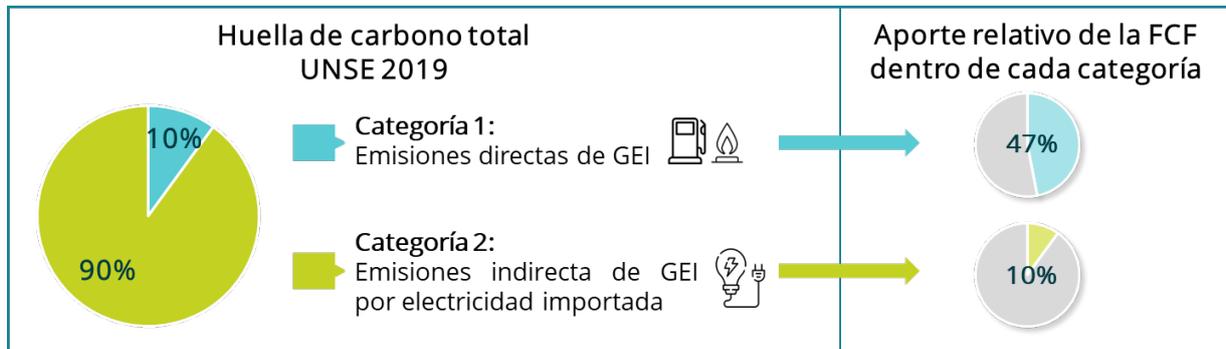
Aporte de la FCF a la huella de carbono total de la UNSE en 2019

El cálculo de la huella de carbono de la UNSE del año 2019 se basó en la Norma IRAM-ISO 14064-1:2020 e incluyó las emisiones de GEI de las categorías 1 y 2. Los límites de la organización incluyeron todas las instalaciones de la UNSE: cinco Facultades, dos Escuelas, Rectorado y dependencias (Giannuzzo et al., 2024).

Las emisiones totales de la universidad fueron de 832,8 tCO₂e/año, mientras que las de la FCF fueron de 117,38 tCO₂e, lo que corresponde al 14,09%. Las emisiones derivadas del consumo eléctrico (categoría 2) representaron casi un 90% de la huella de la UNSE, de las cuales la FCF aportó aproximadamente un 10%. Por otro lado, las emisiones directas provenientes del consumo de combustibles (categoría 1) representaron el 10% restante de la huella de la UNSE, de las cuales la

FCF aportó alrededor del 47% (ver Figura 4). Esto podría deberse a los requerimientos de prácticas a campo de las carreras que ofrece la FCF, y viajes académicos de largo kilometraje realizados ese año.

Figura 4: Aporte de la FCF a la HC de la UNSE en 2019, considerando categorías 1 y 2.



Fuente: Elaboración propia, año 2024.

En cuanto a las emisiones totales por superficie cubierta, se obtuvieron valores similares, 0,015 tCO₂e/m² para la UNSE y 0,014 tCO₂e/m² para la FCF. En cambio, la huella per cápita de la UNSE fue menor con 0,050 tCO₂e/persona frente a 0,141 tCO₂e/persona de la FCF.

En Argentina, varias universidades nacionales publicaron el cálculo de su huella de carbono por medio de informes institucionales, entre ellas se mencionan: la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) (DSHyDS - UNLP, 2020), la Universidad Nacional del Litoral (UNL) (Schneider, 2021), la Universidad Nacional del Noroeste de Buenos Aires (UNNOBA) (Aguinaga y Martí Fuentes, 2024) y la Universidad Nacional de Rosario (UNR) (UNLP et al., 2022), y solo una facultad lo informó a través de un artículo científico, la Facultad Regional Delta, Universidad Tecnológica Nacional (UTN) (Leanza y Parente, 2016). En este sentido, resulta novedoso en el país que una facultad haya calculado su huella de carbono a modo de establecer comparaciones y conocer su aporte a la huella de carbono total de la universidad, tal como sucede en este estudio.

Conclusiones

Este análisis proporciona un diagnóstico autorreferencial de la situación inicial de la FCF y otorga información clave para mejorar la gestión ambiental, sirviendo de base para la toma de decisiones y el diseño de planes operativos destinados a la mitigación de sus emisiones de GEI. Entre las

actividades de la FCF analizadas, los desplazamientos de la comunidad forestal hacia la institución representaron la principal fuente de emisiones de GEI. En segundo lugar, se ubicó el consumo eléctrico en las instalaciones, seguido del uso de combustibles fósiles en la flota vehicular institucional.

En función de estos resultados, se orientaron recomendaciones para reducir la huella de carbono. En cuanto a los desplazamientos de la comunidad universitaria, se resalta la necesidad de evaluar alternativas de movilidad sostenible, debido a su alta incidencia en la huella y por tratarse de un universo muy atomizado de usuarios. En este sentido, la universidad podría fomentar cambios de comportamiento mediante políticas que favorezcan estas prácticas.

Algunas iniciativas posibles incluyen la recuperación del servicio de transporte universitario intercampus, suspendido por restricciones presupuestarias, y la implementación de corredores de transporte eficientes que incluyan bicisendas. A su vez, ya existen algunas experiencias a nivel institucional, como la conversión de un vehículo institucional a eléctrico por parte de expertos de la UNSE (FCEyT, 2023), así como el uso del Tren del Desarrollo (también transformado a eléctrico) por parte de algunos estudiantes para trasladarse hacia la sede del CEJB y Jardín Botánico.

Por otro lado, el consumo de energía eléctrica es otro resultado muy significativo, por lo que algunas de las acciones propuestas son: la promoción de hábitos de uso responsable de la energía mediante campañas y capacitaciones, implementación de medidas de gestión como el mantenimiento preventivo, el uso de sensores de movimiento y temporizadores, recambio tecnológico gradual hacia equipos e infraestructuras más eficientes, incluyendo mejoras en la envolvente edilicia, protecciones solares y la incorporación de fuentes renovables como paneles solares.

Además, se plantean otras estrategias como: el mantenimiento periódico de vehículos institucionales y la optimización de rutas de viaje para un uso eficiente del combustible, la educación ambiental y campañas de concientización, comunicación y difusión de los objetivos de la gestión ambiental universitaria, la reducción del consumo de papel y su reutilización, entre otras.

Como líneas de investigación futuras, se plantea elaborar el inventario forestal de las sedes de la FCF y estimar la captura de CO₂ para cuantificar su contribución a la compensación de la huella de carbono. Las áreas verdes más importantes con las que cuenta la FCF, se encuentran en: el Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic, el Centro Experimental Forestal "San Isidro", y el predio de la sede Zanjón.

El cálculo de la huella de carbono es un avance significativo en términos de gestión ambiental y sostenibilidad. Sin embargo, aún existen aspectos a mejorar, por ejemplo, incluir la estimación de la incertidumbre, implementar a nivel administrativo mecanismos para el registro y actualización de los datos de manera eficiente. La verificación y validación externa de la huella de carbono es otro paso importante para consolidar la credibilidad y transparencia de los esfuerzos de la institución.

A partir de este estudio, se identificaron limitaciones metodológicas asociadas principalmente a la disponibilidad de datos, lo que condicionó el alcance del inventario. En particular, dentro de la categoría 1 se excluyeron fuentes menos relevantes o difíciles de estimar, como las emisiones fugitivas por fugas de gases refrigerantes (ante la ausencia de recargas durante el período), las provenientes de la recarga de extintores y aquellas asociadas al consumo de agua.

Además, se sugiere ampliar el inventario incorporando otras fuentes y categorías, como las emisiones indirectas de la categoría 4 asociadas a la adquisición de equipamiento e insumos (considerando su ciclo de vida completo) y aquellas derivadas de la generación y disposición de residuos sólidos. En este último caso, a nivel universidad, la gestión integral de residuos sólidos es una de las líneas de trabajo del Programa UNSE Verde. Desde 2019, se implementó la separación en origen de los residuos y la recuperación de los materiales reciclables mediante un convenio con la Cooperativa CORESA, integrada por recolectores urbanos.

Asimismo, se señala la necesidad e importancia de involucrar a los estudiantes y a los demás claustros que integran la comunidad como activos partícipes de la política de sostenibilidad de la FCF para contribuir al logro de la meta de carbono neutralidad, así como promover el desarrollo sostenible local y enriquecer la experiencia educativa.

Agradecimientos

A las autoridades y personal de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y al Programa UNSE Verde que brindaron los datos para la realización de este estudio.

Referencias

- Aguinaga, A. y Martí Fuentes, M. (2024). *Cálculo de Huella de Carbono Institucional - 2023*. Gestión ambiental, Universidad del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. <https://gestionambiental.unnoba.edu.ar/accion-frente-al-cambio-climatico/>
- Aristizábal-Alzate, C. E. y González-Manosalva, J. L. (2021). Application of NTC-ISO 14064 standard to calculate the Greenhouse Gas emissions and Carbon Footprint of ITM's Robledo campus. *DYNA*, 88(218), 88–94.
- Bautista, J., Sierra, Y. y Bermeo, J. F. (2022). Emisiones de gases de efecto invernadero en las instituciones de educación superior. *Producción + Limpia*, 17(1), 169–186. <https://doi.org/10.22507/PML.V17N1A10>
- Cardoza Cedillo, L., Montoya, M., Jaldón, M. y Paredes, M. G. (2023). GHG emission accounting and reduction strategies in the academic sector. A case study in Mexico. *Sustainability*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/su15129745>
- da Silva, L. A., de Aguiar Dutra, A. R. y de Andrade Guerra, J. B. S. O. (2023). Decarbonization in higher education institutions as a way to achieve a green campus: A literature review. *Sustainability*, 15(5), 4043. <https://doi.org/10.3390/su15054043>
- Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. (19 de diciembre de 2023). *Avances en proyectos del ITA*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. *UNSE*. <https://fce.unse.edu.ar/?q=notITAvtkangoo19-12-23>
- Facultad de Ciencias Forestales. (2025). *Sobre la Facultad*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. *UNSE*. <https://fcf.unse.edu.ar/index.php/sobre-la-facultad>
- Ferrer Gutiérrez, J. P., Vera Infante, T. G., Blacio Toro, S. E. y Gadway Yambay, K. A. (2021). Huella de carbono de la Universidad Técnica de Machala período 2018-2020. *Dominio de las Ciencias*, 7(5), 78–92.
- Giannuzzo, A. N., Moreira, S. E., Ochoa, M. J., Mellano, M. F., Giuliano, G. y Abad, M. G. (5 de abril de 2024). *Huella de carbono de la Universidad Nacional de Santiago del Estero* [Resumen]. 3er. Foro Nacional de Gestión y Educación Ambiental en Universidades. Red UAGAIS, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.
- Helmets, E., Chang, C. C. y Dauwels, J. (2021). Carbon footprinting of universities worldwide: Part I—objective comparison by standardized metrics. *Environmental Sciences Europe*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00454-6>

- Leanza, L. N. y Parente, J. R. (2016). Estudio de la Huella de Carbono de la Facultad Regional Delta. *Revista Tecnología y Ciencia*, 31, 155–162. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/113>
- Li, Z., Chen, Z., Yang, N., Wei, K., Ling, Z., Liu, Q., Chen, G. y Ye, B. H. (2021). Trends in research on the carbon footprint of higher education: A bibliometric analysis (2010–2019). *Journal of Cleaner Production*, 289. (125642) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125642>
- Manso Piñeros, D., Parrado Moreno, C. A. y Aristizábal, A. J. (2017). Inventario de gases efecto invernadero en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. *Revista Mutis*, 7(2), 44–58. <https://doi.org/10.21789/22561498.1252>
- Martínez-Díaz, S. A. y Trujillo-González, J. M. (2024). Huella de carbono en instituciones de educación en Colombia: Una revisión sistemática. *Luna Azul*, (58), 102–118. <https://doi.org/10.17151/luaz.2024.58.7>
- Miranda Brenes, S. y Bustos Baldelomar, A. (2019). Proyecto Vida Natural: mecanismo para la declaración Carbono Neutral de la Unidad Regional Huetar Caribe, Instituto Nacional de Aprendizaje de Costa Rica, periodo 2016-2018. *RedPensar*, 8(2), 1–13.
- Oblitas-Romero, A. M., Pérez-Díaz, A. N. y Ocaña- Zúñiga, C. L. (2023). Aplicación del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) y la Norma ISO 14064-1: 2006 para la estimación de la Huella de Carbono (HC) en la Universidad Nacional de Jaén en 2021. *DYNA*, 90(226), 90-97. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n226.106038>
- Padron, C. J. (2023). Actualización de la huella de carbono de la Universidad Católica Andrés Bello Sede Montalbán para el año 2022. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(2), 14. <https://doi.org/10.18272/aci.v15i2.3017>
- Quispe Zapana, G. R. (2021). Huella de carbono y consumo del combustible de las unidades de transporte de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. *Revista de Investigaciones*, 10(3), 228–244. <https://doi.org/10.26788/riepg.v10i3.2651>
- Saavedra-Farfán, E. (2020). Huella de carbono: emisiones de GEI por uso del sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. *TECNIA*, 30(1), 121–138. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.827>
- Salazar, F., Valencia, M., Velasco, A., y Ochoa-Herrera, V. de L. (2019). Actualización de la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2015. *Avances en ciencias e Ingenierías*, 11(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i2.450>

- Schneider, L. I. (2021). *Cálculo de la Huella de Carbono Institucional de la Huella de Carbono Institucional*. Universidad Nacional del Litoral. <https://unr.edu.ar/wp-content/uploads/2023/08/INFORME-UNL-2019.pdf>
- Secretaría de Energía. (2024). *Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica*. [Conjunto de datos]. <http://datos.energia.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>
- Universidad Nacional de La Plata, Universidad Nacional del Litoral, Universidad Nacional del Noroeste de Buenos Aires y Universidad Nacional de Rosario. (2022). *La huella de carbono universitaria. Primer informe de gestión*. UNLP, UNL, UNNOBA, UNR. <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2022/08/INFORME-I-Grupo-de-Universidades-para-la-sustentabilidad.pdf>
- Valls Val, K. y Bovea, M. D. (6-9 de julio de 2021). *Diseño de herramienta para el cálculo de la Huella de Carbono en universidades. Caso de aplicación* [Ponencia]. XXV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Alcoy, España. <http://hdl.handle.net/10234/197039>
- Valls-Val, K., Bovea, M.D. (2021). Carbon footprint in Higher Education Institutions: a literature review and prospects for future research. *Clean Techn Environ Policy*, 23, 2523–2542. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02180-2>
- Varón-Hoyos, M., Osorio-Tejada, J. y Morales-Pinzón, T. (2021). Carbon footprint of a university campus from Colombia. *Carbon Management*, 12(1), 93–107. <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1876531>
- Yañez, P., Sinha, A., y Vásquez, M. (2020). Carbon footprint estimation in a university campus: Evaluation and insights. *Sustainability*, 12(1), 181. <https://doi.org/10.3390/SU12010181>

FUENTES

- Dirección de Seguridad, Higiene y Desarrollo Sustentable y Secretaría de Planeamiento, Obras y Servicios (2020). *Cálculo de la huella de carbono institucional*. Universidad Nacional de La Plata. <https://unlp.edu.ar/?s=la+huella+institucional+de+carbono&swpmfe=652ea0d21b1427a1bfa685e40d9bc1de>.
- Ente Nacional Regulador del Gas. (2024). *El consumo de gas de los artefactos*. <https://www.enargas.gob.ar/secciones/eficiencia-energetica/consumo-artefactos.php>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) y Organización Internacional de Normalización. (ISO). (2020). *Gases de efecto invernadero. Parte 1 - Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones*,

para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (Norma Núm. 14064-1).

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Cambio Climático: Informe de síntesis. Comunicado de prensa del IPCC*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). *Segundo Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático 1995*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires. (2018). *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*. https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huella_de_Carbono.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Informe Nacional de Inventario del Quinto Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/argentina-bur5.pdf>

Ministerio de Energía y Minería (2016). *Documento metodológico del Balance Energético Nacional de la República Argentina, año 2015*. https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balances_2016/documento-metodologico-balance-energetico-nacional-final-2015.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022). *Guía para la implementación de Programas Nacionales Voluntarios de Huella de Carbono en América Latina*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-10/PNUD_Guia-Huella-de-Carbono-FINAL.pdf