

Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) bajo la Normatividad Mexicana y su Determinación en una Empresa de Manufactura de Tapas Metálicas y Plásticas Alimenticias

M. L. Torres Gómez^{#1}, M. G. Minero Ramales^{#2}, D. Matamoros Sánchez^{#3}, L. García Azpeitia^{#4}

[#]Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México

¹ing.gomezmonica20@gmail.com, ²guadalupe.minero@lagos.tecmm.edu.mx,

³diana.matamoros@lagos.tecmm.edu.mx, ⁴lilia.garcia@lagos.tecmm.edu.mx.

Resumen—El documento titulado "Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) bajo la normatividad mexicana y su determinación en una empresa de manufactura de tapas metálicas y plásticas alimenticias" es un estudio detallado sobre la implementación de un inventario de GEI en una empresa del sector alimenticio que produce tapas metálicas y plásticas. Este inventario se realiza con el objetivo de reducir la huella de carbono en un 25%, en cumplimiento con la normatividad mexicana e internacional y en respuesta a las exigencias de sus clientes en términos de sostenibilidad. El estudio inicia con una revisión del marco legal y normativo aplicable, incluyendo la Ley General de Cambio Climático y acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto. Se selecciona la metodología del GHG Protocol Alcance 1 y 2 para el cálculo de las emisiones de GEI, ajustada a las características de la empresa. A lo largo del documento, se describe el proceso de recolección de datos, identificación de fuentes de emisión y el cálculo de las emisiones de CO₂ a lo largo de seis años. El análisis incluye la presentación de gráficos y reportes que muestran la evolución de las emisiones, destacando una reducción en las emisiones por pieza producida. Además, se proponen estrategias de control, como la sustitución de gas LP por gas natural y la implementación de programas de eficiencia energética, con una proyección a cinco años para continuar reduciendo las emisiones. El documento concluye destacando la importancia de las emisiones indirectas derivadas del consumo de energía eléctrica y propone medidas específicas para reducir este impacto, contribuyendo así al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

Palabras clave—Inventario de GEI, Reducción de emisiones, GHG Protocolo, Normatividad mexicana, Eficiencia energética.

Abstract—This document presents a comprehensive study on the implementation of a Greenhouse Gas (GHG) inventory in a manufacturing company that produces metal and plastic caps for the food industry, aiming to reduce its carbon footprint by 25%. The study is conducted in compliance with both Mexican and international regulations, using the GHG Protocol Scope 1 and 2 methodologies. The project begins with a review of the legal framework, including the General Law on Climate Change and international agreements like the Kyoto Protocol. The appropriate methodology for calculating GHG emissions is selected based on the company's operations. Data collection and analysis were carried out over a six-year period, focusing on the main sources of emissions, such as electricity consumption,

LPG, gasoline, and refrigerant gases. The results include detailed graphs and reports that show a progressive reduction in CO₂ emissions per unit produced. The study also proposes control strategies, including the switch from LPG to natural gas and the implementation of energy efficiency programs, with a projection of further emission reductions over the next five years. The conclusions highlight the significant impact of indirect emissions from electricity consumption and recommend specific measures to mitigate this impact, contributing to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs) outlined in the 2030 Agenda. This research provides a practical approach to managing and reducing GHG emissions in the manufacturing sector.

Keywords— Greenhouse Gas Inventory, Carbon Footprint Reduction, GHG Protocol, Mexican Regulations, Energy Efficiency

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores desafíos globales de nuestro tiempo, impulsado en gran medida por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) resultantes de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y diversos procesos industriales. Estos gases, al acumularse en la atmósfera, atrapan el calor y provocan un aumento de la temperatura global, con consecuencias adversas para el medio ambiente y la sociedad [1-2].

En respuesta a este problema, se han establecido diversas normativas internacionales y nacionales que buscan mitigar el impacto de las emisiones de GEI. En México, la Ley General de Cambio Climático y su Reglamento en materia del Registro Nacional de Emisiones establecen disposiciones aplicables a la cuantificación y reporte de emisiones, como parte de los esfuerzos para cumplir con compromisos ambientales nacionales e internacionales [3-4].

Este estudio se centra en la implementación de un inventario de GEI en una empresa dedicada a la manufactura de tapas metálicas y plásticas para el sector alimenticio. La empresa tiene como objetivo reducir su huella de carbono en un 25%, alineándose con las exigencias de sus clientes y contribuyendo al desarrollo sostenible. Para lograrlo, se

seleccionó la metodología del GHG Protocol en sus alcances 1 y 2, ampliamente aceptada a nivel internacional [1,5].

A lo largo del estudio, se revisa el marco legal aplicable, se identifican las fuentes de emisión dentro de la empresa y se calculan las emisiones de GEI durante un periodo de seis años. Además, se proponen estrategias de control para la reducción de emisiones, con una proyección a cinco años, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

II. JUSTIFICACIÓN

La justificación del proyecto se basa en la necesidad urgente de que las empresas del sector manufacturero, como la dedicada a la producción de tapas metálicas y plásticas, adopten prácticas sostenibles que minimicen su impacto ambiental, específicamente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En un contexto global donde la mitigación del cambio climático es una prioridad, cumplir con la normatividad ambiental no solo es un imperativo legal, sino también una estrategia clave para asegurar la competitividad y sostenibilidad a largo plazo [2-3,6-7].

Este proyecto se justifica por la obligación de la empresa de cumplir con la Ley General de Cambio Climático y las normativas aplicables, que exigen la identificación, cuantificación y reducción de emisiones de GEI [3-4,6]. Además, la realización de un inventario de GEI permitirá a la empresa identificar sus principales fuentes de emisión, implementar estrategias efectivas de reducción y mejorar su imagen corporativa al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. La reducción de la huella de carbono no solo contribuirá a la protección del medio ambiente, sino que también generará beneficios económicos a través de la eficiencia operativa y del cumplimiento de los estándares exigidos por sus clientes, fortaleciendo su posición en el mercado.

III. OBJETIVO

Analizar la metodología para la determinación del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) bajo la normatividad mexicana y su aplicación en una empresa de manufactura de tapas metálicas y plásticas para el sector alimenticio, así como la estrategia de control con el fin de mejorar la eficiencia ambiental de la empresa.

IV. METODOLOGÍA

La metodología descrita en el documento se enfoca en la determinación y cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en una empresa de manufactura de tapas plásticas y metálicas del sector alimenticio. Primero, se realizó una investigación en diversas plataformas gubernamentales y documentos relevantes, como el Diario Oficial de la Federación (DOF) y la Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para garantizar que el inventario de GEI fuera verificable y cumpliera con las normativas mexicanas aplicables [3-4,6].

Luego, se definió la metodología para el cálculo de GEI, optando por el GHG Protocol en sus alcances 1 y 2, por considerarse adecuado para las características y actividades de la empresa [1,5]. Se llevaron a cabo diagnósticos de procesos para identificar las fuentes de generación de CO₂, lo cual incluyó recorridos por la empresa, identificación de maquinaria y consumibles, así como recopilación de datos visuales.

Posteriormente, se recolectaron datos sobre el consumo de energía y otros energéticos durante un periodo de seis años. Esta información fue registrada en formatos específicos para cada tipo de consumible: energía eléctrica, gasolina, gas LP y gases refrigerantes. Con estos datos, se procedió a generar los cálculos de emisiones de GEI utilizando herramientas de cálculo proporcionadas por la plataforma GHG Protocol [5]. Las hojas de cálculo se utilizaron para registrar y calcular las emisiones en fuentes fijas, fuentes móviles y emisiones fugitivas.

Además, se propusieron estrategias de control para la reducción de GEI, como el cambio de gas LP a gas natural y la implementación de un consumo energético más eficiente. Se realizó un análisis hipotético sobre la sustitución de gas LP por gas natural, evaluando su impacto en la reducción de CO₂ y su contribución a la sostenibilidad [3,5].

Finalmente, se llevó a cabo un análisis estadístico y financiero, incluyendo pruebas de hipótesis y análisis de correlación para evaluar las diferencias en consumo y producción. El análisis financiero consideró los costos y beneficios de cambiar a gas natural, concluyendo que, aunque más caro, el gas natural es más eficiente y menos contaminante. Esta metodología asegura que el inventario de GEI se realice conforme a las mejores prácticas internacionales y las normativas mexicanas, ayudando a la empresa a cumplir con sus objetivos de sostenibilidad.

V. RESULTADOS

En primer lugar, se realizó una cuidadosa selección de la metodología a emplear, optando por el GHG Protocol en sus alcances 1 y 2. Esta decisión permitió cumplir con las exigencias de la Ley General de Cambio Climático y establecer una base sólida para el inventario de emisiones [1,3,5]. La metodología fue aplicada de manera efectiva en la empresa, facilitando la identificación precisa de las fuentes de emisión de CO₂. Para ello, se elaboró un layout detallado de la planta, donde se identificaron y señalaron las áreas de consumo de energía eléctrica, gasolina, gas LP y gases refrigerantes, lo que permitió organizar de manera eficiente la recolección de datos. Fig. 1.

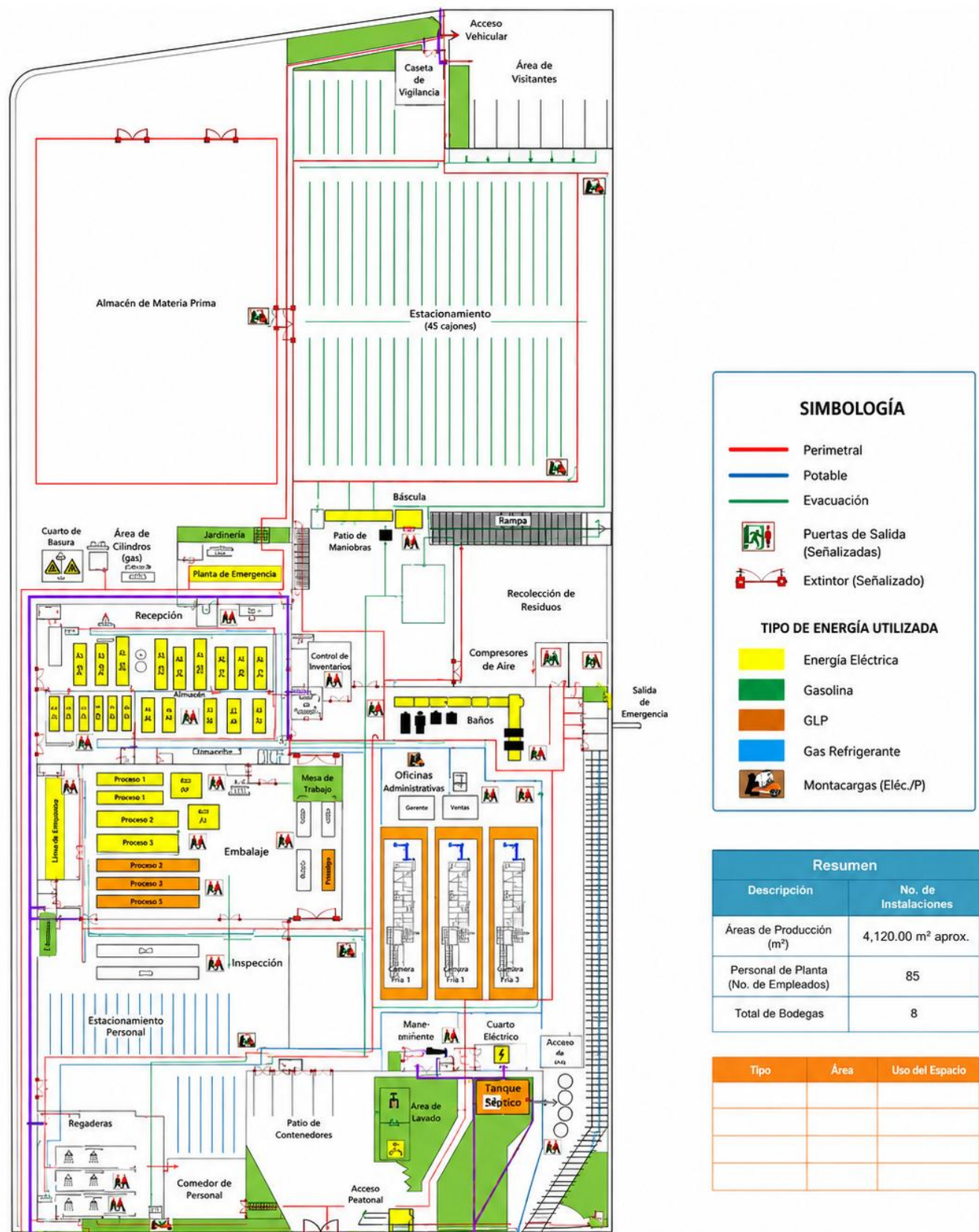


Fig. 1. Layout de consumibles en la empresa manufacturera de tapas plásticas y metálicas.

A continuación, se procedió a la recolección y análisis de los datos de consumo energético durante un periodo de seis años. Los resultados de este análisis revelaron una tendencia positiva: a pesar del aumento en la producción y el uso de maquinaria, las emisiones de CO₂ por pieza producida disminuyeron progresivamente. Esto indica que la empresa ha logrado una mejora sustancial en la eficiencia energética, optimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental por unidad producida. Fig. 2.

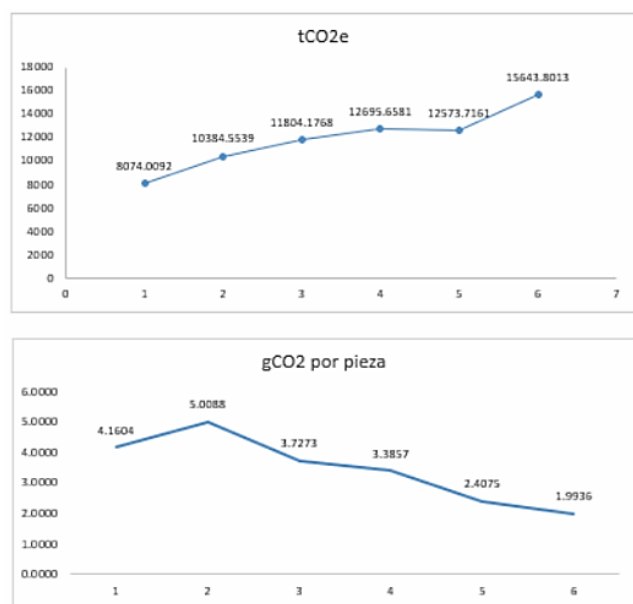


Fig. 2. Gráficas de resultados de los reportes de CESPEDES.

Utilizando las herramientas de cálculo proporcionadas por el GHG Protocol, se generaron cálculos precisos de las emisiones de GEI [5]. Los resultados obtenidos mostraron una reducción en las emisiones de CO₂ por unidad de producción, lo que refleja un uso más eficiente de los recursos energéticos en la empresa. Estos cálculos también destacaron las áreas con mayor potencial de mejora, lo que permitió desarrollar estrategias específicas para la reducción de GEI. Fig. 3.

Año	tCO ₂ e	Piezas Producidas	gCO ₂ por pieza	GLP Total anual	CFE	R22	R407	Gasolina
1	8074.0092	1,940,666,384	4.1604	95,969.00	16,324,321.0	54.40	0.00	10,062.4600
2	10384.5539	2,073,254,765	5.0088	1,220,569.00	16,553,557.0	68.00	0.00	16,046.8000
3	11804.1768	3,166,922,794	3.7273	1,047,533.00	19,351,344.0	0.00	0.00	14,744.7400
4	12695.6581	3,749,796,708	3.3857	1,146,159.00	21,352,172.0	0.00	11.30	11,459.7931
5	12573.7161	5,222,654,815	2.4075	1,231,511.00	22,969,723.0	27.20	45.36	22,282.9249
6	15643.8013	7,846,884,819	1.9936	2,182,218.00	26,204,838.0	3.62	10.62	26,563.7540

Fig. 3. Emisiones anuales del año 1 al año 6.

Como parte de las propuestas para continuar reduciendo las emisiones, se sugirió la sustitución del gas LP por gas natural, dado que este último puede contribuir a una operación más eficiente y a una reducción de emisiones, dependiendo de los factores de emisión aplicables y del

consumo energético de la planta [5-6]. Además, se recomendó la implementación de programas de reducción de consumo energético y la planificación de paros en horarios de menor demanda, optimizando así el consumo de energía en la planta.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico y financiero para evaluar el impacto de las medidas implementadas. El análisis reveló una correlación positiva entre el aumento de la producción y la eficiencia en la reducción de emisiones por unidad producida. A nivel financiero, aunque el cambio a gas natural implicaría un mayor costo inicial, los beneficios ambientales y la reducción de emisiones justifican esta inversión. Además, la empresa ha demostrado un compromiso significativo con la sostenibilidad, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y reduciendo su huella de carbono de manera efectiva. Fig. 4.

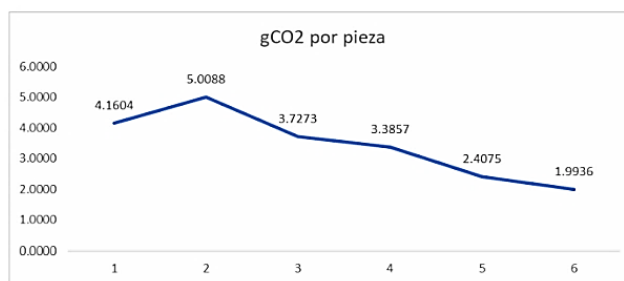


Fig. 4. Gramos de dióxido de carbono por pieza, del año 1 al año 6.

Estos resultados demuestran que la empresa ha logrado importantes avances en la gestión de sus emisiones de GEI, mejorando su eficiencia operativa y contribuyendo de manera positiva al medio ambiente. La implementación de las estrategias propuestas y la continuidad en el uso de metodologías sólidas serán clave para mantener y mejorar estos logros en el futuro.

VI. DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos se destaca el éxito de la empresa en la implementación de la metodología del GHG Protocol para la medición y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [1,5]. Los resultados muestran una clara disminución en las emisiones de CO₂ por unidad de producción a lo largo de los seis años evaluados, lo que refleja una mejora significativa en la eficiencia energética. Este logro es especialmente relevante debido al aumento en la producción y en el uso de maquinaria, factores que normalmente podrían incrementar las emisiones.

La decisión de sustituir el gas LP por gas natural, junto con la implementación de programas de optimización del consumo energético, no solo puede contribuir a la reducción de emisiones, sino que también alinea a la empresa con objetivos de sostenibilidad. A pesar del costo inicial asociado con la transición a gas natural, el análisis financiero justifica esta inversión por sus beneficios ambientales a largo plazo [5-6].

VII. CONCLUSIÓN

El cálculo de gases de efecto invernadero (GEI) se ha convertido en una necesidad crucial para las empresas, permitiéndoles asumir compromisos de reducción y comprender su rol en la lucha contra el cambio climático [1,5]. En la empresa de manufactura de tapas plásticas y metálicas, la implementación del cálculo de GEI no solo cumplió con los requisitos de su cliente principal, sino que también reveló áreas clave de oportunidad. Las emisiones directas, provenientes del consumo de gas LP en hornos y montacargas, y las emisiones indirectas, principalmente de energía eléctrica, fueron cuantificadas con precisión. El total de emisiones aumentó de 9,686,890 tCO₂e en el año 1 a 15,803,859 tCO₂e en el año 6, con la mayor parte proveniente del consumo eléctrico. Sin embargo, a pesar del incremento general, se logró una reducción en las emisiones por unidad producida (gCO₂ por pieza), gracias a la implementación de metodologías efectivas para la identificación de fuentes y la recolección de datos, así como al desarrollo de bases de datos que facilitan el acceso y análisis de la información en el futuro. Para lograr una reducción de emisiones de GEI asociadas a la energía eléctrica, se propone implementar programas de reducción de energía, como campañas para desconectar los aparatos que generan pérdidas de energía innecesarias o apagar las luces cuando no sea necesario. En cuanto al gas LP, se propone evaluar su sustitución por gas natural, considerando los factores de emisión, la eficiencia operativa y la viabilidad económica [5-6].

REFERENCIAS

- [1] World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, "Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte," SEMARNAT, 2001. [En línea]. Disponible en: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
- [2] J. L. Sanz Contreras, "Concepto de impacto ambiental y su evaluación," en Evaluación y corrección de impactos ambientales, 1992, pp. 27-38.
- [3] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, "Ley General de Cambio Climático," Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, última reforma publicada el 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/documentos/ley-general-de-cambio-climatico-junio-2012>. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/ley-general-de-cambio-climatico-junio-2012>
- [4] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, "Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones," Diario Oficial de la Federación, 28 de octubre de 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGCC_MRNE_281014.pdf. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGCC_MRNE_281014.pdf
- [5] GHG Protocol, "Calculation tools and guidance," 2016. [En línea]. Disponible en: https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance#tools_for_countries_and_cities_id. https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance#tools_for_countries_and_cities_id
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero," Diario Oficial de la Federación, 3 de septiembre de 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/cicc/acuerdo_que_establece_las_particularidades_tecnicas_y_las_formulas_para_la_aplicacion_de_metodologias.pdf. https://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/cicc/acuerdo_que_establece_las_particularidades_tecnicas_y_las_formulas_para_la_aplicacion_de_metodologias.pdf
- [7] Genera S.A.B. de C.V., "Reporte de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero," 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.genera.com.mx/wcm/connect/c14b56f4-090a-4108-b578-a32e9f39cec1/Reporte+de+Emisiones+de+Gases+de+Efecto+Invernadero+2019.pdf>. https://www.genera.com.mx/wcm/connect/c14b56f4-090a-4108-b578-a32e9f39cec1/Reporte+de+Emisiones+de+Gases+de+Efecto+Invernadero+2019.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=RO_OTWORKSPACE-c14b56f4-090a-4108-b578-a32e9f39cec1-nzLYSCa