



Modelado de la reducción de la huella de carbono en Panamá: vehículos y cocinas eléctricas

Modeling the reduction of Panama's Carbon Footprint: vehicles and electric stoves

Sara S. Campos M.¹, Dorindo Cárdenas^{1,2,3}

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

²Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP (CEMCIT AIP), Panamá

³Sistema Nacional de Investigación de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación SENACYT

*Autor de correspondencia: dorindo.cardenas@utp.ac.pa

RESUMEN. La huella de carbono en Panamá es un aspecto clave en el contexto del cambio climático y la sostenibilidad. Este estudio evalúa las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por vehículos y cocinas convencionales, comparándolas con su posible transición a alternativas eléctricas en un edificio institucional. El objetivo es cuantificar las emisiones asociadas a ambos sectores y analizar el impacto de migrar hacia tecnologías eléctricas, considerando la matriz energética actual del país, cuyos resultados pueden variar conforme evolucione la generación eléctrica. La metodología consistió en recopilar datos del uso de vehículos y cocinas en el edificio #1 de la Universidad Tecnológica de Panamá, campus Víctor Levi Sasso. Mediante un modelo matemático, se estimaron las emisiones de CO₂ generadas por los desplazamientos de personal y estudiantes, así como por los equipos empleados con fines institucionales. Esta información se complementó con fuentes verificables para calcular la huella de carbono de ambas tecnologías. Los resultados muestran que los vehículos convencionales producen más emisiones que los eléctricos, resaltando el potencial de la electrificación del transporte. No obstante, las cocinas eléctricas, bajo la actual matriz energética, generan más CO₂ que las de gas. Un análisis de sensibilidad evidenció que una mayor participación de energías renovables podría revertir esta tendencia, haciendo viable su adopción. En conclusión, la incorporación de vehículos eléctricos resulta una estrategia efectiva para reducir las emisiones de CO₂ en Panamá. En cambio, la transición a cocinas eléctricas sería ambientalmente favorable únicamente si la generación eléctrica se basa en fuentes más limpias.

Palabras clave. *Cocinas eléctricas, emisiones de dióxido de carbono, huella de carbono, transición energética.*

ABSTRACT. The carbon footprint in Panama is a key aspect in the context of climate change and sustainability. This study evaluates the carbon dioxide (CO₂) emissions generated by conventional vehicles and kitchens, comparing them with their possible transition to electric alternatives in an institutional building. The objective is to quantify the emissions associated with both sectors and analyze the impact of migrating to electric technologies, considering the country's current energy matrix, whose results may vary as power generation evolves. The methodology consisted of collecting data on the use of vehicles and kitchens in Building #1 of the Technological University of Panama, Víctor Levi Sasso campus. Through a mathematical model, CO₂ emissions generated by the commuting of staff and students, as well as by equipment used for institutional purposes, were estimated. This information was complemented with verifiable sources to calculate the carbon footprint of both technologies. The results show that conventional vehicles produce more emissions than electric ones, highlighting the potential of transport electrification. However, under the current energy matrix, electric kitchens generate more CO₂ than gas ones. A sensitivity analysis showed that a greater share of renewable energy could reverse this trend, making their adoption viable. In conclusion, the incorporation of electric vehicles is an effective strategy to reduce CO₂ emissions in Panama. In contrast, the transition to electric kitchens would only be environmentally favorable if electricity generation is based on cleaner sources.

Keywords. *Electric stoves, carbon dioxide emissions, carbon footprint, energy transition, electric vehicles.*

Citación: S. Campos y D. Cárdenas, "Modelado de la reducción de la huella de carbono en Panamá: vehículos y cocinas eléctricas", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 21, no. 1, pp. (0), 2025.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 11 de noviembre de 2024. **Recibido con correcciones:** 10 de marzo de 2025. **Aceptado:** 11 de agosto de 2025.

DOI.

Copyright: 2025 S. Campos y D. Cárdenas. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

1. Introducción

Desde finales del siglo XX hasta nuestros días, muchas personas han estimado que el cambio climático es el desafío más grande que la humanidad debe enfrentar, pues son alteraciones a largo plazo en el clima de la Tierra, causadas por variaciones naturales y por las emisiones de gases de efecto invernadero producto de actividades humanas [1], [2], [3], [4], [5].

A medida que hacerle frente al cambio climático se convierte en un desafío global, la atención se centra en la necesidad de un desarrollo sostenible [6], [7], [8], [9], [10], [11]. No obstante, América Latina presenta obstáculos como la pobreza, brechas en educación, desempleo e inversión social insuficiente, que complican este camino [12], [13], [14], [15], [16], [17].

En este contexto, Panamá en su camino hacia un desarrollo sostenible, ha adoptado medidas concretas para la reducción de emisiones. En 2015, se creó el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), que, junto con otras entidades, se encarga de elaborar y difundir un inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y sus respectivas absorciones. Asimismo, se ha comprometido a implementar una estrategia quinquenal que promueva un crecimiento sostenible y con bajas emisiones de carbono [18], [19].

Bajo la dirección del Ministerio de Ambiente y diversas instituciones, se estableció el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), que incluye emisiones de CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, NF₃ y CO₂, así como las absorciones de este último [20]. El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los gases con el mayor impacto en el clima global, lo que resalta la necesidad de medir las emisiones que se generan en diferentes países [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27].

Panamá es consciente del riesgo del cambio climático para su población y ecosistemas, por esto se compromete a reducir gases de efecto invernadero, orientándose hacia un desarrollo de bajas emisiones [28], [29]. En la Cumbre para la Acción Climática, el Ministro de Ambiente de Panamá destacó la necesidad de implementar acciones de mitigación para avanzar hacia un desarrollo sostenible [30]. Asimismo, se ha elaborado el Plan de Acción de Cambio Climático, que busca mitigar el cambio climático mediante acciones específicas en distintos sectores [31]. Entre los proyectos destacados se encuentra la iniciativa de reforestación “Sembrando

Vida” que busca sembrar árboles para restaurar áreas degradadas [32].

En Panamá, varias organizaciones promueven la sostenibilidad, como, AMUPA que ofrece talleres sobre la huella de carbono [33], mientras que el Ministerio de Ambiente impulsa el programa "Reduce tu huella corporativa" [34]. El Canal de Panamá busca alcanzar la neutralidad de carbono [35], y COPA Airlines se compromete a reducir sus emisiones de CO₂ [36]. Además, el Ministerio de Ambiente y la Universidad de Panamá instalaron una torre para medir gases de efecto invernadero como parte de su estrategia contra el cambio climático [37].

En este trabajo se evalúan las emisiones de CO₂ que resultarían del reemplazo de las cocinas y vehículos que utilizan combustibles fósiles en un edificio institucional clásico, por alternativas eléctricas, para comprender el impacto de estas transiciones en la huella de carbono para Panamá. Esto es relevante en el contexto del acuerdo presentado en la COP 28, donde se dio el compromiso para la eliminación gradual de los combustibles fósiles y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero [38]. Panamá ha implementado diversas acciones en su transición energética para promover la sostenibilidad y reducir la dependencia de combustibles fósiles, entre ellas, una notable diversificación de la matriz energética que históricamente fue solo térmica e hidroeléctrica, pero en las últimas décadas han sido desarrolladas ampliamente generadoras plenamente renovables como la eólica y la solar, que pasaron de casi cero en 2015 a representar el 20% de la capacidad instalada en 2024 [39]. Panamá también lleva a cabo la implementación de la Agenda de Transición Energética (ATE) [40], una política que busca aumentar el uso de energías renovables no hidroeléctricas, promover la movilidad eléctrica, garantizar el acceso a energía limpia y modernizar el sector eléctrico. Esta agenda establece estrategias y objetivos claros para avanzar hacia una matriz energética más sostenible y menos dependiente de combustibles fósiles.

En lo que se refiere a movilidad eléctrica, Panamá ha adoptado medidas para incentivar el uso de vehículos eléctricos en el transporte terrestre. La Ley 295 de 25 de abril de 2022 [41] promueve la movilidad eléctrica en el país, estableciendo incentivos y regulaciones para facilitar la adopción de esta tecnología. En lo que se refiere a infraestructuras de uso energético, la Junta

Técnica de Ingeniería y Arquitectura de Panamá ha implementado un Reglamento de Edificación Sostenible [42] que incentiva el diseño y construcciones energéticamente eficientes y la inclusión otros elementos que contribuyen a la reducción de la huella de carbono, como lo son los cargadores para automóviles eléctricos entre otras disposiciones.

Aunque existen múltiples acciones que Panamá ha tomado para promover la sostenibilidad y reducir su huella de carbono, el impacto de dichas acciones es difícil de estimar en forma cuantitativa. Por esa razón, en este artículo, hemos tomado un caso técnico que puede describirse como delimitado y controlado. Se proporcionan datos concretos de un estudio de caso sobre emisiones de CO₂ asociadas al uso de cocinas y vehículos eléctricos en comparación con los vehículos convencionales para un edificio institucional del cual se tienen mediciones oficiales [43]. Esto permitirá identificar cuales opciones generan menos CO₂, fomentando una mayor conciencia social sobre la adopción de tecnologías más sostenibles, contribuyendo así a los esfuerzos del país para enfrentar el cambio climático.

2. Materiales y Métodos

Para llevar a cabo esta investigación, se realizó una recopilación de datos sobre las emisiones de dióxido de carbono asociadas a las cocinas y a los vehículos institucionales y personales de quienes asisten al edificio #1 de la sede Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá, así como los factores de emisión específicos para cada combustible. Estos factores proporcionan información sobre la cantidad de combustible utilizado en los vehículos, la cantidad de gas de cocina, así como el consumo energético y otros aspectos similares.

Se seleccionó el edificio #1 de la Universidad Tecnológica de Panamá por su representatividad en el consumo energético institucional. Este es el edificio multinivel más antiguo de la institución en la Sede Central del Campus Víctor Levi Sasso, donde se llevan a cabo operaciones académicas, administrativas y de investigación. Técnicamente, los datos de consumo energético en este edificio han sido medidos durante los periodos utilizados para el modelo de estudio, y no simplemente estimados, por lo que cuentan como datos oficiales de consumo institucional delimitado y

controlado; logrando un modelado experimental a escala completa que podría ser extensivo a otras instituciones en climas tropicales como el de Panamá, con características parecidas.

Para determinar las emisiones de CO₂ de cada actividad, es necesario multiplicar los datos correspondientes de cada actividad por el factor de emisión respectivo [44]. Es relevante tener en cuenta que la búsqueda de los factores de emisión se basa en las unidades utilizadas para recopilar los datos de actividad de las fuentes emisoras que se están considerando. Estos factores proporcionan información sobre la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por cada unidad de actividad registrada y son distintos según la actividad considerada [45], [46], [47].

Huella de Carbono = Dato de actividad × Factor de emisión (1)

Para calcular las emisiones generadas por los desplazamientos de vehículos hacia el edificio, se consideraron, tanto los vehículos personales de quienes asisten al edificio como los vehículos institucionales, donde el consumo de combustible corre a cargo de la organización. Estos son utilizados para actividades laborales, viajes, giras, correspondencias y otras tareas similares relacionadas con dicho edificio. Sin embargo, en este estudio se excluyen los desplazamientos sobre los cuales no se tiene control sobre el consumo, como el uso de autobuses privados, taxis, metros y otros medios de transporte similares. Esto se hizo en esta forma para tener una muestra de medición lo más amplia posible, pero también salvaguardando la precisión controlada de los resultados de nuestro modelado.

Se utilizó un sistema de encuestas con preguntas específicas y respuestas de carácter cuantitativo para determinar la aportación de emisiones de CO₂ en lo que respecta a vehículos particulares vinculados al edificio #1, Para calcular la cantidad de respuestas necesarias en una población finita para tener un supuesto válido, empleamos la ecuación (2) [48].

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{e^2 \times (N-1) \times Z^2 \times p \times q} \quad (2)$$

Donde:

N = tamaño de la población.

Z = valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal, relacionado también al nivel de confianza.

En la tabla 1 se presenta el valor crítico que se debe utilizar según el nivel de confianza esperado.

Tabla 1. Valor de Z según el nivel de confianza deseado
Fuente: Metodología de la investigación social cuantitativa [48]

% de error	Nivel de confianza	Valor de Z calculado en las tablas
1	99%	2.58
5	95%	1.96
10	90%	1.645

e = nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio.

En la tabla 2 se presenta el valor de nivel de precisión absoluta a utilizar según el nivel de confianza esperado.

Tabla 2. Valor de “e” según el porcentaje de precisión deseado
Fuente: Metodología de la investigación social cuantitativa [48]

%	Valor e
90	0.1
95	0.05
99	0.001

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia.

q = proporción de la población de referencia que no representa el fenómeno en estudio.

La suma de p y q debe dar 1.

Dada de la información que se tiene de los vehículos, fue posible obtener los datos de esta actividad mediante los siguientes métodos.

2.1 Kilometraje, marca y modelo del vehículo

Cuando no se tiene una medida directa del consumo de combustible específico de los vehículos, es posible estimarlo mediante la siguiente ecuación [49].

$$\text{Consumo} = (\#\text{vehículo}) \times \frac{\text{km}}{\text{día}} \times \frac{1}{n_{\text{vehículo}}} \times \text{días}_{\text{lab}} \quad (3)$$

$$\text{Consumo} = (\#\text{vehículo}) \times \frac{\text{km}}{\text{día}} \times \frac{1}{n_{\text{comerc}} \times f.e \left[\frac{\text{km}}{\text{litro}_{\text{galón}}} \right]} \times \text{días}_{\text{lab}} \quad (4)$$

Donde:

Vehículo es la cantidad de vehículos iguales.

km/día es el kilometraje que recorre cada vehículo por día.

$n_{\text{vehículo}}$ es la eficiencia del vehículo; definida por la distancia recorrida del vehículo entre el consumo volumétrico de combustible. Se define también como la eficiencia comercial por el factor de estancamiento.

n_{comerc} es la eficiencia comercial dada por el fabricante para determinado vehículo.

días_{lab} son los días en los que ocurre un desplazamiento vehicular relacionado con el edificio 1, durante el período de estudio.

f.e es el factor de estancamiento el cual puede tomar los siguientes valores:

$$f.e = \begin{cases} 0.5_{\text{ciudad}} \\ 0.75_{\text{mixto}} \\ 0.9_{\text{carreteras}} \end{cases}$$

2.2 Combustible consumido (diésel, gasolina)

En caso de tener datos sobre el consumo de combustible de los vehículos, se requiere realizar una conversión de unidades, solamente si la unidad deseada para trabajar no coincide con la que se dispone.

Una vez se hayan recopilado los datos de consumo de combustible de los vehículos, es necesario buscar los factores de emisión específicos para cada tipo de combustible, en caso de que se dispongan de diferentes tipos.

Después, se procede a multiplicar el consumo de combustible por el factor de emisión correspondiente, con el fin de calcular las emisiones de CO₂ generadas por esta actividad y evaluar su impacto en el medio ambiente.

2.2.1 Consumo de combustibles fósiles en instalaciones fijas

Los combustibles fósiles son usados en distintas instalaciones fijas, como en hornos, calderas, turbinas, calentadores, etc. Los más comunes en Panamá son:

- Gasolina (galones o litros)
- Diésel (galones o litros)
- Gas licuado de petróleo (kilogramos o litros)

- Fueloil (barriles o toneladas)
- Queroseno (galones o litros)
- Gas natural (kWh)
- Gas butano (kilogramo)
- Gas propano(kilogramo)

Para conocer las cantidades de combustibles consumidos en un lapso específico en la organización, obtuvimos los valores de consumo de las facturas mensuales o de los registros de la administración.

Una vez con esta información, se realiza el producto del consumo del combustible por su respectivo factor de emisión.

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los datos obtenidos al calcular la emisión de gases de efecto invernadero asociados a las cocinas y a los vehículos institucionales y personales de quienes asisten al edificio #1 de la Universidad Tecnológica de Panamá, ubicado en el Campus Víctor Levi Sasso.

3.1. Desplazamientos de vehículos

Al evaluar las emisiones de CO₂ causadas por los desplazamientos de los vehículos, se contempló tanto a aquellos que son propiedad de terceros (personales), como los vehículos propiedad de la universidad (institucionales). Para éstos últimos, se dispone de datos medidos directos sobre su consumo de combustible. En primer lugar, se examinarán los vehículos propiedad de terceros.

Dado que no es posible tener un registro exacto del combustible utilizado por los vehículos de terceros, realizamos una encuesta de respuestas cuantitativas, para obtener los datos necesarios de cada vehículo, que nos permitió estimar adecuadamente tanto el consumo de combustible individual, como las emisiones que contribuyen colectivamente al medio ambiente.

En el edificio #1 de la Universidad Tecnológica de Panamá, se imparte clases a aproximadamente 292 grupos estudiantiles de 30 personas en promedio cada uno. Se aplicó la ecuación (2) con el fin de establecer la cantidad de respuestas necesarias en la encuesta. Esto permitió obtener información representativa que pueda ser generalizada y proporcionar una estimación válida para este estudio.

Datos:

$$N = 8,760 \text{ personas}$$

$$Z = 1.96$$

$$e = 0.05$$

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

$$n = \frac{8,760 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2 \times (8760-1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$n = 368 \text{ personas}$$

Al obtener las respuestas de la encuesta, se recopilaron los siguientes datos que fueron proporcionados por un total de 384 personas:

3.1.1 El kilometraje recorrido

Considerando el lugar desde donde cada persona reportó que se desplaza, se realizó una estimación por sistemas de posicionamiento global (GIS) del kilometraje recorrido diariamente por ese individuo en su trayecto vinculado a la universidad.

3.1.2 El medio de transporte utilizado

De acuerdo con los resultados; el 54.69% de las personas que asisten a este edificio utilizan el transporte público, mientras que el 45.31% se desplazan en su propio vehículo, tal como se aprecia en la figura 1.

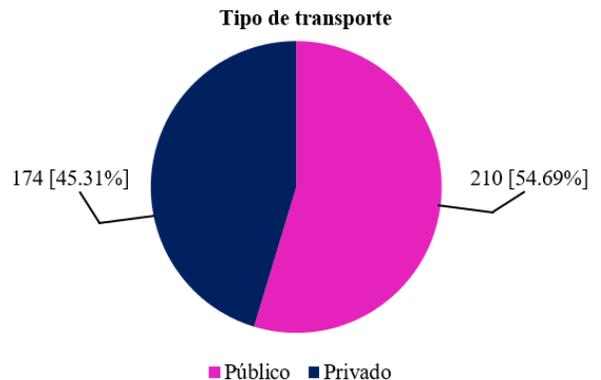


Figura 1. Tipo de transporte empleado para ir al edificio #1.

3.1.3 Marca y modelo de los vehículos

Mediante la obtención de estos datos se pudo conocer la eficiencia comercial de cada uno de ellos, siendo data común en la ficha técnica de cada uno de los fabricantes.

3.1.4 Asistencia diaria al edificio #1

Con esto, se tiene la capacidad de calcular las emisiones de CO₂ durante el período de estudio deseado.

En la figura 2 puede verse el análisis completo de asistencia diaria al edificio #1.

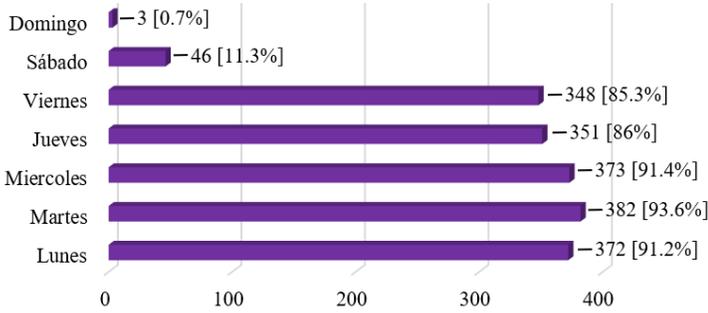


Figura 2. Proporción de asistencia al edificio #1.

3.1.5 Tipo de combustible

Con esta información, es posible asignar los factores de emisión adecuados, según el tipo de combustible y las unidades utilizadas. En este caso, se encontró que el 8.05% de la población que posee vehículos propios, utiliza diésel como combustible, por lo que se utilizará un factor de emisión de $2.539 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{litros}}$ [50]. Por otro lado, el 91.95% de la población utiliza gasolina, por lo que se empleará un factor de emisión de $2.196 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{litros}}$ [50]. La figura 3 muestra el análisis completo del uso de los diferentes combustibles.

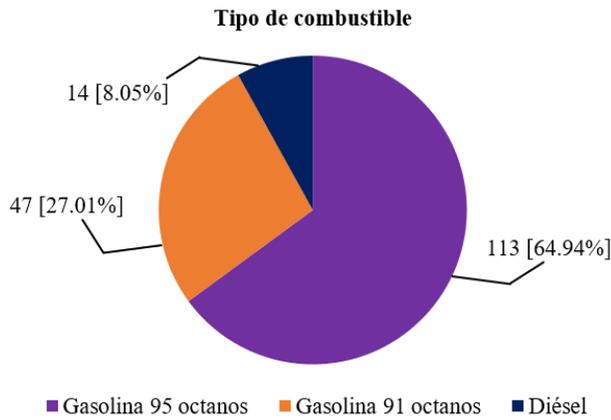


Figura 3. Tipos de combustibles utilizados para desplazarse al edificio #1.

Utilizando los datos recopilados en la encuesta, se procedió a analizarlos, seguido de realizar los cálculos de rigor y buscar información específica de cada modelo de auto con el fin de obtener el consumo anual del desplazamiento de cada vehículo al edificio #1, el cual se obtuvo mediante la ecuación (3).

Después de obtener estos datos, se realizó la suma del consumo anual de todos los vehículos particulares, resultando en un total de 66,159.2 litros de combustible,

con lo que se obtuvo el promedio de combustible anual del total de las 384 personas encuestadas, dando como resultado 172.3 litros. Además, de la encuesta se extrajeron los promedios de combustibles anuales específicos para los diferentes tipos de combustible: el promedio anual para los vehículos diésel fue de 166.9 litros de diésel, mientras que el promedio anual para los vehículos que utilizan gasolina fue de 174.1 litros.

Considerando que las personas utilizan dos tipos distintos de combustibles para sus desplazamientos hacia la universidad, se ha estimado la huella de carbono específica correspondiente a cada uno de ellos, teniendo en cuenta el porcentaje de personas que asisten al edificio en su vehículo personal, así como los factores de emisión específicos de cada combustible de la siguiente manera:

- **Gasolina:** Considerando que el 91.95% de las personas que utilizan vehículos personales para desplazarse a la universidad optan por la gasolina como fuente de combustible, se procede a calcular el consumo anual de gasolina de la siguiente manera.

$$\text{Consumo} = 174.1 \times 8,760 \times \frac{45.31\%}{100} \times \frac{91.95\%}{100}$$

$$\text{Consumo} = 635,402.141 \text{ [litros de gasolina]}$$

Para el cálculo de la huella de carbono se utiliza la ecuación (1).

$$\text{Huella de carbono} = 635,402.141 \times 2.196 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1,395,343.09 \text{ kg de CO}_2$$

- **Diésel:** Como se ha señalado anteriormente, el 8.05% de las personas que se desplazan a la universidad en vehículos de su propiedad, eligen diésel como su fuente de combustible. Por lo tanto, para obtener el consumo anual de diésel de este grupo, se lleva a cabo el cálculo de la siguiente forma.

$$\text{Consumo} = 166.9 \text{ l} \times 8,760 \times \frac{45.31\%}{100} \times \frac{8.05\%}{100}$$

$$\text{Consumo} = 53,327.391 \text{ [litros de diésel]}$$

Para el cálculo de la huella de carbono se utiliza la ecuación (1).

$$\text{Huella de carbono} = 53,327.39 \text{ l} \times 2.539 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 135,398.24 \text{ kg CO}_2$$

Ahora, se hará énfasis en los vehículos que son propiedad de la universidad y que son utilizados para funciones del edificio #1. Este edificio dispone de 4 automóviles para el uso de sus funciones laborales, según datos oficiales de la unidad de mantenimiento de la universidad.

Al igual que en los casos anteriores, utilizan tanto combustible diésel como gasolina, utilizando factores de emisión de $2.539 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Litros de diésel}}$ y $2.196 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Litros de gasolina}}$, respectivamente [50]. La unidad de mantenimiento de la universidad se encarga del seguimiento anual de estos vehículos, proporcionando los datos necesarios para calcular las emisiones de CO₂ derivadas a esta actividad, presentadas en la tabla 3:

Tabla 3. Datos de vehículos oficiales de la UTP para fines laborales del edificio #1
Fuente: Universidad Tecnológica de Panamá

Marca	Modelo	Producto	Consumo de combustible anual (litros)
Hyundai	HD72	Diésel Máxima	313.35
Nissan	Urvan	Diésel Máxima	986.93
Toyota	Fortuner	Diésel Máxima	1,090.35
Chevrolet	CMV	Máxima 91	98.69

Una vez obtenido el consumo anual en litros de combustible para cada vehículo, se procede a sumar los consumos correspondientes a cada grupo de combustible, en este caso gasolina y diésel. Se utiliza la ecuación (1) para calcular las emisiones producto de esta actividad, de la siguiente manera:

- Gasolina:**

$$\text{Huella de carbono} = 98.69 \text{ l} \times 2.196 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 216.72 \text{ kg CO}_2$$

- Diésel:**

$$\text{Huella de carbono} = 2,390.63 \text{ l} \times 2.539 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 6,069.81 \text{ kg CO}_2$$

De esta manera, se obtiene la suma total de emisiones generadas por el desplazamiento de vehículos, incluyendo, tanto los a vehículos propiedad de terceros como a los oficiales del edificio #1. El valor resultante de estas emisiones es:

$$\text{Huella de carbono} = 1,395,343.09 \text{ kg de CO}_2 + 135,398.24 \text{ kg CO}_2 + 216.72 \text{ kg CO}_2 + 6,069.81 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Huella de carbono} = 1,537,027.86 \text{ kg CO}_2$$

3.2. Consumo de combustibles fósiles en instalaciones fijas

El departamento de mantenimiento de la Universidad Tecnológica de Panamá proporcionó los datos oficiales relacionados con el consumo de combustibles fósiles en las instalaciones fijas. Durante los meses de temporada baja, que corresponden a enero, febrero, noviembre y diciembre, se registra un consumo mensual aproximado de 4,500 litros. En los demás meses, considerados como la temporada alta, el consumo mensual aproximado es de 6,500 litros. Esto resulta en un consumo anual de 70,000 litros, como se puede ver en la tabla 4.

Tabla 4. Datos del consumo anual de gas propano del edificio #1
Fuente: Universidad Tecnológica de Panamá

Mes	Consumo de gas propano (litros)
Enero	4,500
Febrero	4,500
Marzo	6,500
Abril	6,500
Mayo	6,500
Junio	6,500
Julio	6,500
Agosto	6,500
Septiembre	6,500
Octubre	6,500
Noviembre	4,500
Diciembre	4,500
Anual	70,000

En las instalaciones de cocina de la Universidad Tecnológica de Panamá, se utiliza GLP: Gas Licuado de Petróleo (primariamente gas propano en Panamá) como combustible. Para estimar las emisiones

correspondientes a este gas, se utiliza un factor de emisión aproximado a $2.938 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg}}$ [51] y una densidad de $0.5 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l CO}_2}$ a presión atmosférica y condiciones normales [52].

Con los datos de consumo y el factor de emisión disponibles, se calculan las emisiones de CO₂ generadas como resultado de esta actividad utilizando la ecuación (1), como se muestra a continuación.

$$\text{Huella de carbono} = 70,000 \text{ litros} \times 1.469 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{litros}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 102,830 \text{ kg CO}_2$$

3.3. Estimación de huella de carbono en la sustitución a tecnologías eléctricas

Para evaluar el impacto potencial que las emisiones de CO₂ asociadas a vehículos y cocinas tendrían si se reemplazaran por dispositivos eléctricos, se empleó el poder calorífico específico de cada combustible o gas utilizado, junto con las tasas de eficiencia estándar correspondientes a los motores de combustión modernos: un 45% para los motores diésel [53], [54], [55], un 40% para los motores de gasolina [56], [57] y un 80% para los motores eléctricos, considerando que son motores que utilizan tecnologías variables que no les permiten estar siempre en su rango de máxima eficiencia [58], [59], [60], [61], [62]. Esto permitió convertirlo a kilovatios-hora (kWh). Posteriormente, se aplicó la ecuación (1), considerando el factor de emisión del consumo energético.

Para esto se usaron los siguientes datos:

- Poder calorífico del gas propano: 12.87 kWh/kg [52].
- Poder calorífico de la gasolina: 9.6 kWh/l [63].
- Poder calorífico del diésel: 10,7 kWh/l [63].
- Factor de emisión de generación real en Panamá: 0.609 kgCO₂/kWh [64].

Para determinar la huella de carbono producida por vehículos y cocinas eléctricas, se optó por clasificar el consumo anual de estos en dos grupos: consumo energético anual proveniente de fuentes renovables (42.67%) y consumo energético anual proveniente de fuentes térmicas (57.33%). La información utilizada, se tiene según los datos recopilados del sitio web del Centro Nacional de Despacho (CND) en Panamá [65].

Al estimar la huella de carbono de esta actividad, se considera únicamente la proporción de nuestra energía que, en el momento del estudio, provino de fuentes de

generación térmicas. Producto de la energía de fuente térmica se utiliza la ecuación (1).

En cuanto a las emisiones de CO₂ producto del consumo de energía de cada actividad, proveniente de fuentes renovables, se considera un factor de emisión igual a cero. Por lo tanto, al implementar la ecuación (1), se tiene que no generan emisiones de CO₂.

3.3.1. Desplazamiento de vehículos

Vehículos de terceros (gasolina)

$$\text{Consumo} = 635,402.14 \text{ l} \times 9,61 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} \times \frac{0.4}{0.8}$$

$$\text{Consumo} = 3,053,107.28 \text{ kWh}$$

Energía eléctrica de fuente térmica:

$$\text{Consumo}_T = 3,053,107.28 \text{ kWh} \times \frac{57.33\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 1,750,346.40 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1,750,346.40 \text{ kWh} \times 0.609 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1,065,960.96 \text{ kg CO}_2$$

Energía eléctrica de fuentes renovables:

$$\text{Consumo}_T = 3,053,107.28 \text{ kWh} \times \frac{42.67\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 1,302,760.88 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1,302,760.88 \times 0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 0 \text{ kg CO}_2$$

Vehículos de terceros (diésel)

$$\text{Consumo} = 53,327.39 \text{ l} \times 10.7 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} \times \frac{0.45}{0.8}$$

$$\text{Consumo} = 320,964.23 \text{ kWh}$$

Energía eléctrica de fuente térmica:

$$\text{Consumo}_T = 320,964.23 \text{ kWh} \times \frac{57.33\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 184,008.79 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 184,008.79 \times 0.609 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 112,110.07 \text{ kg CO}_2$$

Energía eléctrica de fuentes renovables:

$$\text{Consumo}_T = 320,964.23 \text{ kWh} \times \frac{42.67\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 136,955.44 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 136,955.44 \times 0. \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 0 \text{ kg CO}_2$$

Vehículos propios de la universidad (gasolina)

$$\text{Consumo} = 98.69 \text{ l} \times 9,61 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} \times \frac{0.4}{0.8}$$

$$\text{Consumo} = 474.21 \text{ kWh}$$

Energía eléctrica de fuente térmica:

$$\text{Consumo}_T = 474.21 \text{ kWh} \times \frac{57.33\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 271.86 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 271.86 \times 0.609 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 165.56 \text{ kg CO}_2$$

Energía eléctrica de fuentes renovables:

$$\text{Consumo} = 474.21 \times \frac{42.67\%}{100}$$

$$\text{Consumo} = 202.35 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 202.35 \times 0. \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 0 \text{ kg CO}_2$$

Vehículos propios de la universidad (diésel)

$$\text{Consumo} = 2,390.63 \text{ l} \times 10.7 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} \times \frac{0.45}{0.8}$$

$$\text{Consumo} = 14,388.60 \text{ kWh}$$

Energía eléctrica de fuente térmica:

$$\text{Consumo}_T = 14,388.60 \text{ kWh} \times \frac{57.33\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 8,248.98 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 8,248.98 \times 0.609 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 5,023.63 \text{ kg CO}_2$$

Energía eléctrica de fuentes renovables:

$$\text{Consumo} = 14,388.60 \times \frac{42.67\%}{100}$$

$$\text{Consumo} = 6,139.62 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 6,139.62 \times 0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 0 \text{ kg CO}_2$$

3.3.2. Instalaciones fijas

$$\text{Consumo} = 70,000 \text{ l}_{\text{gaspropano}} \times 12.87 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \times 0.493 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$\text{Consumo} = 444,143.7 \text{ kWh}$$

Energía eléctrica de fuente térmica:

$$\text{Consumo}_T = 444,143.7 \text{ kWh} \times \frac{57.33\%}{100}$$

$$\text{Consumo}_T = 254,627.58 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 254,627.58 \times 0.609 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 155,068.19 \text{ kg CO}_2$$

Energía eléctrica de fuentes renovables:

$$\text{Consumo} = 444,143.7 \times \frac{42.67\%}{100}$$

$$\text{Consumo} = 189,516.12 \text{ kWh}$$

$$\text{Huella de carbono} = 189,516.12 \times 0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 0 \text{ kg CO}_2$$

Haciendo énfasis en los resultados obtenidos, se realiza una comparación de las emisiones de dióxido de carbono entre los vehículos que funcionan con combustibles fósiles y el posible reemplazo de estos por vehículos eléctricos. Asimismo, también se compararon las emisiones entre las cocinas que utilizan combustibles fósiles y a la eventual sustitución de estas por cocinas eléctricas. En la tabla 5, se presentan los resultados:

Tabla 5. Emisiones de CO₂ generadas por actividades relacionadas combustibles fósiles y electricidad

Fuentes emisoras	Emisiones de fuente fósil (kg de CO ₂)	Emisiones de fuente eléctrica (kg de CO ₂)	Int. Conf.
Vehículos de terceros a gasolina	1,395,343.09	1,065,960.96	>95%

Vehículos de terceros a diésel	135,398.26	112,110.07	>95%
Vehículos oficiales de la UTP a gasolina	216.72	165.56	>99%
Vehículos oficiales de la UTP a diésel	6,069.81	5,023.63	>99%
Cocinas UTP	102,830.00	155,068.19	>99%

3.4. Análisis de sensibilidad

De la Tabla 5 puede observarse que las cocinas son el único rubro que obtiene una mayor cantidad de emisiones al utilizar la energía proveniente de la matriz energética actual, que al utilizar GLP, por lo que un buen punto de partida para un análisis de sensibilidad sencillo y entendible, sería encontrar el punto de inflexión en el que la participación renovable en la matriz energética lograra que este comportamiento fuese al menos igual en cuanto a emisiones de CO₂ con electricidad, que el uso de GLP. Tal punto de inflexión debería lograr que las emisiones de CO₂ de las cocinas, fuesen de 102,830 kg de CO₂ al usar electricidad (como máximo), lo que se traduce, según el modelo de matriz energética de fuentes térmicas de Panamá, en 168,851 kWh de fuente térmica. Habiendo, al momento del estudio, 254,627.58 kWh provenientes de fuentes térmicas, significa que la diferencia entre estas cantidades de energía, que equivale a 85,776.6 kWh de electricidad, debería provenir de fuentes renovables para que las cocinas eléctricas tengan igual o menos emisiones de CO₂ que las cocinas de GLP. Al utilizar el factor de emisión oficial para Panamá calculado por PNUD de 0.609 kgCO₂/kWh [64], se obtendría que:

Energía eléctrica de fuente térmica para Análisis de Sensibilidad (AS):

$$\text{Huella de carbono-AS} = 168,851 \times 0.609 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Huella de carbono-AS} = 102,830 \text{ kg CO}_2$$

Siendo la energía total requerida para las cocinas, la misma ya establecida de 444,143.7 kWh, la otra parte no contenida en fuentes térmicas debe provenir de fuentes renovables, y sería equivalente a:

$$\text{Energía renovable-AS} = (444,143.7 - 168,851) \text{ kWh}$$

$$\text{Energía renovable-AS} = 275,293 \text{ kWh}$$

Lo anterior solo se correspondería si con la caracterización otorgada por [64], la matriz energética panameña logra obtener el 62% de energía producida en forma sostenida, a partir de fuentes renovables. Si se lograra dicho valor de producción renovable, no solo se equipararía (y mejoraría en este modelo a partir de allí) el comportamiento de las cocinas eléctricas en comparación con las cocinas de GLP en Panamá, sino que la reducción de emisiones por parte de los vehículos eléctricos tendría una caracterización mucho más ventajosa incluso, que la reflejada en la actualidad.

Los resultados encontrados en los estudios realizados por [66] y [67] para Latinoamérica, concuerdan con el comportamiento encontrado en esta investigación. Incluso algunos estudios muestran conclusiones más extremas, como el mostrado por [68], que indica que en el caso de movilidad automotriz, aun cuando no se tenga una matriz energética renovable, el reemplazo de vehículos impulsados por petróleo a vehículos eléctricos, puede representar un impacto significativo para el ambiente dada la concentración de la producción energética en los grandes generadores, con lo que se logra una mejora en la eficiencia térmica global vinculada a la movilidad de la población considerada. Los estudios más conservadores, sin embargo, inciden en la importancia de considerar todos los factores posibles que afectan la eficiencia operativa de los procesos tanto de generación como de utilización de la energía [69] [70], llegando a una aproximación fundamentada en análisis de sensibilidad más complejos, para no caer en posibles ilusiones de mejora ambiental, que probablemente no sean representativas.

4. Conclusiones

Como se puede notar en los resultados, se ha demostrado que los automóviles que dependen de combustibles fósiles emiten un 29,89% más de dióxido de carbono en comparación con los vehículos eléctricos,

lo que confirma que una transición hacia la utilización de vehículos eléctricos resultaría efectiva y beneficiosa.

Por otro lado, según los resultados de esta investigación, el cambio de cocinas a gas a cocinas eléctricas en la actualidad sería contraproducente, ya que las emisiones generadas por las cocinas eléctricas serían en un 50,8% mayores a las de cocinas de gas.

De estos resultados se puede concluir que los vehículos eléctricos reducen significativamente las emisiones de CO₂ en comparación con los de combustión, mientras que la sustitución de cocinas de gas por eléctricas podría ser beneficiosa solo si la matriz energética evoluciona hacia una mayor participación de energías renovables. Estos hallazgos pueden contribuir a la formulación de políticas públicas para la transición energética en Panamá.

Finalmente, puede indicarse que, para tomar la decisión de hacer un cambio tecnológico integral, es necesario evaluar en el momento del cambio y hasta donde sea posible, la proyección a futuro, de la conformación de la matriz energética que suplirá la energía de la nueva tecnología que trae consigo el cambio, ya que de eso depende fundamentalmente la reducción o no del impacto ambiental cuantificado en forma de huella de carbono.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce la colaboración de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología por medio del programa de Sistema Nacional de Investigación – SNI, del cual forma parte uno de los autores. Se reconoce la colaboración del CEMCIT – AIP en esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Sara Campos: Conceptualización, diseño de metodología, cálculos, modelado y simulación, validación, análisis formal, apoyo técnico-tecnológico físico, experimentación, escritura de informes, escritura para divulgación, administración del proyecto, presentación de resultados.

Dorindo Cárdenas: Conceptualización, diseño de metodología, cálculos, modelado y simulación, validación, análisis formal, apoyo técnico-tecnológico físico, experimentación, revisión y edición,

administración del proyecto, adquisición de fondos, presentación de resultados.

REFERENCIAS

- [1] J. Martínez y A. Fernández, Cambio climático: una visión desde México, México, 2004.
- [2] Y. Y. Ponce y P. C. Cantú, «Cambio Climático: Bases Científicas y Escepticismo», *Calcyt*, n° 46, p. 8, 2012.
- [3] M. J. Cárdenas, México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación, México: Greenpeace, 2010.
- [4] A. De La Torre, P. Fajnzylber y J. Nash, Desarrollo con menos carbono. Respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático, Washington: Banco Mundial (Washington, D.C), 2009.
- [5] OMM / PNUMA, Cambio climático y biodiversidad, CBD, 2002.
- [6] J. Hofmann, D. Guan, K. Chalvatzis y H. Huo, «Assessment of electrical vehicles as a successful driver for reducing CO₂ emissions in China», *Appl. Energy*, vol. 84, n° 1, pp. 995-1003, 2016.
- [7] T. Wu, X. Wei, X. Zhang, G. Wang, J. Qiu y S. Xia, «Carbon-oriented expansion planning of integrated electricity-natural gas systems with EV fast-charging stations», *IEEE Trans. Transport. Electrific.*, vol. 8, n° 2, pp. 2797-2809, June 2022.
- [8] E. González, D. Gualotuña y J. F. Q. Flores, «Diseño de una Micro-Red óptima mediante el uso del recurso solar fotovoltaico en la Universidad Politécnica Salesiana – Campus Sur, utilizando el software HOMER PRO», *I+D Tecnológico*, vol. 18, n° 2, pp. 109-123, Nov. 2022.
- [9] K. Chung-Camargo y J. Uche, «Cobertura de la demanda doméstica de energía y agua mediante sistemas de poligeneración térmico-eléctrico», *I+D Tecnológico*, vol. 19, n° 1, pp. 84-95, feb. 2023.
- [10] A. A. Kadhem, N. I. A. Wahab, I. Aris, J. Jasni y A. N. Abdalla, «Computational techniques for assessing the reliability and sustainability of electrical power systems: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, n° 1, pp. 1175-1186, Dec. 2017.
- [11] R. R. Kumar y K. Alok, «Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability», *Journal of Cleaner Production*, vol. 253, n° 1, p. 119911, April 2020.
- [12] Ayuntamiento de Huelva, «LINEAVERDE HUELVA», SATELIOT, 2018. [En línea]. Available: <https://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/conciencia-ambiental/Que-es-el-desarrollo-sostenible.asp#>. [Último acceso: 3 noviembre 2024].

- [13] CEPAL, Naciones Unidas, «Nudos críticos del desarrollo social inclusivo en america latina y el caribe antecedentes para una agenda regional,» México, 2019.
- [14] Naciones Unidas, «Horizontes 2030 La igualdad en el centro del desarrollo sostenible,» CEPAL, Ciudad de México, 2016.
- [15] Organización de los Estados Americanos, Desigualdad e Inclusión Social en las Américas: 14 ensayos, Estados Unidos: OEA, 2011.
- [16] G. A. Gómez-Ramírez, Carlos Meza, Gonzalo Mora-Jiménez, J. R. Rojas-Morales y L. García-Santander, «The Central American Power System: Achievements, Challenges, and Opportunities for a Green Transition,» *Energies*, vol. 16, n° 11, p. 4328, 2023.
- [17] A. Banal-Estañol, J. Calzada y J. Jordana, «How to achieve full electrification: Lessons from Latin America,» *Energy Policy*, vol. 108, n° 1, pp. 55-69, Sept. 2017.
- [18] Gobierno Nacional, «Ley 8 2015-Crea Ministerio de Ambiente,» 21 abril 2020. [En línea]. Available: <https://miambiente.gob.pa/download/ley-8-2015-crea-ministerio-de-ambiente/>. [Último acceso: 2 11 2024].
- [19] La Asamblea Nacional, «Gaceta Oficial Digital, viernes 27 de marzo de 2015,» Panamá, 2015.
- [20] IPCC, «Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero,» España, 2024.
- [21] Observatorio Panameño de Riesgos Ambientales, «OPRA,» Digital Support, [En línea]. Available: <https://observapanama.com/la-huella-de-carbono-importancia-de-su-medicion-en-panama/>. [Último acceso: 03 noviembre 2024].
- [22] C. Espíndola y J. Valderrama, «Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas,» *Información Tecnológica*, vol. 23, n° 1, p. 14, 2012.
- [23] V. Ríos, O. Marquet y C. Miralles-Guash, «Estimación de las emisiones de CO2 desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín,» *Transporte y Territorio*, n° 15, p. 22, 2016.
- [24] M. Kabir, U. E. Habiba, W. Khan, A. Shah, S. Rahim, P. R. D. I. Rios-Escalante, Z.-U.-R. Farooqi, L. Ali y M. Shafiq, «Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review,» *Journal of King Saud University - Science*, vol. 35, n° 5, p. 102693, July 2023.
- [25] M. D. Aminu, S. A. Nabavi, C. A. Rochelle y V. Manovic, «A review of developments in carbon dioxide storage,» *Applied Energy*, vol. 208, n° 1, pp. 1389-1419, 2017.
- [26] T. Andrews, M. Doutriaux-Boucher, O. Boucher y P. M. Forster, «A regional and global analysis of carbon dioxide physiological forcing and its impact on climate,» *Clim Dyn*, vol. 36, p. 783–792, 2011.
- [27] A. Misra y M. Verma, «Impact of environmental education on mitigation of carbon dioxide emissions: a modelling study,» *International Journal of Global Warming*, vol. 7, n° 4, pp. 466-486, 2015.
- [28] Ministerio de Ambiente, «Primer informe de actualización bienal de Panamá ante la CMNUCC,» Panamá, 2018.
- [29] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, «EPA,» 3 noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>.
- [30] Ministerio de Ambiente, «Gobierno Nacional con Paso Firme,» 24 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://miambiente.gob.pa/panama-impulsara-acciones-para-combatir-el-cambio-climatico/>. [Último acceso: 3 noviembre 2024].
- [31] Ministerio de Ambiente, «Plan nacional de acción climática de Panamá,» MiAmbiente, Panamá, 2022.
- [32] Ministerio de Ambiente, «Gobierno Nacional con Paso Firme,» MiAmbiente, 28 abril 2021. [En línea]. Available: <https://miambiente.gob.pa/inicia-proyecto-sembrando-vida-para-un-mejor-baru/>. [Último acceso: 3 noviembre 2024].
- [33] Asociación de Municipios de Panamá (AMUPA), «AMUPA Te Informa. Actualidad Municipal,» Panamá, 2020.
- [34] Ministerio de Ambiente, «¿Qué es el programa Reduce Tu Huella Corporativo?,» Ministerio de Ambiente, [En línea]. Available: <https://rth.miambiente.gob.pa/>. [Último acceso: 3 noviembre 2024].
- [35] Autoridad del Canal de Panamá, «Canal de Panamá inicia proceso con miras a convertirse en carbono neutral para el año 2030,» Panamá, 2021.
- [36] Copa Airlines, «Reporte de Sostenibilidad 2021,» Panamá, 2021.
- [37] Ministerio de Ambiente, «Ministerio de Ambiente y Universidad de Panamá instalarán torre de medición de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero,» Panamá, 2022.
- [38] L. Lungenstrass, D. González, J. Figueroa y C. Salas, «COP28: Resumen de hitos y acuerdos alcanzados,» Centro UC Cambio Climático, Santiago, Chile, 2023.
- [39] L. Durán, «Sector Eléctrico en Panamá sigue atrayendo inversiones para mantener una matriz energética robusta y diversificada,» *Hub News*, 25 Ene 2024.
- [40] Gobierno Nacional de Panamá, *Resolución de Gabinete N°93. Que aprueba los Lineamientos Estratégicos de la Agenda de Transición Energética*, Panamá: Gaceta Oficial, 24-Nov-2020.
- [41] Gobierno Nacional de Panamá, *Ley 295 del 25 de abril de 2022: Que incentiva la movilidad eléctrica en el transporte terrestre.*, Panamá: Gaceta Oficial, 2022.
- [42] Gobierno Nacional de Panamá, *Resolución JTIA 002 del 13 de enero de 2023: Por la cual se aprueba el Reglamento de*

Edificación Sostenible para la Rep. de Panamá V2.0, Panamá: Gaceta Oficial, 2023.

- [43] S. Campos, *Cálculo de la huella de carbono en el edificio #1 de la Universidad Tecnológica de Panamá*, Panamá, 2023.
- [44] Ministerio para la transición ecológica y reto demográfico, «Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y para la Elaboración de un Plan de Mejora de Una Organización,» Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones, Madrid, España, 2024.
- [45] G. Hernández, J. Laines, I. Ávila, R. Solís y J. Sosa, «Cálculos estequiométricos de factores de emisión para estimar emisiones fugitivas de gases de efecto invernadero en un centro de acopio de residuos sólidos,» *SCIELO*, 2021.
- [46] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero,» OECC, ESPAÑA, 2024.
- [47] Enel Green Power, «La transición energética,» enel Spa, 3 noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/transicion-energetica>.
- [48] P. López-Roldán y S. Fachelli, *Metodología de la investigación social cuantitativa*, Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), 2015.
- [49] C. Sanfilippo, *Modelado del diseño y gestión de Proyectos de Ingeniería Eléctrica*, Panamá, 2022.
- [50] IPCC, «Informe de Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero,» España, 2015.
- [51] IPCC, «Inventario Nacional de Emisiones de España,» España, 2006.
- [52] Y. A. Cengell, *Termodinámica*, México: McGraw-Hill, 2019.
- [53] EPA, *Medium and Heavy Duty Diesel Vehicle Modeling Using a Fuel Consumption Methodology*, USA, 2004.
- [54] S. Kobayashi, S. Plotkin y S. Ribeiro, «Energy efficiency technologies for road vehicles,» *Energy Efficiency*, vol. 2, n° 1, p. 125–137, 2009.
- [55] M. Zheng, U. Asad, G. T. Reader, Y. Tan y M. Wang, «Energy efficiency improvement strategies for a diesel engine in low-temperature combustion,» *International Journal of Energy Research*, vol. 33, p. 8–28, 2009.
- [56] A. Ingram, «Green car reports,» 14 abril 2014. [En línea]. Available: https://www.greencarreports.com/news/1091436_toyota-gasoline-engine-achieves-thermal-efficiency-of-38-percent. [Último acceso: 09 septiembre 2023].
- [57] K. Ikeya, M. Takazawa, T. Yamada, S. Park y R. Tagishi, «Thermal Efficiency Enhancement of a Gasoline Engine,» *SAE International Journal of Engines*, vol. 8, n° 4, pp. 1579-1586, Sept. 2015.
- [58] R. Saidur, «A review on electrical motors energy use and energy savings,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, n° 3, pp. 877-898, April 2010.
- [59] J. d. Santiago, H. Bernhoff, B. Ekergård, S. Eriksson, S. Ferhatovic, R. Waters y M. Leijon, «Electrical Motor Drivelines in Commercial All-Electric Vehicles: A Review,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, n° 2, pp. 475 - 484, 212.
- [60] D. Cardenas y O. Ezekoye, «Thermal Characterization of Electrical Wires and Insulation Operated in Variable Frequency Mode,» *Fire Technology*, vol. 51, pp. 1071-1092, 2015.
- [61] NFPA, National Electrical Code - NFPA 70, Massachusetts: NFPA, 2023.
- [62] C. Z. Junnian Wang, D. Guo, F. Yang, Z. Zhang y M. Zhao, «Drive-Cycle-Based Configuration Design and Energy Efficiency Analysis of Dual-Motor 4WD System With Two-Speed Transmission for Electric Vehicles,» *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 10, n° 1, pp. 1887 - 1899, 2024.
- [63] ABC MOTOR, «Eléctricos vs combustión: diferencias de consumo, rendimiento y coste por kilómetro,» DIARIO ABC, S.L., 2 junio 2020. [En línea]. Available: https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-electricos-combustion-diferencias-consumo-rendimiento-y-coste-kilometro-202006020150_noticia.html#:~:text=Por%20unidad%20de%20volumen%2C%20un,10%2C7%20kWh%2F1.. [Último acceso: 3 noviembre 2024].
- [64] PNUD, «Análisis del cálculo de las emisiones de CO2Q como herramienta esencial de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) de Panamá. Propuesta para discusión,» PNUD, 2021.
- [65] Centro Nacional de Despacho, «Centro Nacional de Despacho,» STIR, [En línea]. Available: <https://sitr.cnd.com.pa/m/pub/gen.html>. [Último acceso: 2023].
- [66] G. Gómez-Ramírez, C. Meza, G. Mora-Jiménez, J. Morales y L. García-Santander, «The Central American Power System: Achievements, Challenges, and Opportunities for a Green Transition,» *Energies*, vol. 16, n° 11, p. 4328, 2023.
- [67] A. Banal-Estañol, J. Calzada y J. Jordana, «How to achieve full electrification: Lessons from Latin America,» *Energy Policy*, vol. 108, p. 55, 2017.
- [68] J. Hofmann, D. Guan, K. Chalvatzis y H. Huo, «Assessment of electrical vehicles as a successful driver for reducing CO₂ emissions in China,» *Applied Energy*, vol. 995, pp. 995-1003, 2016.
- [69] M. Hu, J. Yi, Z. Wang y B. Feng, «Multi-objective Optimization Configuration Scheme for Photovoltaic Energy Storage Charging Stations Considering Operational Efficiency,» de *CCRS '23: Proceedings of the 2023 4th International Conference on Control, Robotics and Intelligent System*, Guangzhou China, 2023.

- [70] T. Aboumahboub, R. Brecha, H. Shrestha, U. Fuentes, A. Geiges, W. Hare, M. Schaeffer, L. Welder y M. Gidden, «Decarbonization of Australia’s Energy System: Integrated Modeling of the Transformation of Electricity, Transportation, and Industrial Sectors,» *Energies* 2020, 13, 3805. <https://doi.org/10.3390/en13153805>, vol. 13, n° 3805, pp. 1-39, 2020.