

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO DE GUATEMALA: BASES PARA UNA HUELLA DE CARBONO NEUTRAL A 2040

Greenhouse gas emissions of a university campus in Guatemala: Foundations for a carbon-neutral footprint by 2040

Byron GÁLVEZ-CAMPOS^{1*}, Fabiola SOSA ESCOBAR², Andrés DE LEÓN ALVARADO³,
Derick HERNÁNDEZ SOSA³, María ESCALANTE CANTORAL³,
Lucía CASTAÑEDA GRAMAJO³ y Fátima GONZÁLEZ RIVERA³

¹ Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16, 01016 Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

² Instituto de Estudios Institucionales, Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16, 01016 Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

³ Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16, 01016 Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

*Autor para correspondencia: byron.galvez.campos@gmail.com

(Recibido: marzo 2024; aceptado: julio 2024)

Palabras clave: mitigación del cambio climático, emisiones de GEI, política ambiental, calentamiento global, Acuerdo de París.

RESUMEN

En los últimos años, los impactos del calentamiento global han aumentado y se han hecho más visibles a través de fenómenos climáticos extremos. Como parte de los compromisos voluntarios ante el Acuerdo de París, Guatemala se comprometió en 2021 a reducir 6.09 millones de tCO₂ equivalentes para el año 2030. Entendiéndose como un sector que debe llevar la batuta en materia de diseño de estrategias de mitigación del cambio climático, muchas universidades alrededor del mundo se encuentran en procesos de establecimiento de líneas de base y, desde ahí, planteando escenarios a futuro para alcanzar la neutralidad en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Es por esa razón que la Universidad Rafael Landívar de Guatemala (URL) plantea este proyecto de investigación para establecer su línea de base de emisiones de GEI. La metodología de cálculo de emisiones sigue las directrices del estándar ISO 14064-1 y el protocolo de GEI del Instituto Mundial de los Recursos y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible. Los límites espaciales de esta investigación fueron definidos por las llamadas emisiones directas de alcance 1 e indirectas de alcance 2. En el año de base elegido (2019), las emisiones de GEI alcanzaron 2488.16 tCO₂ equivalentes. La mayor parte de las emisiones están vinculadas al consumo de energía eléctrica, seguidas en orden descendente por las emisiones debidas al tratamiento de aguas residuales, fuentes móviles, equipos de refrigeración y aire acondicionado y las fuentes estacionarias. A partir de esta investigación, el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología plantea las primeras orientaciones para que la URL trace estrategias de mitigación del cambio climático en aras de alcanzar la neutralidad en sus operaciones al año 2040.

Key words: climate change mitigation, GHG emissions, environmental policy, global warming, Paris Agreement.

ABSTRACT

In recent years, the impacts of global warming have increased and become more visible through extreme weather phenomena. As part of voluntary commitments under the Paris Agreement, Guatemala pledged in 2021 to reduce 6.09 million tCO₂ equivalents by the year 2030. Recognizing itself as a sector that must lead in the design of climate change mitigation strategies, many universities around the world are in the process of establishing baseline emissions and, from there, proposing future scenarios to achieve neutrality in greenhouse gas emissions. That is why the Rafael Landívar University of Guatemala (URL) proposes this research project to establish its baseline greenhouse gas emissions. The emissions calculation methodology follows the guidelines of ISO 14064-1 standard and the Greenhouse Gas Protocol of the World Resources Institute and the World Business Council for Sustainable Development. The spatial boundaries of this research were defined by so-called Scope 1 direct emissions and Scope 2 indirect emissions. In the chosen base year (2019), greenhouse gas emissions reached 2488.16 tCO₂ equivalent. The majority of emissions are linked to electricity consumption, followed in descending order by emissions from wastewater treatment, mobile sources, refrigeration and air conditioning equipment, and stationary sources. Based on this research, the Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (IARNA) presents initial guidelines for URL to develop climate change mitigation strategies in order to achieve operational neutrality by 2040.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas, los efectos del calentamiento global se han ido intensificando y vuelto más notorios a través de eventos climáticos extremos. Sus consecuencias han provocado efectos multidimensionales como el aumento de sequías, tormentas, migraciones sociales, incendios forestales, variabilidad sistémica de ciclos hidrológicos y pérdida de medios de vida, entre otros (Dagbegnon et al. 2016, Louis y Phalkey 2016, Kangalawe 2017, Stoler et al. 2021). La principal causa se vincula a la emisión antrópica de gases de efecto invernadero (GEI), entre los cuales se encuentran, principalmente, el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrofluorocarburos (HFCs) y perfluorocarburos (PFCs). De acuerdo con Lamb et al. (2021), las actividades humanas más intensivas en la emisión de GEI son, la generación de energía (73.2 %), la agricultura, la silvicultura y el cambio en el uso del suelo (18.4 %), así como procesos de manufactura (5.2 %) y tratamiento de desechos (3.2 %).

Como una estrategia de gobernanza para la mitigación supranacional de GEI, el Acuerdo de París entró en vigor el 4 noviembre de 2016. En él se define la responsabilidad que cada país tiene, estableciendo un umbral global de temperatura por debajo de los 2 grados centígrados. Superar este umbral significaría exacerbar los efectos del cambio climático, al punto de poner en riesgo la existencia humana y de muchas otras especies en el planeta (Rockström et al. 2009). Aunque Guatemala no figura entre los países que más

GEI emiten en el mundo, es uno de los más vulnerables ante el cambio climático y sus emisiones contribuyen al incremento de la temperatura global. Dentro de sus compromisos voluntarios, en el marco del Acuerdo de París, Guatemala se comprometió, en 2021, a reducir 6.09 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalentes (tCO₂e) para 2030, lo cual corresponde a un 8.32 % menos en contraste con el escenario tendencial (MARN 2021). Para poder alcanzar dicha meta, es necesario que los sectores productivos de la economía guatemalteca que más emiten GEI caminen hacia las metas especificadas en la Contribución Nacionalmente Determinada (MARN 2021).

Entendiéndose como un sector que debe llevar la batuta en materia de diseño de estrategias de mitigación del cambio climático, muchas universidades alrededor del mundo se encuentran en procesos de establecimiento de líneas de base y, desde ahí, llevan a cabo análisis de puntos críticos y plantean escenarios a futuro para alcanzar la neutralidad en emisiones de GEI (Mutschele et al. 2021). Por ejemplo, en América latina, Vásquez et al. (2015) y Mendoza-Flores et al. (2019), encontraron que las principales fuentes de emisión de GEI inducidas por una universidad, en Chile y en México, son el transporte de estudiantes y personal administrativo, seguidas por el consumo de energía eléctrica. Ozawa-Meida et al. (2013), desde un punto de vista de análisis de ciclo de vida, señalan que la adquisición de bienes y servicios aporta un 38 % al perfil de emisiones de GEI de la Universidad de Montfort en el Reino Unido. Por su parte, Klein-Banai y Theis (2013), de una base de

datos de 135 instituciones de educación superior en los Estados Unidos, hallaron que las más importantes en el uso de laboratorios enfrentan grandes desafíos en la reducción de sus huellas de carbono, y, de forma similar, las universidades que cuentan con residencias estudiantiles debido a las demandas las 24 horas y los siete días a la semana en los campus. En contraste, Herth y Blok (2023), en su análisis de emisiones de alcance 3, exponen que las emisiones de la operación y construcción de bienes inmuebles, junto con las asociadas al consumo de gas natural, adquisición de equipos, operación de tecnologías de la información y comunicación y otros servicios, son las fuentes de emisión de GEI más grandes inducidas por la Universidad de Tecnología de Delft en Países Bajos, mientras que las asociadas al consumo de electricidad son casi despreciables. A partir de estos estudios se ha logrado establecer escenarios a futuro en donde se mitigan GEI mediante estrategias de movilidad urbana, políticas específicas de compra de bienes y servicios tomando en consideración huellas de carbono a lo largo de las cadenas de valor y, en general, un uso más eficiente de fuentes de emisión intensivas de GEI.

Por lo anterior es que, a través del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (IARNA), la Universidad Rafael Landívar (URL) de Guatemala plantea este proyecto de investigación para establecer su línea de base de emisiones de GEI. La metodología de cálculo de emisiones sigue las directrices del estándar ISO 14064-1 y el protocolo de GEI del Instituto Mundial de los Recursos (WRI, por sus siglas en inglés) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés; WRI y WBCSD 2004). El alcance espacial de esta investigación comprende a las llamadas emisiones directas (alcance 1), las cuales se relacionan con fuentes de emisión de GEI in situ. Es decir, fuentes que directamente emiten GEI en los espacios en que se llevan a cabo las operaciones de las actividades de interés –para este caso, todas actividades académicas desarrolladas que se encuentran bajo el control operativo de la URL. Por otro lado, en esta investigación también se incluyen las emisiones indirectas (alcance 2) debidas al consumo de electricidad de las redes de distribución nacional (véase la **Fig. C1** en el material complementario). Por último, el alcance temporal de esta investigación involucra exclusivamente al año 2019. El criterio para establecer el límite temporal para ejercicio de cálculo y análisis de línea de base se basó en el último año en que se tuvieron operaciones regulares en la URL previo a la pandemia Covid-19.

A partir de esta investigación, el IARNA pretende ofrecer las primeras orientaciones para que la URL trace

planes estratégicos de mitigación del cambio climático en aras de alcanzar la neutralidad en sus operaciones al año 2040. Entre otras cosas, esta investigación servirá también para establecer compromisos ante instituciones de prestigio que monitorean el avance de las universidades a nivel global en relación con sus políticas de mitigación del cambio climático, como el Ranking para la Sustentabilidad Quacquarelli Symonds (QS 2024).

METODOLOGÍA

La metodología de recopilación de información, cálculo y reporte de emisiones de GEI sigue las directrices del estándar ISO 14064-1 y el protocolo de GEI del WRI y WBCSD (2004). En la primera fase de esta investigación, se elaboró una matriz de solicitud de información (**Cuadro CI** en el material complementario), que se distribuyó en todo el Sistema Universitario Landívariano (SUL) con los respectivos responsables de la gestión de la información, con el fin de construir una base de datos de fuentes de emisión de alcance 1 y 2. Una vez distribuida, se respondió a dudas por medio de correos electrónicos y reuniones virtuales y presenciales. Seguidamente, se hizo una limpieza de los datos compartidos y se calcularon las emisiones de GEI.

Existen tres formas para realizar los cálculos, sugeridas por los estándares y protocolos de GEI utilizados como guías en esta investigación (WRI y WBCSD 2004). Dado que no existen mediciones directas de GEI y del nivel de exactitud, el método general elegido para el cálculo de las emisiones de GEI fue el de factores de emisión (FE). Los FE son calculados por alguna institución de investigación tomando en cuenta variables como el tipo de tecnología, ubicación geográfica y temporalidad a la que corresponden. La siguiente expresión matemática considera las variables que se toman en cuenta:

$$EGEI = Act * FE \quad (1)$$

En donde:

- EGEI: es la cantidad de contaminante emitido en una unidad de tiempo. Generalmente expresado en toneladas por año (t/a).
- Act: es la actividad que genera la emisión del contaminante durante un año. Por ejemplo, volumen de combustible, gases refrigerantes y gases extintores consumidos; kilómetros recorridos por tipo de vehículo, kilowatts hora de energía eléctrica consumida, etcétera. Este parámetro es expresado en actividad/año.

- FE: es una constante que indica la cantidad de contaminante emitido por unidad de actividad (por ejemplo, kg de CO₂ equivalente por litro de combustible quemado, por kilómetro recorrido por tipo de vehículo, por kilowatts hora de energía consumida, etcétera).

En el **cuadro I** se muestran las referencias relacionadas con los FE para cada fuente de emisión. Por designación del ISO 14064-1 y el Protocolo de GEI del WRI y el WBCSD (2004), dentro de las emisiones de alcance 1, encontramos fuentes móviles y estacionarias, así como fuentes fugitivas vinculadas a equipos de refrigeración, aire acondicionado, extintores de incendios y al tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, para las fuentes de GEI de alcance 2 únicamente encontramos al consumo de energía eléctrica.

Descripción del SUL y sus fuentes de emisión de GEI

La URL emite GEI de sus diferentes actividades desarrolladas en sus centros y sedes ubicadas en los

departamentos de Guatemala, Quetzaltenango, Zacapa, Quiché, La Verapaz, Huehuetenango, Escuintla, Jutiapa y Sacatepéquez. Las actividades incluyen: procesos administrativos, investigación de campo, investigación en laboratorios, investigación de escritorio, proyectos de proyección social, docencia y otros procesos pedagógicos. Dentro del conjunto de fuentes de emisión utilizadas para llevar a cabo las actividades cotidianas en el SUL encontramos: plantas de generación de energía eléctrica de emergencia, mecheros de laboratorio, vehículos de carga pesada, vehículos de carga liviana, vehículos de transporte de pasajeros, equipo de acondicionamiento de aire, plantas de tratamiento de aguas residuales y extintores incendios.

Las superficies y población estudiantil de los campus y sedes del SUL en 2019 dan una idea general de las necesidades, demandas y huellas ecológicas que se inducen (**Cuadro II**).

Por otra parte, en el **cuadro III** se presenta el resumen de insumos utilizados por cada fuente de emisión de GEI en el SUL.

CUADRO I. MÉTODO ESPECÍFICO PARA EL CÁLCULO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR FUENTE DE EMISIÓN.

Alcance	Tipo de Fuente	Método específico
Directas (Alcance 1)	Móviles y estacionarias:	Se utilizó la herramienta para estimar emisiones del GHGP (2005a y 2005b) del WRI y WBCSD. Dicha herramienta utiliza los factores de emisión de CO ₂ equivalente del Departamento para el Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales de Reino Unido (DEFRA), de la Agencia Protectora del Medioambiente de los Estados Unidos (USEPA) y del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).
	- Generadores de energía eléctrica de emergencia y mecheros.	
	- Camiones rígidos de carga ligera, liviana, mediana y pesada; otros vehículos de transporte de la URL.	
	- Equipos de refrigeración y acondicionamiento de aire, extintores de incendios y plantas de tratamiento de aguas residuales aerobias y anaerobias.	
	Refrigeración y aire acondicionado	Se utilizó el <i>Screening Method</i> de la herramienta de cálculo del GHGP (2005b). Dicha metodología aplica los factores de potencial de calentamiento global del IPCC y del estándar 34 de la ANSI/ASHRAE (2019).
	Extintores de Incendios	Se estimaron utilizando los factores de potencial de calentamiento global del IPCC.
	Tratamiento de aguas residuales aerobias y anaerobias.	Se calcularon siguiendo la guía para el inventario de GEI Nacionales del IPCC (2006)
Indirectas (Alcance 2)	Consumo de energía eléctrica de la red de distribución local.	El cálculo de las emisiones concernientes al consumo de energía eléctrica proveniente de las redes de distribución local se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de la metodología (WRI y WBCSD 2014) basada en la ubicación. El factor de emisión de CO ₂ equivalente se obtuvo del Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Guatemala (2019). Dicho factor es representativo del nivel nacional y se determinó aplicando las metodologías del IPCC para el año 2019.

CUADRO II. ÁREA Y POBLACIÓN ESTUDIANTIL DE CAMPUS Y SEDES DEL SISTEMA UNIVERSITARIO LANDIVARIANO EN 2019.

No.	Nombre del campus y sede	Ubicación	Superficie (hectáreas)	Población estudiantil
1	Campus San Francisco de Borja, S.J.	Ciudad de Guatemala	51 290.00	12 857
2	Instituto de Psicología zona 1	Ciudad de Guatemala	428.00	No Aplica
3	Bufete Popular	Ciudad de Guatemala	1050.00	No Aplica
4	Centro Landivariano Integral de Proyección P. José Ignacio Scheiffler Amézaga, S. J.	Ciudad de Guatemala	3942.00	No Aplica
5	Campus San Pedro Claver, S. J.	San Juan Chamelco, Alta Verapaz	5903.00	2730
6	Campus San Luis Gonzaga, S.J.	Zacapa	6650.00	2422
7	Sede de Jutiapa	Jutiapa	571.00	1843
8	Sede de Antigua Guatemala	Sacatepéquez	800.00	3616
9	Campus P. César Augusto Jerez García, S. J.	Quiché	6391.00	1235
10	Campus San Roque González de Santa Cruz	Huehuetenango	6850.00	1566
11	Campus San Alberto Hurtado, S. J.	Quetzaltenango	6206.00	7072
12	Sede de Escuintla	Escuintla	No Disponible	2726
			Total	35 976

Dado que la Universidad Rafael Landívar forma parte de la red global de universidades jesuitas, la abreviatura S.J. es parte del nombre propio de los campus del Sistema Universitario Landivariano. Por sus siglas en latín, S.J. (Societas Iesu) se refiere a Compañía de Jesús.

CUADRO III. FUENTES DE EMISIÓN DEL SISTEMA UNIVERSITARIO LANDIVARIANO.

Fuentes de emisión	Descripción	Insumos
Directas: emisiones de alcance 1		
Estacionarias	Generadores de energía eléctrica de emergencia y mecheros de laboratorio.	3027.36 gal de diésel
		648.56 gal de gas licuado de petróleo
Móviles	Camiones rígidos de carga ligera, liviana, mediana y pesada	2351.42 gal de diésel
	Vehículos de transporte de pasajeros	3302.81 gal de gasolina
Fugitivas	Equipos de refrigeración y aire acondicionado.	6.97 kg de refrigerante R410A
		4.48 kg de refrigerante R22
		0.0025 kg de refrigerante R32
	Extintores de incendios	0.65 tCO ₂
	Plantas de tratamiento de aguas residuales anaerobias	205 743.00 kg de carga orgánica
	Plantas de tratamiento de aguas residuales aerobias	35 361.20 kg de carga orgánica
Indirectas: Emisiones de alcance 2		
Energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica de la red de distribución local.	3254.89 megavatios por hora (MWh)

RESULTADOS

Las emisiones del SUL en el año 2019 alcanzaron las 2488.16 tCO₂e. La mayor parte de las emisiones están vinculadas al consumo de energía

eléctrica, seguidas en orden descendente por las emisiones debidas al tratamiento de aguas residuales, fuentes móviles, equipos de refrigeración y aire acondicionado y las fuentes estacionarias (**Cuadro IV**).

CUADRO IV. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DEL SISTEMA UNIVERSITARIO LANDI-VARIANO.

Alcance	Rubro	Emisiones de GEI (tCO ₂ e)	Porcentaje (%)
Directas (Alcance 1)	Fuentes móviles	53.17	2.14
	Fuentes estacionarias	34.86	1.40
	Extintores de incendios	0.6532	0.03
	Equipos de Refrigeración y aire acondicionado	37.05	1.49
	Tratamiento de aguas residuales	1088.79	43.79
Indirectas (Alcance 2)	EEGSA, DEORSA y DEOCSA	1273.65	51.19
	Total	2488.16	100

TCO₂e: toneladas de dióxido de carbono equivalentes. EEGSA: Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. DEORSA: Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. DEOCSA: Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A.

Por otra parte, de acuerdo con las bases de datos del departamento de estudios institucionales, en 2019, la población estudiantil fue de 35 976. Para determinar el indicador de intensidad de emisiones de la URL —relacionado con las tCO₂e que se emitieron per cápita— se divide el total de emisiones en 2019 entre la cantidad total de estudiantes inscritos en 2019.

$$\text{Intensidad de emisiones} = \frac{2\,488.16}{35\,976}$$

Intensidad de emisiones = 0.0692 TCO₂e/estudiante

De conservarse los patrones de consumo del año 2019, con base en una línea de tendencia lineal —a partir de la cual se estima que la población a 2040 sería de 44 993 estudiantes (**Fig. 1**)— las emisiones de GEI al mismo año alcanzarían 3113.52 tCO₂e y estarían distribuidas como se muestra en la **figura 2**.

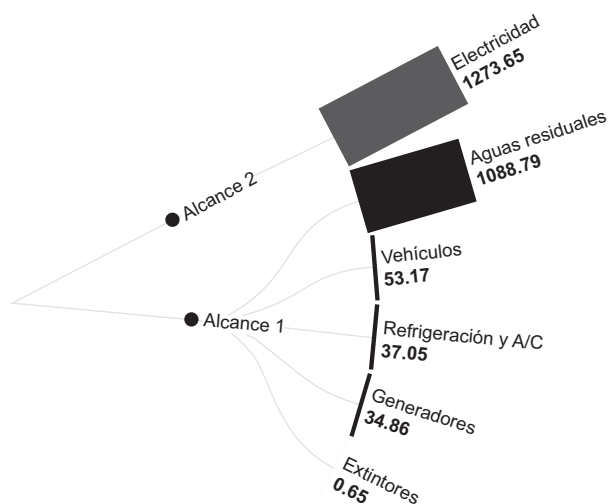


Fig. 2. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por categoría en 2040. Unidades expresadas en toneladas de dióxido de carbono equivalentes (tCO₂e). A/C: aire acondicionado.

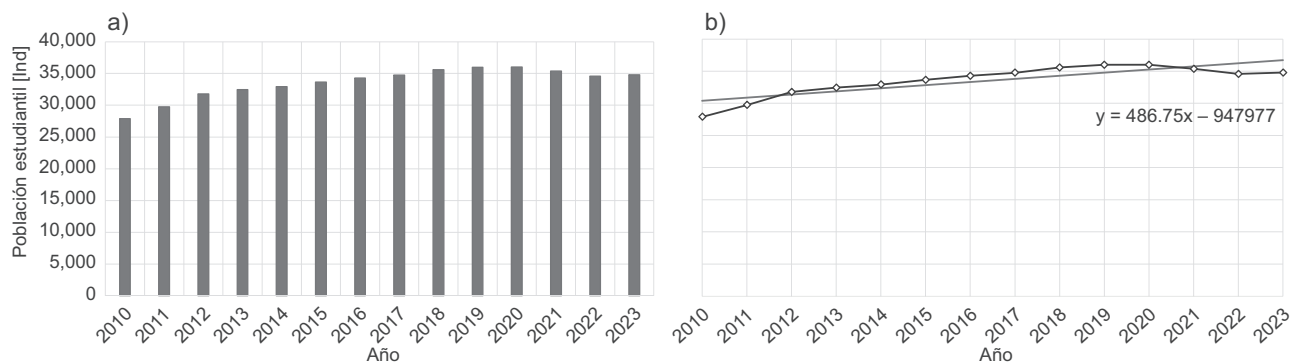


Fig. 1. a) Crecimiento de la población estudiantil durante el periodo 2010-2023, b) línea de tendencia del crecimiento de la población estudiantil. Ind: individuos.

DISCUSIÓN

El cálculo de las emisiones de alcance 1 y 2 de un sector productivo es la base fundamental para que una economía avance hacia el cumplimiento de sus metas de mitigación del cambio climático. Una línea de base permite llevar a cabo el análisis de puntos críticos (*hotspots analysis*, en inglés) para identificar las fuentes de emisión más intensivas, sobre las cuales se pueden trazar estrategias focalizadas (Castellani et al. 2017). El perfil de emisiones de GEI de una institución da a conocer las dinámicas sistémicas de su metabolismo, lo que resulta crucial para transformar sus patrones de consumo, en búsqueda de la sostenibilidad.

Los resultados de esta investigación demuestran consistencia con hallazgos de otras investigaciones relacionadas con huellas de carbono de establecimientos de educación superior en América Latina. Cuando los límites organizacionales se definen por los alcances 1 y 2 (**Fig. C1**), el consumo de electricidad figura como la fuente de GEI más importante (**Fig. 3**). Exceptuando a la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), la Universidad de San Francisco de Quito (USFQ) y la Universidad Autónoma Metropolitana de México (UAM); la Universidad Tecnológica de Pereira del Perú (UTP) y la URL presentan el tratamiento de aguas residuales como la mayor fuente de emisiones de GEI (Vásquez et al. 2015, Velasco et al. 2018, Mendoza-Flores et al. 2019, Varón-Hoyos et al. 2021, Cano et al. 2023). Por una parte, esto se debe a que las actividades de los centros educativos se encuentran fuertemente acopladas al consumo de energía eléctrica y, por otro lado, la segunda causa se vincula con matrices energéticas altamente dependientes de combustibles fósiles.

Aunque la estructura eléctrica productiva de Guatemala se base en más del 50 % en fuentes renovables, ésta aún continúa atada a recursos energéticos altamente contaminantes como el carbón y derivados del petróleo.

Por lo tanto, las estrategias de mitigación del cambio climático en instituciones de educación superior encuentran un punto crítico en la reducción de GEI relacionadas con su consumo de electricidad. Esto puede lograrse de dos formas. En primer lugar, mediante estrategias de eficiencia energética que coadyuven a una reducción considerable del consumo eléctrico, como la actualización tecnológica, el aprovechamiento de la intensidad lumínica del sol y políticas orientadas a un uso responsable de la energía. En segundo lugar, apuntando a la autonomía

energética sostenible para lograr desvincularse progresivamente de la matriz energética local o nacional. En este sentido, las tácticas apuntan a la generación de energía in situ, con base en fuentes como la biomasa, eólica y solar.

Por otra parte, la segunda gran fuente de GEI de la URL se encuentra dentro de la categoría de emisiones fugitivas, específicamente, las derivadas del tratamiento anaerobio y aerobio de aguas residuales. Este es un hallazgo que contrasta con la literatura (**Fig. 3**). Sin embargo, dado que no se contó con información primaria, dichas emisiones se calcularon haciendo uso de datos promedio a nivel nacional de un país con condiciones contextuales relativamente parecidas a las guatemaltecas. Como una medida conservadora (WRI y WBSCD 2004), se utilizó el dato promedio anual de generación de materia orgánica per cápita de México. Idealmente, se debe contar con datos de carga orgánica tratada, cuestión que se deberá mejorar en los sistemas de gestión de la información a futuro, y que requerirá, una vez se desarrollen las bases de datos, por consistencia metodológica, del recálculo de la línea de base.

Similar al perfil de emisiones de la UNAL, las emisiones del tratamiento de aguas residuales ocupan la segunda fuente más importante de GEI en la URL (**Fig. 3**). La razón de esta excepción en comparación con el resto de las universidades tiene que ver con que, a menudo, esta actividad es tercerizada—dejando fuera del alcance 1 y 2 a dichas emisiones— (Mendoza-Flores et al. 2019), no se tiene un monitoreo sobre la remoción de carga orgánica y el sistema de tratamiento en general, o, en algunos casos, por falta de normativas vinculantes se arrojan las aguas residuales sin tratar directamente sobre cuerpos de agua (Velasco et al. 2018).

Las estrategias para reducir las emisiones vinculadas al tratamiento de aguas residuales pasan por implementar sistemas de recolección y quema de gas metano para la generación de electricidad; como también por el aprovechamiento de los lodos generados como fertilizantes orgánicos en la agricultura—lo que propicia la reducción de GEI producto del uso de agroquímicos.

Por último, aunque las demás fuentes de GEI no sean tan relevantes como las antes mencionadas, también se deben trazar políticas de mitigación específicas. Resulta imperativo realizar esfuerzos en línea con la eliminación de sustancias que inclusive son nocivas para otras dimensiones ambientales, como la degradación de la capa de ozono por el uso de químicos prohibidos por el protocolo de Montreal, como por ejemplo el refrigerante R-22 (Llopis et al. 2012).

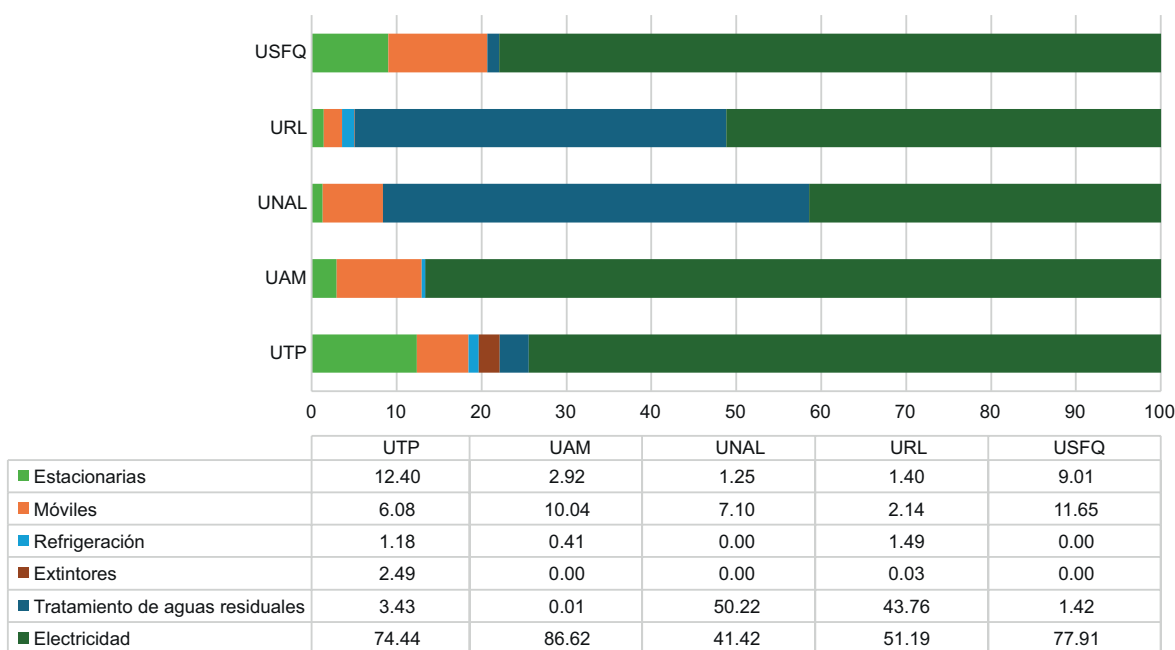


Fig. 3. Emisiones de gases de efecto invernadero de alcance 1 y 2 en universidades de América Latina. Unidades expresadas en porcentajes. USFQ: Universidad de San Francisco de Quito. URL: Universidad Rafael Landívar. UNAL: Universidad Nacional de Colombia. UAM: Universidad Autónoma Metropolitana de México. UTP: Universidad Tecnológica de Pereira del Perú.

A futuro, la agenda de investigación que debe atenderse para complementar y profundizar este estudio es, por una parte, el cálculo de emisiones de alcance 3, lo que implica desarrollar el inventario de fuentes de emisión inducidas por la URL a lo largo de todas las cadenas de valor que permiten sus operaciones. Esto involucra, en primer lugar, realizar análisis de huellas de carbono basadas en el consumo de todos los bienes y servicios adquiridos por la URL en el año de base seleccionado (GHGP 2005b). Por otra parte, también se encuentran las emisiones relacionadas con el transporte tercerizado de la URL, el transporte de colaboradores y estudiantes –desde sus sitios de residencia hacia los campus y sedes–, viajes de negocios, tratamiento de desechos sólidos, alquiler de edificios, por mencionar algunos (**Fig. C1**).

CONCLUSIONES

El presente estudio se llevó a cabo según los principios, conceptos y metodologías para cuantificar y reportar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) corporativas del WRI y WBCSD, en apego al estándar ISO 14064-1:2019. Los límites espaciales de la investigación se definieron por las emisiones

de GEI directas (alcance 1) e indirectas debidas al consumo de energía eléctrica (alcance 2). La suma total de emisiones de línea base (año 2019) resultó ser de 2488.16 TCO₂ equivalentes. Para el año 2019, el indicador de emisiones de la URL fue de 0.0692 TCO₂ equivalentes por cada estudiante inscrito. Considerando que el crecimiento poblacional promedio de todo el SUL durante el periodo 2010-2023 es de 1.74 %, la cantidad de emisiones al año 2040 se estima en 3113.52 TCO₂ equivalentes.

En el cálculo de las emisiones directas se identificaron e incluyeron fuentes estacionarias, móviles y fugitivas. Dichas emisiones representan el 48.81 % (1214.52 TCO₂ equivalentes) del total. Por otra parte, las emisiones indirectas alcanzaron 1273.64 TCO₂ equivalentes (51.19 % del total de las emisiones). Dichas emisiones corresponden al consumo de energía eléctrica de las redes de distribuidores locales.

Por lo tanto, las estrategias de mitigación de GEI de mayor prioridad deben enfocarse en el desarrollo e implementación de políticas vinculadas al aumento de eficiencias mediante el uso responsable de recursos energéticos, la actualización tecnológica y recuperación de fuentes energéticas como el gas metano producto del tratamiento de aguas residuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta investigación agradecen a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza por financiar y apoyar esta investigación.

REFERENCIAS

- ANSI y ASHRAE (2019). Designation and safety classification of refrigerants, ANSI/ASHRAE addendum f to ANSI/ASHRAE Standard 34-2019. American National Standards Institute and American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. ANSI, Atlanta, EUA. 12 de diciembre de 2019.
- 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>
- Castellani V., Sala S. y Benini L. (2017). Hotspots analysis and critical interpretation of food life cycle assessment studies for selecting eco-innovation options and for policy support. *Journal of Cleaner Production* 140, 556-568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.078>
- Dagbegnon C., Dagbegnon S. y Singh V. P. (2016). Impact of climate change on the hydrologic cycle and implications for society. *Environment and Social Psychology* 1 (1), 36-49. <https://doi.org/10.18063/ESP.2016.01.002>
- GHGP (2005a). Calculating HFC and PFC emissions from the manufacturing, installation, operation and disposal of refrigeration and air conditioning equipment. HFC Tool (Version 1.0). Guide to calculation worksheets. Green House Gases Protocol. Reston, EUA, 17 pp.
- GHGP (2005b). Calculation tools and guidance. Refrigeration and air-conditioning equipment. Green House Gases Protocol [en línea] <https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance> 02/08/2024
- Herth A. y Blok K. (2023). Quantifying universities' direct and indirect carbon emissions – the case of Delft University of Technology. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 24 (9), 21-52. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2022-0121>
- IPCC (2006). Wastewater treatment and discharge. En: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 5, waste. Intergovernmental Panel on Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japón, 6.6-6.28 pp.
- Kangalawe R. Y. M. (2017). Climate change impacts on water resource management and community livelihoods in the southern highlands of Tanzania. *Climate and Development* 9 (3), 191-201. <https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1139487>
- Klein-Banai C. y Theis T. L. (2013). Quantitative analysis of factors affecting greenhouse gas emissions at institutions of higher education. *Journal of Cleaner Production* 48, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.004>
- Lamb W.F., Wiedmann T., Pongratz J., Andrew R., Crippa M., Olivier J.G., Wiedenhofer D., Mattioli G., Al Khourdajie A., House J. y Pachauri S. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters* 16 (7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- Llopis R., Torrella E., Cabello R. y Sánchez D. (2012). HCFC-22 replacement with drop-in and retrofit HFC refrigerants in a two-stage refrigeration plant for low temperature. *International Journal of Refrigeration* 35 (4), 810-816. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.01.001>
- Louis V. R. y Phalkey R. K. (2016). Health impacts in a changing climate – an overview. *The European Physical Journal Special Topics* 225 (3), 429-441. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2016-60073-9>
- MARN (2021). Contribución nacionalmente determinada, Guatemala 2021. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala, 94 pp.
- MEM (2019). Balance energético 2019. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala, 17 pp.
- 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>
- Mutschele C., Pareja M. C., Martínez Sepúlveda J. A., Longhurst J. y Da Silva I. (2021). Universities and the race to net zero. *Cambridge Open Engage*. <https://doi.org/10.33774/coe-2021-rgrl2>
- Ozawa-Meida L., Brockway P., Letten K., Davies J. y Fleming P. (2013). Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. *Journal of Cleaner Production* 56, 185-198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.028>
- QS (2024). Environmental sustainability: Our methods. Weights of metrics for environmental sustainability. Quacquarelli Symonds. [en línea] <https://support.qs.com/hc/en-gb/articles/8568859719708-Environmental-Sustainability> 30/07/2024
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin III F. S., Lambin E., Lenton T. M., Scheffer M., Folke C. y Schellnhuber H. J. (2009). Planetary boundaries:

- Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14 (2), 32. <https://www.jstor.org/stable/26268316>
- Stoler J., Brewis A., Kangmennang J., Keough S. B., Pearson A. L., Rosinger A. Y., Stauber C. y Stevenson E. G. (2021). Connecting the dots between climate change, household water insecurity, and migration. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 51, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.02.008>
- 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>
- 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>
- Velasco A., Valencia M., Morrow S. y Ochoa-Herrera V. (2018). Understanding the limits of assessing sustainability at Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador, while reporting for a North American system. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 19 (4), 721-738. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2017-0054>
- WRI y WBCSD (2004). GHG protocol corporate accounting and reporting standard. Revised edition. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. Washington, D.C., EUA, 112 pp.
- WRI y WBSCD (2014). GHG protocol scope 2 guidance. An amendment to the GHG Protocol Corporate Standard. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. Washington, D.C., EUA, 116 pp.

MATERIAL COMPLEMENTARIO

CUADRO CI. MODELO GENERAL DE MATRIZ DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN.



Matriz de solicitud de información para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero institucionales (Alcance 1 y 2)

Alcance	Descripción	Tipo	Información solicitada	Unidades de medida	Avance	Responsables	Observaciones
Emisiones de alcance 1	(carros, Pick-ups, camiones, tractores, montacargas, Otros)	Vehículos de gasolina	Marcas, modelos, año de fabricación, distancia recorrida, combustible consumido.	Kilómetros de distancia recorrida y galones de combustible consumido.	0%		
		Vehículos diesel			0%		
		Vehículos de gas licuado del petróleo (GLP)			0%		
		Otros			0%		
	Fuentes estacionarias	Generadores de emergencia	Marcas, modelos, año de fabricación, horas de trabajo y tipo y cantidad de combustible consumido.	Horas y galones de combustible consumido.	0%		
		Calderas			0%		
		Plantas de tratamiento de aguas residuales			0%		
		Biodigestores			0%		
	Agricultura	Cultivos	** Área y tipo de cultivo ** ¿hubo cambio en el uso de la tierra en 2019? ** Descripción de métodos agrícolas y uso de fertilizantes. ** Descripción del manejo de residuos de la agricultura.	** Manzanas o hectáreas de cultivo. ** Litros y tipo de fertilizantes.	0%		
		Ganadería			0%		
Emisiones de alcance 2	Fuentes fugitivas	Equipos de acondicionamiento de aire	Tipos de gas refrigerante utilizados	Litros de recarga anual	0%		
		Extintores	Tipos de agente utilizado	Litros de recarga anual	0%		
		Procesos químicos	Descripción de las reacciones químicas que emiten gases de efecto invernadero, cantidades de agentes químicos	Litros de químicos utilizados por año	0%		
	Compra de energía eléctrica	Energía eléctrica consumida	Facturación mensual o anual	Kilowatt hora o megawatt hora	0%		

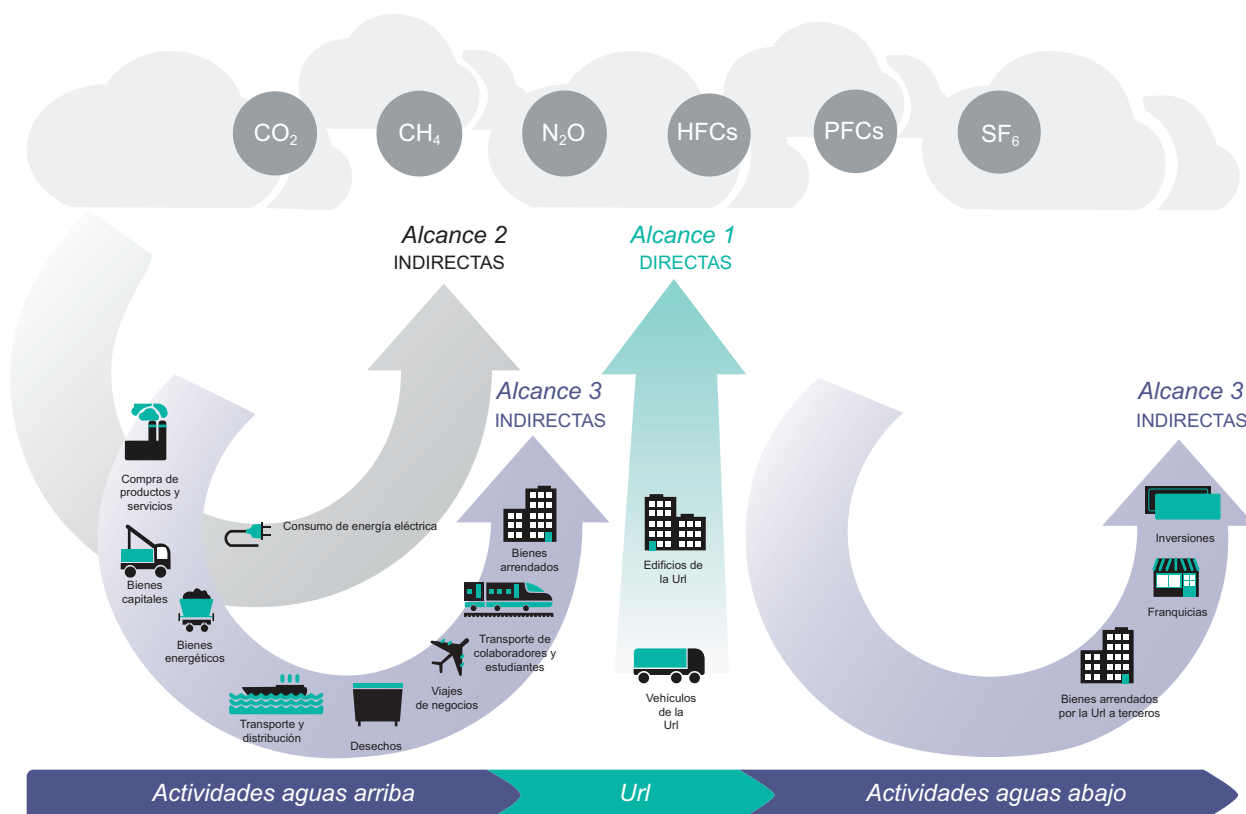


Fig. C1. Esquema de emisiones de alcance 1, 2 y 3.

Fuente: traducido y modificado de WRI y WBCSD (2004). El alcance se refiere a los límites operativos tomados en cuenta en un reporte de GEI. Alcance 1, se refiere a las emisiones que están bajo el control operativo de la Universidad Rafael Landívar (Url). El alcance 2, se refiere a las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica. El alcance 3, son las emisiones inducidas a lo largo de las cadenas de valor vinculadas a la Url.