

**Plan para la Disminución de la Huella de Carbono Mediante la Adopción de
Prácticas Sostenibles para la Empresa Palermo Sociedad Portuaria**



Liliana Centanaro Acuña

Tesis de maestría

Tutora: Dra. Claudete Gindri Ramos y

Cotutora: MSc. Andrea Liliana Moreno Ríos

Universidad De La Costa (CUC)

Departamento De Civil Y Ambiental

Maestría En Desarrollo Sostenible

6 de febrero de 2023

**Plan para la Disminución de la Huella de Carbono Mediante la Adopción de
Prácticas Sostenibles para la Empresa Palermo Sociedad Portuaria**



Liliana Centanaro Acuña

Trabajo De Grado Para Optar Por El Título De Magíster En Desarrollo Sostenible

Tutora: Dra. Claudete Gindri Ramos y

Cotutora: MSc. Andrea Liliana Moreno Ríos

Universidad De La Costa (CUC)

Departamento De Civil y Ambiental

Maestría en Desarrollo Sostenible

6 de febrero de 2023

Nota De Aceptación

Dedicatoria

A Jerónimo y Mario Alejandro, quienes me inspiraron a ser una mujer de comienzos y finales. A mi mamá y a mis hermanas, a mi esposo, a todos por sus palabras en el momento que eran necesarias para continuar.

Agradecimientos

Por la oportunidad de desarrollo y crecimiento, mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron en la elaboración de esta tesis de maestría, en particular:

Profesoras Claudete Gindri Ramos y Andrea Liliana Moreno Ríos, por su amistad, confianza, orientación, por su constante ayuda y aprendizaje; A la profesora Celene Milanés Batista por su apoyo a lo largo de esta investigación.

Al investigador Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi de la Universidad de Passo Fundo, Brasil, por el análisis químico de la muestra de roca.

A la cantera Agregados Río Negro en Palomino, La Guajira, por brindar la muestra de roca;

A mis compañeros de Palermo Sociedad Portuaria, por el excelente ambiente de trabajo, por las importantes sugerencias y apoyo técnico; y,

Sobre todo, a mi esposo Mario Ricardo, quien me dio la capacidad infinita para superar todos los obstáculos encontrados en el camino.

¡Muchas gracias!

Resumen

Los terminales portuarios del Caribe están llamados a realizar sus operaciones en coordinación con la dinámica ambiental de la zona en la que están ubicadas para la empresa Palermo Sociedad Portuaria, se han identificado los factores que contribuyen a la emisión de CO₂, luego de la identificación se realiza la recolección de la información de las emisiones y sigue el cálculo de la Huella de Carbono (HC) para años 2019 y 2020; con el análisis de estos resultados, en conjunto con la gerencia, se generaron las estrategias de mitigación que fueran viables para la operación portuaria, esta viabilidad se definió con el seguimiento en la implementación de las prácticas como la disminución del combustible, compostaje de los residuos y aplicación en polvo de roca dacita. La disminución del consumo de combustible, que al final de cinco períodos resultó en una disminución de las emisiones de 1,629 tonCO₂eq; el compostaje de residuos generados en el terminal podrá disminuir 2 tonCO₂, por año; así mismo la aplicación de la roca dacita en las áreas operativas seleccionadas disminuyó 0,000089 tonCO₂eq en un período de 45 días. Se estima que con la implementación de las tres medidas principales a un año se puede reducir 37 ton tonCO₂eq, este valor representa un 2% de la HC en relación con el año base 2020. La investigación se basó en la realidad actual de la operación del terminal portuario y sus actividades asociadas, desde estrategias de bajo costo, evidenciando que puede ser replicable a cualquier otro terminal portuario, En la búsqueda de la integralidad del concepto de “puerto verde y puerto inteligente”.

Palabras clave: huella de carbono, prácticas sostenibles, reducción de emisiones de carbono

Abstract

The Caribbean port terminals are called to carry out their operations in coordination with the environmental dynamics of the area in which they are located. For Palermo Sociedad Portuaria the factors that contribute to the emission of CO₂ have been identified, after the identification, the collection of emissions information is carried out and the calculation of the Carbon Footprint (HC) for the years 2019 and 2020 continues, These analysis of, in common with the CEO, mitigation strategies that were viable for the port operation were generated, this viability was defined with the follow-up in the implementation of practices such as fuel reduction, waste composting and application of dacite rock powder. The strategies were based on the decrease in fuel consumption that at the end of five periods resulted in a decrease in emissions of 1,629 tonCO₂eq; composting will reduce 2 tonCO₂eq per year; Along the same lines, the application of shale rock in the selected operating areas decreased by 0.000089 tons of CO₂eq in a period of 45 days. It is estimated that with the implementation of the three main measures to one year can be reduced 37 ton tonCO₂eq, this value represents 2% of the HC in relation to the base year 2020. The research was based on the current reality of the operation of the port terminal, showing that the practices carried out and the proposals based on the current operational and environmental context of the port sector can be replicated to any other port terminal. To seek in the port sector the integrality of the concept of "green port and smart port".

Keywords: carbon footprint, sustainable practices, reduction of carbon emissions

Contenido

Lista de tablas y figura.....	10
Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Planteamiento del problema	13
Pregunta de Investigación	15
Justificación.....	15
Objetivos De La Investigación	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
Marco Teórico de la Huella de Carbono	19
Calentamiento global.....	19
Cambio climático	20
Efecto invernadero	21
Gases efecto invernadero.....	21
Dióxido de Carbono.....	22
Fuentes naturales de CO ₂	23
Fuentes antropogénicas de CO ₂	24
Huella de Carbono.....	25
Métodos para Cálculo de la Huella de Carbono.....	26
Estrategias para la disminución de la Huella de Carbono.....	30
Diseño Metodológico	44
Metodología para la Cuantificación de Emisiones	49
Cálculo de la Huella De Carbono, Año Base - 2019	54
Alcances y Exclusiones.....	54

Alcances	55
Alcance 1: Emisiones Directas	55
Alcance 2: Emisiones Indirectas de GEI	56
Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas de GEI	56
Exclusiones.....	57
Cálculo de la Huella de Carbono, Primer Año de Seguimiento: Año 2020	57
Alcances y Exclusiones.....	57
Metodología reducción de consumo de combustible	59
Metodología de Compostaje de Materiales.....	60
Metodología aplicación de polvo de roca.....	61
Resultados	66
Inventario De GEI y Cálculo De Emisiones Año Base -2020.....	66
Cuantificación de las Emisiones Consolidadas	66
Cuantificación de las Emisiones por Alcances.....	66
Inventario de GEI y Cálculo de Emisiones Año 2020	68
Cuantificación de las Emisiones Consolidadas.....	68
Validación del Cálculo de la Huella de Carbono	71
Detalle de las Emisiones GEI (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, Hfcs, Pfcs, SF ₆) de los factores de emisión 2019	74
Emisiones GEI (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, Hfcs, Pfcs, SF ₆) de los factores de emisión 2020 – Alcance I	75
Factores de Emisión Utilizados para el Cálculo de las Emisiones y sus Fuentes	77
Practicas Sostenibles Implementas en Palermo Sociedad Portuaria	80

Implementación de Tecnología de reducción de consumo de combustible en equipos de la operación Portuaria.....	80
Compostaje de Material generado de las operaciones.....	82
Investigación experimental basada en la aplicación del polvo de roca dacita.....	89
Certificación Ecoport.....	101
<i>Discusiones de los Resultados</i>	102
<i>Inventario de GEI y Cálculo de Emisiones Año Base -2019</i>	102
Practicas Sostenibles Implementas en Palermo Sociedad Portuaria	105
<i>Implementación de Tecnología de reducción de consumo de combustible en equipos de la operación Portuaria</i>	105
<i>Compostaje de Material generado de las operaciones</i>	105
<i>Investigación experimental basada en la aplicación del polvo de roca dacita</i>	107
Conclusiones.....	110
Referencias	112

Lista de Tablas y Figuras**Tablas**

Tabla 1	22
Tabla 2	27
Tabla 3	34
Tabla 4	41
Tabla 5	46
Tabla 6	54
Tabla 7	61
Tabla 8	66
Tabla 9	68
Tabla 10	71
Tabla 11	74
Tabla 12	76
Tabla 13	77
Tabla 14	79
Tabla 15	81
Tabla 16	83
Tabla 17	89
Tabla 18	100
Tabla 19	109

Figuras

Figura 1.....	25
Figura 2.....	42
Figura 3.....	43
Figura 4.....	48
Figura 5.....	55
Figura 6.....	62
Figura 7.....	63
Figura 8.....	63
Figura 9.....	67
Figura 10.....	68
Figura 11.....	70
Figura 12.....	71
Figura 13.....	72
Figura 14.....	72
Figura 15.....	80
Figura 16.....	82
Figura 17.....	83
Figura 18.....	84
Figura 19.....	84
Figura 20.....	86
Figura 21.....	86
Figura 22.....	87
Figura 23.....	88
Figura 24.....	88
Figura 25.....	90

Figura 26	90
Figura 27	91
Figura 28	92
Figura 29	93
Figura 30	94
Figura 31	95
Figura 32	96
Figura 33	97
Figura 34	98
Figura 35	102

Introducción

Planteamiento del problema

Las crecientes concentraciones de CO₂ en la atmósfera y otros gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por fuentes naturales y por las actividades humanas han dejado a los científicos preocupados por las posibles consecuencias climáticas. El cambio climático afecta el equilibrio ambiental del planeta, que supuestamente puede dañar el equilibrio establecido entre océanos y biosfera (IPCC, 2014). En concentraciones normales, lejos de ser nocivo, el CO₂ es un factor primordial en el equilibrio climático global. La acción sobre el cambio climático es esencial dado que la temperatura media global, ya más de 1 °C por encima del nivel preindustrial, superará el límite de 1,5 °C establecido por el Acuerdo de París de las Naciones Unidas (UN, 2015) dentro de 30 años con la reciente tasa de calentamiento de 0,18 °C por década (Hansen et al., 2017).

La vigésimo primera Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en París marcó un punto de inflexión en el debate sobre el cambio climático, con el enfoque pasando de describir el cambio climático a un compromiso de buscar innovaciones, soluciones sostenibles (Lee, 2015).

Según Hansen et al. (2017), se hace necesario estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para que evite la peligrosa interferencia antrópica en el sistema climático. Esta estabilización debe alcanzarse en un tiempo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando el avance del desarrollo económico de manera sostenible.

Colombia aporta el 0,46% de las emisiones globales. Aunque este número es bajo, según García et al. (2016), se estima que las emisiones podrían aumentar alrededor de un 50% en 2030, si no se toman medidas mitigadoras. Debido a esto, el país se ha comprometido a

reducir sus emisiones en un 20% con base a un escenario diseñado para 2030 e incluso disminuir un 30% si hay cooperación internacional.

Si bien las emisiones en Colombia son relativamente bajas en comparación con otros países, sus emisiones acumuladas en el período de 1990 a 2012 lo ubican entre los 40 países con mayor responsabilidad histórica en la generación de gases de efecto invernadero, principalmente por emisiones relacionadas con la deforestación (García et al., 2016).

En el informe *Shipping Emissions in Ports* se anunció que las emisiones estimadas de CO₂ del transporte marítimo son alrededor del 2-3 % de las emisiones globales totales. Las emisiones de SO_x son alrededor del 5-10 % y 17-31 % para las emisiones de NO_x. Diversos estudios realizados en algunas partes del mundo, como Europa, sobre las emisiones del transporte marítimo han confirmado la fiabilidad de estos porcentajes de emisiones del transporte marítimo (Cofala et al., 2007, Olaff, 2014).

El desarrollo de la Zona Portuaria y empresarial ubicada en la margen oriental del Río Magdalena inició en el año 2002 cuando se construyó la primera empresa llamada Petrocomercial dedicada a la comercialización de Biocombustibles. Luego en el año 2004 se inicia la construcción del terminal portuario de nombre Palermo Sociedad Portuaria seguidamente inició el desarrollo de tres (3) empresas cuyas actividades se resumen en Zonas Francas terrestres, Terminales Portuarios Multipropósito y de Almacenamiento de hidrocarburos, hoy suman siete (7). Algunas aún no empiezan su construcción, sin embargo, si tienen permiso para hacerlo e igualmente cuentan con licencias ambientales.

Cabe señalar que no se encontraron estudios en la literatura científica relacionados con la adopción de medidas mitigadoras propuestas en este trabajo, lo que demuestra que este estudio puede ser pionero tanto en Colombia como a nivel mundial. Este abordaje proporciona un modelo para que todos los países implementen prácticas sostenibles como la disminución de combustible, compostaje de los residuos generados en la empresa y la aplicación de polvo

de roca dacita en las áreas operativas para disminuir la huella de carbono en los puertos marítimos y reduzcan las emisiones de carbono atmosférico al medio ambiente.

Pregunta de Investigación

¿De cuánto será la disminución de las emisiones de carbono al implementar prácticas sostenibles en la empresa Palermo Sociedad Portuaria?

Justificación

En Colombia se emitieron 22 millones de toneladas de CO₂ equivalente en 2012, de las cuales el 17% proviene del transporte. Estas últimas aumentaron 25% en tan solo dos años (periodo 2010 – 2012). El modo marítimo y fluvial, por su parte, representa 9% de las emisiones del sector (IDEAM, MADS, PNUD, DNP, & CANCELLERÍA, 2015).

De acuerdo con la Guía de la Asociación Internacional de Puertos – IAPH, las fuentes de Gases Efecto Invernadero de los puertos se derivan del escape de los motores de los equipos de carga y los vehículos, las motonaves atracadas en los muelles, la generación de energía no renovable, y demás fuentes industriales y comerciales que queman combustible (IAPH,2018).

El tener claro el inventario los GEI, brinda una base fuerte para la evaluación de estrategias de disminución de emisiones y se convierte en un mecanismo de notificación de las evaluaciones de los resultados y de las estrategias (IAPH,2018). Otra de las razones para realizar un inventario de emisiones puede ser la necesidad de mejorar, entre otros, el uso de energía, identificar áreas en las que se pueden implementar mejoras en la eficiencia energética y en las operaciones portuarias. Al final todo el proceso termina en un beneficio financiero y medioambiental (IAPH, 2018).

Se necesita crear nuevos métodos de pensamiento para elaborar una nueva moral y criterio de valores y sin duda nuevas formas de comportamiento (Frolox, 1987). Por lo tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar estrategias que permitan a los países alejarse del actual proceso de crecimiento y desarrollo, a menudo desastroso, y encaminarse hacia el camino del desarrollo sostenible (Informe Nuestro propósito común, 1987).

El desarrollo empresarial de estudio no ha estado alineado al establecimiento de prácticas sostenibles. Si bien realizan actividades relacionadas con sostenibilidad, éstas se resumen en capacitaciones, campañas aisladas que no están ancladas a objetivos claros por lo que no permiten la verificación de su cumplimiento. En la zona no se cuenta con mediciones de emisiones de GEI, ni se cuenta con prácticas formales de sostenibilidad alienadas a Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Por lo anterior se hace necesario que estas empresas realicen sus operaciones en coordinación con la dinámica ambiental de la zona donde están ubicadas. Todas estas empresas deben crear estrategias que les permitan desarrollar sus operaciones de manera articulada con el ambiente.

Los objetivos de desarrollo sostenible que se enmarcan en esta investigación son el ODS 11: CUIDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES, en su meta asociada, 11.6: De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos, así como el ODS: 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMOS RESPONSABLES en su meta asociada, 12.6: Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes, adicionalmente se vincula a esta investigación el ODS: 13: ACCIÓN POR EL CLIMA en su meta asociada, 13.2: Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

Con esta investigación se espera generar un Plan de Prácticas Sostenibles que le permita a las empresas realizar sus operaciones con el menor impacto ambiental. En este orden se espera que este Plan funcione como referente para las empresas del Puerto de Barranquilla para hacer del Puerto, un Puerto sostenible. Así mismo, se espera que con la implementación de estas estrategias las empresas sean reconocidas con su compromiso en la sostenibilidad y el cumplimiento con los ODS. Este plan incluirá todas las estrategias que sean viables para su desarrollo y algunas de ellas se implementaran en un período no menor a tres meses para demostrar que son viables y se pueden desarrollar en la empresa en estudio., el interés de este estudio es evidenciar que estas prácticas de bajo costo pueden ser la forma por la cual las empresas enfoquen sus esfuerzos es implementar prácticas de sostenibilidad dentro de sus compañías sin necesidad de usar las soluciones de la naturaleza como único mecanismo para compensar, la naturaleza no es infinita.

Objetivos De La Investigación

Objetivo General

Evaluar la implementación de las prácticas sostenibles en virtud de su efectividad en la disminución de las emisiones de carbono para Palermo Sociedad Portuaria.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar los factores que contribuyen a la emisión de carbono para las actividades del terminal Palermo Sociedad Portuaria.
- ✓ Calcular la huella de carbono de las fuentes identificadas para Palermo Sociedad Portuaria para los años 2019 y 2020.
- ✓ Definir las estrategias de mitigación o prácticas sostenibles que sean viables implementar en Palermo Sociedad Portuaria.
- ✓ Realizar seguimiento a la implementación de estrategias de mitigación o prácticas sostenibles implementadas en Palermo Sociedad Portuaria.

Marco Teórico de la Huella de Carbono

Calentamiento global

Con el crecimiento industrial, las emisiones de gases contaminantes ganaron fuerza. Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2018), anualmente se emiten aproximadamente 41 mil millones de toneladas de dióxido de carbono, que contribuyen al aumento de la temperatura del planeta. Debido a esto, el calentamiento global, provocado por las emisiones descontroladas de gases de efecto invernadero (por ejemplo, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso), es objeto de investigación científica, políticas ambientales y conciencia de la sociedad moderna.

El efecto invernadero es un fenómeno que ocurre naturalmente en la atmósfera terrestre. Es un fenómeno primordial para la existencia de vida en el planeta, ya que actúa como un manto receptor de energía solar para mantener la temperatura global promedio (Kweku et al., 2017). El efecto invernadero evita que el calor que regresa a la atmósfera se pierda en el espacio. Sin esta condición, la tierra tendría una temperatura tan baja que no existirían las condiciones adecuadas para la vida terrestre (United Kingdom, 2011).

A su vez, el calentamiento global se produce por la presencia masiva de gases en la atmósfera que retienen calor más allá de lo necesario para el mantenimiento de la tierra (Kweku et al., 2017).

Según Schultheis (2016), los gases de efecto invernadero (GEI), en su mayoría dióxido de carbono, óxido nitroso y metano, tienen una estructura molecular capaz de absorber una determinada cantidad de calor, y es esta capacidad la que configura tal efecto. Si la concentración de moléculas de estos gases es alta, el manto protector de la tierra se sobrecarga de calor, provocando el calentamiento global. El porcentaje de contribución al efecto invernadero se da a continuación:

- Dióxido de carbono: 53%
- Metano: 17%

- CFC (clorofluorocarbonos): 12%
- Óxido nitroso: 6%
- Otros: 12%

La gran cantidad de GEI emitidos a la atmósfera por actividades industriales y agroindustriales –como la quema de combustibles fósiles para generar energía en plantas termoeléctricas y la fermentación de sacarosa para la producción de etanol en plantas de caña de azúcar–, pueden promover el efecto invernadero al permitir una mayor absorción de la radiación infrarroja del espectro electromagnético. De esta manera, los procesos antrópicos se consideran aquellas que están intensificando el calentamiento global (Kumar et al., 2018).

Dado que el calentamiento global es un tema de gran interés económico, social y ambiental, la mayoría de los países han dirigido acciones importantes para mitigar los GEI (Lin & Xu, 2018).

Cabe destacar la importancia de comprender, monitorear y controlar el cambio climático, en especial el calentamiento global, lo que puede verse reflejado en la organización de las principales convenciones mundiales en la materia, como el Acuerdo de París, Río +20 y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que tienen como objetivo aunar esfuerzos y establecer acciones y políticas internacionales para reducir las emisiones de GEI.

Cambio climático

Según IPCC (2014) el cambio climático es un cambio en el estado del clima que puede ser identificado por cambios en sus características y que persiste durante un largo período de tiempo (medido en décadas). El cambio climático es el resultado de procesos naturales o influencias externas, como la regulación del ciclo solar, erupciones volcánicas y efectos antrópicos, cambios permanentes en la composición de la atmósfera. Según la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1 define el cambio climático como:

“un cambio de clima que es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables”. Es así como la CMNUCC realiza una diferencia entre cambio climático imputable a las actividades humanas y el cambio climático imputable al clima (IPCC, 2014).

Efecto invernadero

El efecto invernadero, según IPCC (2014) es el efecto de radiación infrarroja de todos los componentes de la atmósfera que absorben infrarrojos. Los gases de efecto invernadero, las nubes y (hasta cierto punto) los aerosoles absorben la radiación terrestre emitida por la superficie terrestre y el resto de la atmósfera. Sin embargo, estas sustancias en igualdad de condiciones, emiten radiación infrarroja en todas direcciones, y en igualdad de condiciones, emiten radiación infrarroja en todas las direcciones, y la temperatura troposférica disminuye con la altura y, por lo tanto, las emisiones se debilitan. (IPCC, 2014).

Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero aumenta la magnitud de este efecto; esta diferencia a veces se denomina efecto invernadero mejorado. Los cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero causados por las emisiones antropogénicas contribuyen al forzamiento radiactivo transitorio. Las temperaturas superficiales y troposféricas se calientan en respuesta a este forzamiento, reequilibrando gradualmente la radioactividad en la atmósfera superior (IPCC, 2014).

Gases efecto invernadero

La mayoría de los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) tiene origen natural, pero el aumento de su concentración en la atmósfera desde el año de 1998 se debe a las actividades antropogénicas. La contribución de cada gas de efecto invernadero al forzamiento radiactivo durante un período de tiempo específico será determinada por la variación en su

concentración atmosférica en ese período de tiempo y la eficacia del gas para modificar el equilibrio radiactivo (Salomón et al., 2018).

Según la definición del Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1995) , los principales gases efecto invernadero son el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), los perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6), ambos gases, es el primero y más importante después del CO_2 . Aunque el CO_2 es el gas más concentrado de la atmósfera, no es el gas con mayor potencial de calentamiento global, el gas con mayor potencial para el calentamiento global que es el hexafluoruro de azufre (SF_6).

A continuación, en la Tabla 1 se presenta el potencial de calentamiento global para cada GEI.

Tabla 1

Potencial de Calentamiento Global para los GEI.

Gas efecto Invernadero	Potencial de calentamiento global -Toneladas equivalentes de CO_2
Dióxido de carbono	1
Metano	21-23
Óxido Nitroso	230-310
Perfluorocarbonos (PFC)	5.700 – 11.900
El hexafluoruro de azufre (SF_6)	13.000 – 14.000
Hidrofluorocarbonos (HFC)	23.000

Fuente. Olaff, (2014). Shipping Emissions in Ports. *International Transport Forum* (págs. 1-35). París: OECD.

Dióxido de Carbono

Las crecientes concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera y otros gases de efecto invernadero emitidos por las actividades humanas han dejado a los científicos preocupados por las posibles consecuencias climáticas. Los seres humanos viven en un pequeño subconjunto de climas que se encuentran en la Tierra, caracterizados por

temperaturas anuales comunes alrededor de ~ 13 °C (Xu et al., 2020); una distribución que probablemente refleje un rango de temperatura de interés asociado con restricciones esenciales. Los autores también señalan que, con la combinación del auge de la población y el calentamiento global, se proyecta que en los próximos 50 años hasta 3 mil millones de personas podrían estar en riesgo de climas extremos. El cambio climático afecta el equilibrio ambiental actual establecido en el planeta, dañando el equilibrio establecido entre los océanos y la biosfera, amenazando así la seguridad alimentaria global (Rosenzweig et al., 2014). En concentraciones normales, el CO_2 es un factor principal desde dos puntos de vista: el metabolismo de las plantas y el equilibrio climático global.

La preocupación es que estos cambios se están produciendo en un momento de aumento en la demanda de alimentos asociada con la creciente población mundial, que puede llegar a 9 mil millones en 2050, con la agricultura contribuyendo significativamente al cambio climático (Godfray et al., 2010).

Fuentes naturales de CO_2

Las fuentes naturales que emiten CO_2 son diversas y se pueden enumerar muchas, entre las más conocidas, respiración de seres vivos, descomposición de cadáveres, incendios forestales, actividad volcánica, actividad solar persé (Vera, 2020).

Actividad solar, se entiende por actividad solar todos los aspectos de la radiación normal que recibe nuestro planeta, incluida la luz necesaria para sostener la vida debido a la actividad fotosintética, erupciones o manchas solares, que pueden aumentar considerablemente la cantidad de radiación solar que recibimos, periódicamente aproximadamente 11 años (Muñoz-Jaramillo & Vaquero, 2018).

Actividad Volcánica, emanaciones de CO_2 por actividad volcánica resultan muy difíciles de calcular, las emanaciones no son cuantificadas.

Emanaciones de Metano, según Rosen (2020), las emanaciones de metano se dan principalmente por los escapes naturales de los humedales, actividad volcánica, escape en la acumulación de combustibles fósiles, incendios forestales.

Vapor de agua, según Flores (2020), el agua en estado gaseoso se denomina vapor de agua y el vapor de agua en la atmósfera se mide por la humedad relativa, que es la relación entre la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada, respecto al máximo de vapor que puede contener la atmósfera a esa temperatura, el 80% del efecto invernadero en la atmósfera causado por el vapor de agua.

Fuentes antropogénicas de CO₂

Según Heek et al. (2017), las principales actividades emisoras de GEI son:

- La generación de energía en plantas que utilizan combustibles fósiles como carbón, gas natural y petróleo.
- Tráfico y transporte.
- Agricultura.
- Las industrias manufactureras y de la construcción.

Tajudin et al. (2019) señalan que el notable aumento de industrias y automóviles en las zonas urbanas caracteriza la principal causa de la emisión desenfrenada de contaminantes como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el CO₂. Antony et al. (2018) observaron que la industria química es el sector que más contribuye a la generación de contaminantes gaseosos, siendo deseable el desarrollo de procesos de transformación sostenibles.

El crecimiento global de los GEI se ha acelerado desde la primera revolución industrial, a mediados del siglo XIX. La necesidad de quemar combustibles fósiles para obtener energía,

por ejemplo, es responsable de $\frac{3}{4}$ de la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera (Khapre et al., 2020), que es el sector que más contribuye a la liberación de gas. Luego hay un cambio de uso de suelo, con deforestación descontrolada y mal uso de la madera y similares. Sabiendo que las plantas termoeléctricas están incluidas en el sector que más contribuye a las emisiones de gases contaminantes, es pertinente sumar esfuerzos al desarrollo de tecnologías de mitigación de GEI para estas plantas.

Huella de Carbono

Definición Huella de Carbono

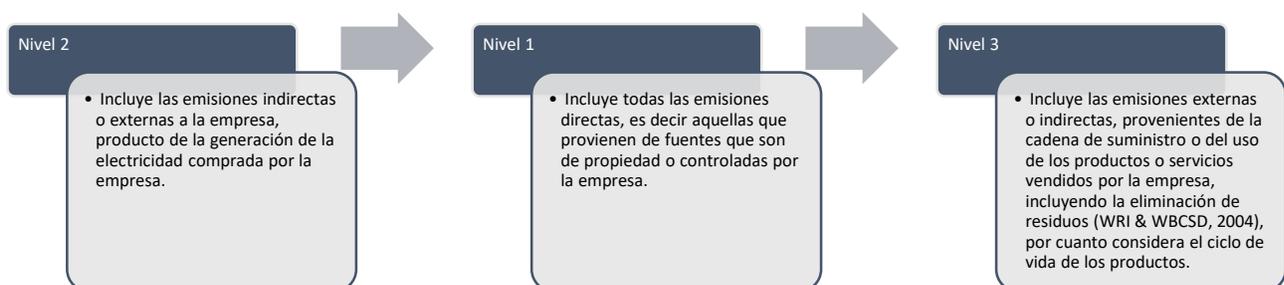
La Huella de Carbono (HC), es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). La HC corresponde a la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera que provienen de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Pandey et al., 2010; Wiedmann, 2009). Los GEI se definieron por el protocolo de Kioto de 1997. Estos gases forman una capa permanente en la atmósfera media que impide que el sol que regresa a la tierra irradie hacia el exterior, provocando un aumento de la temperatura bajo la capa (Espíndola & Valderrama, 2011).

Niveles de análisis para el cálculo de la Huella de Carbono

En la mayoría de los protocolos para el cálculo de la HC SE definen 3 niveles de análisis (Matthews, et al., 2008) tal como se muestra en la Figura 1:

Figura 1.

Niveles de Cálculo HC.



Fuente: elaboración propia (2022).

Los estándares como *Publicly Available Specification - PAS-2050, GreenHouse Gas GHG Protocol*, entre otros, definen el cálculo del Nivel 3 como opcional (Pandey et al., 2011). La complejidad del cálculo se basa en la recolección, búsqueda y manejo de datos para empresas que cuentan con un gran número de proveedores, que exigen requisitos de confidencialidad, además de altos costos (McKinnon, 2010; Schaltegger & Csutora, 2012).

Una HC bien estructurada debe contener el cálculo de los 3 niveles, el nivel 3 se considera el más importante (Matthews et al., 2008). No realizar la estimación del nivel 3, puede llevar a las empresas a subestimar su cálculo. La estimación de cálculo permite comprender el riesgo potencial de fluctuaciones en el precio del carbono en sus actividades comerciales (Peters, 2010). Por lo tanto, a partir de la recopilación de información completa de un pequeño número de proveedores, es posible conocer la mayoría de los HC de las empresas de la cadena de suministro (Huang et al., 2013; Espíndola & Valderrama, 2011).

Métodos para Cálculo de la Huella de Carbono

La elaboración y adopción de normas mundiales sobre la seguridad y la eficiencia de los buques y la protección del medio ambiente está bajo la Organización Marítima Internacional (OMI o IMO, por su sigla en inglés) que es el organismo especializado de las Naciones Unidas. El trabajo de la OMI se basa en la protección del medio ambiente marino, mediante la mejora de los métodos de tratamiento del agua de lastre de los barcos para reducir los problemas con las especies invasoras, prevenir la contaminación del aire, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el efecto invernadero y reciclar los barcos. COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR (2014).

Según Espíndola & Valderrama (2011), existen cuatro métodos estudiados para el cálculo de la HC en empresas, servicios, productos, procesos y organizaciones.

Los métodos planteados por Espíndola & Valderrama (2011) son:

- ✓ Protocolo de gases efecto invernadero.
- ✓ Balance de Carbono.
- ✓ Especificaciones a Públicamente disponibles – PAS 2050.
- ✓ Método compuesto de las cuentas contables MC3.

Según datos de la CPPS (2014) existen estándares para las mediciones de GEI y se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2

Principales Metodologías para medición de GEI.

Metodología	Alcance
GHG – <i>Green House Gas Protocol</i> Corporativo	Define los límites operacionales, a través de la identificación de las emisiones directas, de las emisiones indirectas relacionadas con energía de otras emisiones indirectas. Permite hacer ajustes a través del tiempo
GHG <i>Protocol</i> Proyecto	Permite medir las emisiones para proyectos de reducción de emisiones e incluye procedimientos para cambio de uso del suelo.
GHG <i>Protocol</i> cadena de valor	Permite cuantificar el impacto de las emisiones en la cadena de valor de la compañía e identificar las mejores alternativas para reducir emisiones. Incluye la cuantificación de 15 categorías de actividades bajo el alcance 3, aguas arriba y aguas abajo de las operaciones.
GHG <i>Protocol</i> ciclo de vida	Se enfoca en comprender el ciclo de vida completo de las emisiones de un producto.
GHG <i>Protocol</i> Enmienda: Requerimientos GEI	Especificaciones sobre los GEI y PCGs requeridos para la contabilidad y reporte por el estándar corporativo, el estándar de cadena de valores y el estándar de ciclo de vida.

Metodología	Alcance
PAS – <i>Publicly Available Specification</i> 2050	Cuantificación de emisiones GEI de los productos a través del ACV, basado en los estándares ISO 14040 e ISO 14044.
PAS 2050-1	Aplicados al sector hortícola.
PAS 2050-2	Aplicados al sector de la pesca y la acuicultura.
ISO 14064-1	Permite la cuantificación, declaración de emisiones y de remoción de GEI, de una organización u organismo.
ISO 14064-2	Está definida para proyectos de reducción y remoción de GEI.
ISO 14064-3	Está definida para la validación y/o verificación de las cuantificaciones, monitoreo y declaraciones de los GEI, realizadas en concordancia con las ISO 14064-1 o ISO 14064-2.
ISO 14067	Está definida para la cuantificación y la comunicación de la Huella de Carbono de los productos (HCP).
ISO 14069	Se utiliza para la cuantificación de las emisiones directas e indirectas a través del consumo de energía, u otras fuentes de emisiones indirectas.

Fuente: adaptado de CPPS (2014).

En su estudio la WPCI (2010) lideró una iniciativa para unificar una metodología que permitiera estandarizar el cálculo de las emisiones de Gases Efecto Invernadero - GEI para los Puertos del Mundo.

Según estos la estimación de los GEI, debe realizarse de manera cuidadosa para evitar dobles estimaciones y de acuerdo la especificidad de esta actividad.

Según Azarkmand, et al. (2020), las emisiones en los puertos se definen así:

Fuentes móviles: Las fuentes móviles en los puertos se dividen en seis grupos principales: equipo de manipulación de carga, vehículos de carretera, locomotoras de

ferrocarril, buques de propiedad portuaria, buques transoceánicos (OGV) y equipos de construcción.

Fuentes estacionarias: Las fuentes estacionarias son el segundo grupo de fuentes que emiten GEI. Por lo general, representan una cantidad significativamente menor de GEI emisiones que las fuentes móviles. Las emisiones de fuentes estacionarias vienen de fuentes o instalaciones fijas, particulares, identificables y localizadas que utilizan procesos de combustión. Las principales fuentes estacionarias en los puertos son centrales eléctricas, calderas y generadores de emergencia (WPCI, 2010).

De acuerdo con Azarkmand, et al. (2020), y por la WPCI (2010) el listado siguiente detalla las emisiones de las fuentes así:

Fuentes móviles:

- a) Equipo de manejo de carga.
- b) Vehículos de manejo de carga.
- c) Locomotoras de Ferrocarril.
- d) Embarcaciones portuarias y embarcaciones de navegación interior.
- e) Buques transoceánicos.
- f) Equipos de Construcción.

Así mismo se detallan las fuentes estacionarias:

- a) Plantas de Energía.
- b) Calderas.
- c) Generadores portátiles o de emergencia.
- d) Electricidad comprada (edificios, iluminación, demanda de energía, refrigerada, carga electrificada).
- e) Manejo de equipos otras demandas eléctricas terminales, etc.).
- f) Instalaciones que utilizan procesos de combustión.

Estrategias para la disminución de la Huella de Carbono

Las estrategias para la disminución de la HC se relacionan principalmente por su viabilidad de su ejecución, las estrategias relacionadas en esta investigación, fundamentalmente se soportan en:

Secuestro de CO₂ por medio de *Kasaltic Rock*: la meteorización mejorada de rocas terrestres (REG) es una estrategia biogeoquímica de eliminación de dióxido de carbono (CDR) cuyo objetivo es acelerar los procesos geológicos naturales de secuestro de carbono mediante la aplicación de rocas de silicato trituradas, como el basalto, a las tierras de cultivo y paisajes boscosos (Kelland et al., 2020), uno de los principales resultados indicó tasas de secuestro de CO₂ de 2-4 t CO₂ / ha, 1-5 años después de una sola aplicación (Kelland et al., 2020).

En relación con lo anterior Rinder & Von Hagke (2021), en su investigación aborda el concepto de aplicación de la tecnología de meteorización mejoradas de rocas – ERW, y también llamada como meteorización mejorada - EW, menciona que la mejora del suelo a través de la aplicación de basalto podría convertirse en una estrategia para la gestión del carbono en el suelo.

Según Beerling et al. (2020) la meteorización mejorada de rocas de silicatos – REG, desplegadas con tierras de cultivo tiene potencial de uso para la mitigación de CO₂ tan necesario para mitigar el cambio climático, también tiene beneficios para la mejora de la seguridad alimentaria y del suelo y de la acidificación de los océanos. El estudio demuestra que la tecnología REG en relación con el costo es comparable con las estimaciones actuales de las tecnologías de captura directa de aire y tiene otros beneficios con el aumento de la acidificación de las zonas costeras.

Disminución del consumo de combustible, la tecnología de reducción de combustible lleva por nombre CARE, CARE es un sistema basado en tecnología para la reducción de emisiones GEI y Material Particulado mediante eficiencia energética, entendiendo como eficiencia, la reducción y/o mejor aprovechamiento de combustibles líquidos empleados como

recurso energético para el funcionamiento de la maquinaria móvil o estacionaria de la compañía que lo implementa. Según el decreto 2532 de 2001, artículo 2 literal a, CARE se define como un “el conjunto ordenado de equipos, elementos, o maquinaria nacionales o importados, según sea el caso, que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de disminución de la demanda de recursos naturales renovables, o de prevención y/o reducción del volumen y/o mejoramiento de la calidad de residuos líquidos, emisiones atmosféricas o residuos sólidos”, así mismo, por un conjunto de protocolos y procedimientos que se rigen por la norma técnica ISO 14064-1 y por la metodología del Panel Intergubernamental del Cambio Climático de las Naciones Unidas para inventario de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007).

En relación con las actividades de compostaje, en su estudio Bhupendra, Yakoob, & Shah (2022) refleja que la economía circular implica, reducción reutilización y reciclaje de los desechos agrícolas para impulsar la agricultura sostenible y minimizar la contaminación ambiental. También define la urgencia de la necesidad de diseñar estrategias para lograr la sostenibilidad.

Estado del Arte

Es innegable que las medidas para controlar el cambio climático son necesarias, ya que la temperatura promedio en la tierra y la superficie del océano en 2016, el tercer año consecutivo de registros de calentamiento global, fue la más alta desde 1880.

Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), en su informe anual sobre el clima global, "la temperatura global promedio en las áreas de superficie terrestre y oceánica para 2016 fue 0.94 ° C por encima del promedio del siglo XX de 13.9 ° C, superando el récord anterior de calor de 2015 en 0.04 ° C. Las temperaturas en 2016 fueron influenciadas principalmente por el fenómeno de El Niño que prevaleció a principios de año" (NOAA, 2016, 2019).

Desde principios del siglo XXI, el récord anual de temperatura global se ha multiplicado por cinco en los años 2005, 2010, 2014, 2015 y 2016 (NOAA, 2017). El año 2019 se convirtió en el segundo año más cálido en el récord de 140 años, con una temperatura de la superficie terrestre y oceánica en todo el mundo que se desvió de lo normal de +0,95 ° C. Esta tasa es solo 0.04 ° C más bajo que la tasa récord de +0.99 ° C establecida en 2016 y 0.02 ° C más alta que + 0.93 ° C establecida en 2015. Nueve de los 10 años más cálidos en el período 1880-2019 han ocurrido desde 2005, con 1998 actualmente clasificado como el décimo año más cálido registrado.

El año 2019 marca el 43 ° año consecutivo, que data de 1977, en el que las temperaturas terrestres y oceánicas en todo el mundo, como mínimo nominal, han superado la normal del siglo XX. Puede ser vital estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en el ecosistema en una etapa que evite la interferencia antrópica de riesgo con el sistema meteorológico. Esa etapa debe alcanzarse con el tiempo suficiente para permitir que los ecosistemas evolucionen al cambio climático, asegurándose de que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que la mejora económica continúe de manera sostenible (Lee, 2015).

Hansen et al. (2017) estimaron una tasa de calentamiento global de 0,18 ° C por década. La temperatura media global ya ha superado 1 ° C del nivel preindustrial y posiblemente superará el límite de 1,5 ° C establecido por el Acuerdo de París de las Naciones Unidas (UNFCCC, 2015) en los próximos 30 años. Para contemplar los objetivos climáticos globales, coincidiendo con la reducción de las emisiones de CO₂ de los combustibles fósiles, son necesarias medidas de secuestro de CO₂ a gran escala (UNEP, 2018).

Muchos son los estudios que a nivel internacional se han realizado para determinar estrategias de mitigación para el sector portuario, estos estudios se han desarrollado con más detalle en el continente europeo y asiático, esto en línea con la participación en la emisión de los Gases de Efecto de Invernadero (GEI) presentes en la industria portuaria en estos países.

Según el estudio realizado por Azarkamand et al. (2020), donde analiza las diferentes metodologías que se han desarrollado en la industria portuaria y marítima desde el año 2005 hasta el año 2020 y que se han llevado a cabo para calcular y reducir las Emisiones de CO₂ y cambio climático; el estudio se desarrolla revisando las diferentes metodologías y definiendo las fortalezas de cada una, y analiza las oportunidades para una mejora. A su vez establece que en los últimos 10 años se han desarrollado varias iniciativas para el control del cambio climático y la HC del sector marítimo, están las desarrolladas por *The International Maritime Organization (IMO)*, *International Association of Ports and Harbours (IAPH)*, *World Ports Climate Initiative (WPCI)*, *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC)*, *The Clean Cargo Working Group (CCWG)*, *Marine Environment Protection Committee (MEPC 72)*, *The World Ports Sustainability Program (WPSP)*, *World Ports Climate Action Program (WPCAP)*, *European Sea Ports Organization (ESPO)*, al final el estudio sigue la necesidad de crear una herramienta estandarizada para calcular la huella de carbono en puertos, lo que permitirá establecer un benchmarking y una potencial comparación de resultados entre puertos. En la tabla 3 se describen cada una de las medidas.

Tabla 3

Resumen de iniciativas para el control del cambio climático y huella de carbono

Año	Organización	Explicación de la iniciativa
2005	<i>The International Maritime Organization (IMO)</i>	Esto estableció regulaciones para la prevención de contaminación de los buques en 1997, y la adición del anexo VI a MARPOL entró en vigor en 2005.
2008	<i>International Association of Ports and Harbours (IAPH)</i>	Esto proporcionó un mecanismo para ayudar a los puertos en mitigar el cambio climático. También desarrolló el mundo Iniciativa climática de puertos (WPCI), establecida para recaudar concienciación en la comunidad portuaria y marítima sobre la necesidad de actuar en materia de emisiones de GEI.
2010	<i>World Ports Climate Initiative (WPCI)</i>	Esto desarrolló pautas para que los puertos creen o mejoren sus inventarios de emisiones de GEI.
2010	<i>The International Maritime Organization (IMO)</i>	Esto proporcionó un marco de eficiencia energética para los buques.
2014	<i>The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC)</i>	En él se publicó una directriz para que las autoridades portuarias crearan conciencia sobre la filosofía Green Port.
2015	<i>The Clean Cargo Working Group (CCWG)</i>	Esto desarrolló herramientas para calcular la huella de CO ₂ para un enfoque único o completo en la cadena logística.
2018	<i>Marine Environment Protection Committee (MEPC 72)</i>	Esta estrategia adoptada por la OMI sobre la reducción de gases de efecto invernadero Emisiones.

Año	Organización	Explicación de la iniciativa
2018	<i>The World Ports Sustainability Program (WPSP)</i>	Está comprometida con demostrar el liderazgo de los puertos en Reducción de CO ₂ mediante la suscripción de puertos al Acuerdo de Paris.
2019	<i>PIANC's Working Group 188</i>	Este investigó la huella de carbono de las actividades en canales de navegación e infraestructura portuaria, incluida la Manejo de material dragado.
2019	<i>World Ports Climate Action Program (WPCAP)</i>	Esto facilita la reducción de emisiones del suministro de los puertos. cadenas y su mayor área geográfica.
2019	<i>The Green Ship Technology Conference</i>	Este adoptó la estrategia de la OMI para reducir las emisiones de GEI. desde el envío en un 50% hasta 2050.
2020	<i>PIANC Working Group 178</i>	Esto preparó un documento de orientación técnica para ayudar transporte por agua para adaptarse al cambio climático.
2020	<i>European Sea Ports Organization (ESPO)</i>	Esto publicó un documento de posición sobre el europeo Green Deal, en el que las emisiones de CO ₂ de los buques atracados y en los puertos debe reducirse en un 50% en promedio y en todos los segmentos de envío para 2030.

Fuente: Azarkamand et.al, (2020).

Por otro lado, Farah Housni et al. (2020), plantea que los puertos se han convertido en áreas de producción industrial y que a medida que estos continúan evolucionando como áreas de producción, se están convirtiendo también en fuentes importantes de contaminación del agua, desechos sólidos y contaminación acústica y del aire. Debido a este aumento en impactos ambientales, la mayoría de los puertos del mundo se han comprometido con el desarrollo de procedimientos proactivos para un desarrollo sostenible mediante la adopción de un enfoque ambientalmente responsable enfoque para preservar y proteger el medio ambiente.

En su estudio evaluó las diferentes actividades y aspectos medioambientales relacionados con la industria naviera e identificaron los principales indicadores para evaluar y desarrollar un sistema de gestión ambiental (SGA) para lograr un desarrollo sostenible. Este presenta alternativas para que los puertos incrementen su desempeño ambiental entre los cuales se resumen en, reducir las sustancias definidas por Anexo 1-6 del MARPOL, fomentar el uso de tecnologías y opción para alternar energía (tipo de combustible) así como la reutilización y reciclaje de los recursos utilizados, como el tratamiento del agua de lastre y control de residuos / desechos / derrames, buena programación y logística.

Por otra parte, Cloquell Ballester et al. (2020), establece que el transporte marítimo es responsable del 13% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), para ello en su estudio utilizó una metodología para evaluar la huella de carbono desarrollada por *Transition and Demographic Challenge*. El estudio concluye que La huella de carbono entre 2008 y 2016 se mantuvo, aunque el tráfico en el puerto aumentó un 24% durante este período. Los resultados muestran una disminución del 17% cuando se comparan las emisiones utilizando el año base factores de emisión para evitar factores externos. El estudio también incluye recomendaciones para la disminución de la emisión de los GEI como son los Proyectos de autoconsumo o renovables, políticas energéticas.

Una medida de mitigación bien relevante en la disminución de GEI es el ahorro energético, según Zhu Li & Qin Cuihong, (2021) en su estudio concluyó que el ahorro de energía y la reducción de emisiones de combustibles alternativos de energía limpia como la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, el GNL y la electricidad se estudian a través de la combinación de sustitución de energía y factores de emisión. En particular, SO₂ y CO₂. El GNL tiene la mayor contribución a la reducción coordinada de emisiones de SO₂, y la energía solar contribuye a la mayoría a la reducción de CO₂. El estudio concluye que uso de GNL y energía de tierra en los puertos puede lograr mejores reducciones sinérgicas de emisiones de SO₂ y CO₂.

Acorde con lo anterior, siendo el uso de energía limpia una de las estrategias de mitigación más representativas en la disminución de GEI, Zhu Li et al. (2020) construye un método dinámico basado en el nivel de actividad de los equipos de manipulación de carga para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos. Los resultados muestran que, en 2017, si los motores de los equipos de manipulación de carga se actualizan y cumplen con el estándar chino Tier III, la contaminación del aire se reduce significativamente. Estableciendo así que, para reducir y controlar la contaminación del aire causada por los equipos de manipulación de carga en los puertos, se debe acelerar la eliminación de los equipos de manipulación de carga de alta emisión.

Los terminales a nivel internacional han estado trabajando en las diferentes estrategias para disminuir los GEI, como lo explica Sdoukopoulo et al, (2019) en su estudio los puertos europeos están adoptando nuevas prácticas operativas e invirtiendo en nuevas tecnologías, para realizar ahorros de energía adicionales y mejorando aún más su rendimiento energético actual. Tales como la certificación la Norma ISO 50001, certificación Ecoports, la compra de vehículos eléctricos y la instalación de una red de carga rápida en puntos en la zona portuaria (es decir, instalación de OPS, producción de energía solar y eólica, alumbrado público inteligente), todas las medidas en su conjunto se espera que conduzcan a una reducción del 85% de las emisiones de CO₂. También están trabajando en incorporar una nueva estación móvil de suministro de hidrógeno, el uso del hidrogeno como combustible se espera reduzca el consumo de combustible se puede en un 24%, así como también obtener beneficios en términos de calidad del aire (es decir, reducción del 40% de partículas Materia: PM y reducción del 10% de las emisiones de CO₂).

En este mismo sentido, el estudio de Vega et al. (2018) resalta la importancia del desarrollo de un reporte de sostenibilidad para llevar un registro de los avances que se han tenido los puertos en cuanto a su gestión sostenible. El estudio recomienda el uso de motores híbridos en grúas RTG para lograr así una reducción de consumo de diésel; la implementación

de postes solares dentro de los patios de operación del puerto. El estudio menciona algunos indicadores que monitorean las emisiones contaminantes que se originan de los camiones que ingresan a la ciudad y al puerto, de las naves y embarcaciones que recalán. Indicadores de eficiencia energética en el transporte de la carga, consumo energético por tonelada transportada, así como los indicadores de producción limpia.

En relación con lo anterior en la investigación de Teerawattana & Yang (2018), se determinan los criterios para la evaluación de un puerto verde y establece los indicadores ambientales de desempeño. Los indicadores definidos en el estudio son: Consumo y calidad del agua, huella de carbono, administración y consumo de energía, calidad del aire, calidad de sedimentos y suelo, generación, reciclaje y administración de residuos, control del ruido, salud y seguridad, emisiones, ecosistema, comunicaciones y calidad de vida de las comunidades. El estudio concluye en el puerto de estudio debe adoptar una política ambiental y un plan de acción para obtener una administración ambiental eficiente, así como realizar una revisión anual del plan de acción, implementar la norma ISO 14001, recopilar la información en bases de datos, incluir en su gestión la orientación de los indicadores para convertirse en puerto verde.

En su estudio, Acciaro et al. (2018), a través de una encuesta en línea evaluó el estado actual de la sostenibilidad empresarial en los puertos de Canadá y Estados Unidos. En sus conclusiones el estudio relaciona las principales estrategias de sostenibilidad de los puertos caso de estudio. La investigación se centraliza en el estado de la sostenibilidad Corporativa (CS) en los puertos. Empieza por analizar la percepción de los ejecutivos portuarios hacia la sostenibilidad, estrategias y prácticas de sostenibilidad portuaria, y factores de influencia para implementar CS en puertos en el futuro. Los resultados muestran que la mayoría de los puertos han adoptado una serie de estrategias y prácticas de CS, como programas de formación de personal y concienciación sobre sostenibilidad, presentación de informes y mejora de las relaciones con las partes interesadas. Además, la mayoría de los puertos actualmente tienen

algunas iniciativas y estándares de la CS, por ejemplo, Green Marine e ISO 14001. Sin embargo, esta investigación indica que mientras que la CS se considera importante en la mayoría de los puertos, no es totalmente integrado en los procesos y operaciones de toma de decisiones estratégicas. en la mayoría de los puertos que parecen estar rezagados en adopción de estrategias de sostenibilidad claras y ambiciosas y sus planes de implementación.

En línea con las acciones que se deben desarrollar desde los puertos, en el estudio de Choi et al. (2018) se define que las características importantes o claves de un puerto inteligente cuyo objetivo sea la sostenibilidad están descritos como, disminuir los impactos ambientales negativos de los puertos, así como el trabajo en el desarrollo de iniciativas preventivas centrándose en la disminución de la contaminación ambiental, la contaminación del suelo, contaminación del aire y contaminación del agua, así como reciclaje de residuos (Choi, Jun, & Lee, 2018).

En este contexto, los sistemas de gestión ambiental, gestión de basura y agua, son aspectos relevantes dentro de la gestión de un puerto inteligente (Rolan et al., 2019).

Además de lo mencionado anteriormente, otro tipo de estrategias no convencionales han sido implementadas, como son, Secuestro de CO₂ por medio de la aplicación de polvo de roca: la meteorización mejorada de rocas terrestres es una estrategia biogeoquímica de eliminación de dióxido de carbono cuyo objetivo es acelerar los procesos geológicos naturales de secuestro de carbono mediante la aplicación de rocas de silicato trituradas, como el basalto, a las tierras de cultivo y paisajes boscosos. (Kelland et al., 2020), uno de los principales resultados indicó tasas de secuestro de CO₂ de 2-4 t CO₂ / ha, 1-5 años después de una sola aplicación.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Palermo Sociedad Portuaria - PSP es un terminal marítimo-fluvial ubicado frente a la ciudad de Barranquilla (Colombia), en la margen oriental del Río Magdalena a 1,8 kilómetros de la desembocadura y hace parte de un Clúster Logístico de la empresa COREMAR (Portuaria, 2022).

En el año 2020 fue el terminal con mayor movimiento de acero en toda Colombia posicionándose como el terminal de mayor proyección en el puerto de Barranquilla (Portuaria, 2022). Su naturaleza es la de un terminal multipropósito con una extensión de 32 hectáreas de las cuales tiene construidas 20. Además de su ventaja en la ubicación cerca a la desembocadura cuenta con capacidad de expansión, acceso a el interior del país por carreta y vía fluvial.

Palermo Sociedad Portuaria cuenta con una concesión total es de 1,050 metros, con 700 metros lineales de muelle construidos, cada uno con capacidad en muelle de 24 t/m², el terminal cuenta con 10 hectáreas de patio abierto, 3.5 hectáreas cubierta, 8 bodegas multipropósito, 6 silos verticales, 7 hectáreas exclusivas para almacenamiento de Coque (Portuaria, 2022).

En la actualidad el puerto multipropósito de Palermo Sociedad Portuaria realiza la operación de gráneles y de carga general, incluyendo las actividades requeridas para el recibo, almacenamiento y cargue de coque en la fase definitiva; con la culminación de la construcción del muelle de líquidos y el complejo terrestre para el almacenamiento de líquidos se inició con el desarrollo de esta actividad, ingreso y salida de líquidos. La principal competencia de PSP se relaciona en la Tabla 4.

Tabla 4

Terminales Portuarios Barranquilla. Tomado de Asoportuaria 2020.

Terminal Portuario	Tipo de Terminal
COMPAS S.A.	Multipropósito
Palermo Sociedad Portuaria	Multipropósito
PIMSA	General
Sociedad Portuaria Bocas de Ceniza	Multipropósito
Sociedad portuaria Capulco	Multipropósito
Sociedad Portuaria del caribe	Carbón, Graneles sólidos, otros generales
Sociedad Portuaria La Gloria de Colombia	Multipropósito
Sociedad Portuaria Mallorquín	Carbón
Sociedad Portuaria Michellmar	Multipropósito
Sociedad Portuaria Monómeros Colombo – venezolano	Insumos químicos
Sociedad Portuaria Portmagdalena	Graneles líquidos
Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla	Multipropósito
Sociedad Portuaria Riverport	Graneles
Sociedad Portuaria VOPAK Colombia	Graneles líquidos

Fuente: elaboración propia (2022).

Localización, Condiciones Climáticas, Alrededores, medio abiótico.

La Sociedad Portuaria de Palermo (Figura 2) está ubicada en el Km 1,5 Vía Barranquilla – Ciénaga, Corregimiento de Palermo, Municipio de Sitio nuevo, Barranquilla.

Figura 2

Ubicación geográfica de Palermo Sociedad Portuaria S.A.



Fuente: Palermo Sociedad Portuaria. (2021)

Infraestructura Portuaria

En la Figura 3 se puede observar las diferentes áreas de almacenamiento del terminal PSP.

Figura 3.

Foto aérea de las áreas e infraestructura de Palermo Sociedad Portuaria.



Fuente: Palermo Sociedad Portuaria (2021).

Servicios Portuarios

Palermo Sociedad Portuaria S.A., cuenta con licencia ambiental otorgada por la Corporación ambiental del Magdalena - CORPAMAG mediante Resolución 1836 de 2018, Modificada por la Resolución 0938 del 8 de junio de 2010, compilada por medio de la Resolución 322 del 28 de febrero de 2013 y modificada mediante Resolución 3011 del 20 de diciembre de 2013, para la construcción y operación de un puerto granelero y de carga general,

que incluye las actividades requeridas para el recibo, almacenamiento y cargue de coque, y las actividades de cargue y descargue de hidrocarburos líquidos a través de barcos tanqueros y barcazas, mediante la construcción y operación de un muelle de líquidos y un complejo terrestre para el almacenamiento en el puerto multipropósito de Palermo Sociedad Portuaria. Con el objeto de incluir y/o modificar algunas actividades relacionadas con la construcción y operación del terminal de líquidos, y cambios en el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para la ejecución del proyecto se realizó la modificación de la licencia a través de la Resolución 0226 del 10 de febrero de 2016 (Portuaria, Informe de Cumplimiento Ambiental, 2022).

Estadísticas Generales Portuarias: Tipos de Mercancía, Tráfico de Mercancías etc.

Palermo Sociedad Portuaria durante el 2019 movilizó 2.368.972 Toneladas (Incluyendo movilización de líquidos que son almacenados en los tanques de Palermo Tanks, pero se reciben en el muelle de PSP). El tipo de mercancía corresponde a Acero, Carga general (piezas de gran tamaño), Contenedores, Coque, Fertilizantes, Granel limpio, Granel líquido, Productos industriales y tubería (Portuaria, 2022).

Diseño Metodológico

El modelo de metodología que se adopta en la presente investigación es el de Hernández Sampieri et al. (2014), el método utilizado será de tipo cuantitativo, hace parte de un proceso secuencial y pasos para la obtención de la información, todo orientado a un resultado que permitirá probar la hipótesis.

El estudio se llevará a cabo teniendo en cuenta *fuentes primarias y secundarias*, que se pueden describir de manera general en las fases del estudio, tales como: analizar las fuentes de emisión (directas o indirectas), definir si las emisiones están dentro del control de la organización. La metodología seleccionada para la medición de HC será la planteada por WPCI

(2020) específica para la medición de HC para terminales portuarios. Será realizado el trabajo en campo para la recolección de la información, será aplicada la herramienta definida mediante la herramienta de acuerdo con WPCI (2020) que dará como resultado la Huella de Carbono medida en Toneladas de CO₂ para definir las estrategias o practicas sostenibles que contribuyan a la mitigación de la Huella de Carbono, y hacer seguimiento a las estrategias para su implementación. Todos estos pasos hacen parte de un razonamiento y lógica deductiva.

Los *instrumentos* que se usaran para obtener la información se fundamentan en:

- ✓ Observación en campo de los procesos para definir las emisiones de cada uno.
- ✓ Toma de datos en tiempo real de las fuentes de emisión.
- ✓ Reuniones, entrevistas con los gerentes y equipo de trabajo directivo de las empresas que hacen parte del estudio para definir en conjunto, mediante reuniones (las estrategias de mitigación o practicas sostenibles a implementar. Las entrevistas se hicieron en espacio de la reunión directiva mensualmente para presentar las propuestas de las estrategias de acuerdo con lo identificado de las necesidades de la empresa y la viabilidad presupuestal.
- ✓ Revisión sistemática de los métodos de medición de Huella de Carbono para definir el que más se alinea a la actividad de las empresas evaluadas.
- ✓ Revisión bibliográfica de las practicas sostenibles y estrategias de mitigación que se puedan tomar como referente para la definición para la investigación.

De acuerdo con lo especificado en la Tabla 5 y en la Figura 4, la investigación se realiza de la siguiente forma, primero se analizan los factores de emisión – GEI de las empresas, este análisis se realiza por medio de visitas de campo, entrevistas con los responsables de cada área y se realiza un análisis de todos los procedimientos y procesos operativos de las empresas. Luego se realiza el cálculo de la HC, para el cálculo se aplica la herramienta enunciada y se realiza una validación de la herramienta, con este cálculo se definen las

estrategias de mitigación, todas las estrategias se definen en conjunto con las empresas en reuniones y mesas de trabajo con los líderes y responsables de proceso. Y por último se genera un plan de seguimiento para la validación de la implementación de las medidas y su impacto en la disminución de la HC.

Tabla 5

Objetivos y herramientas.

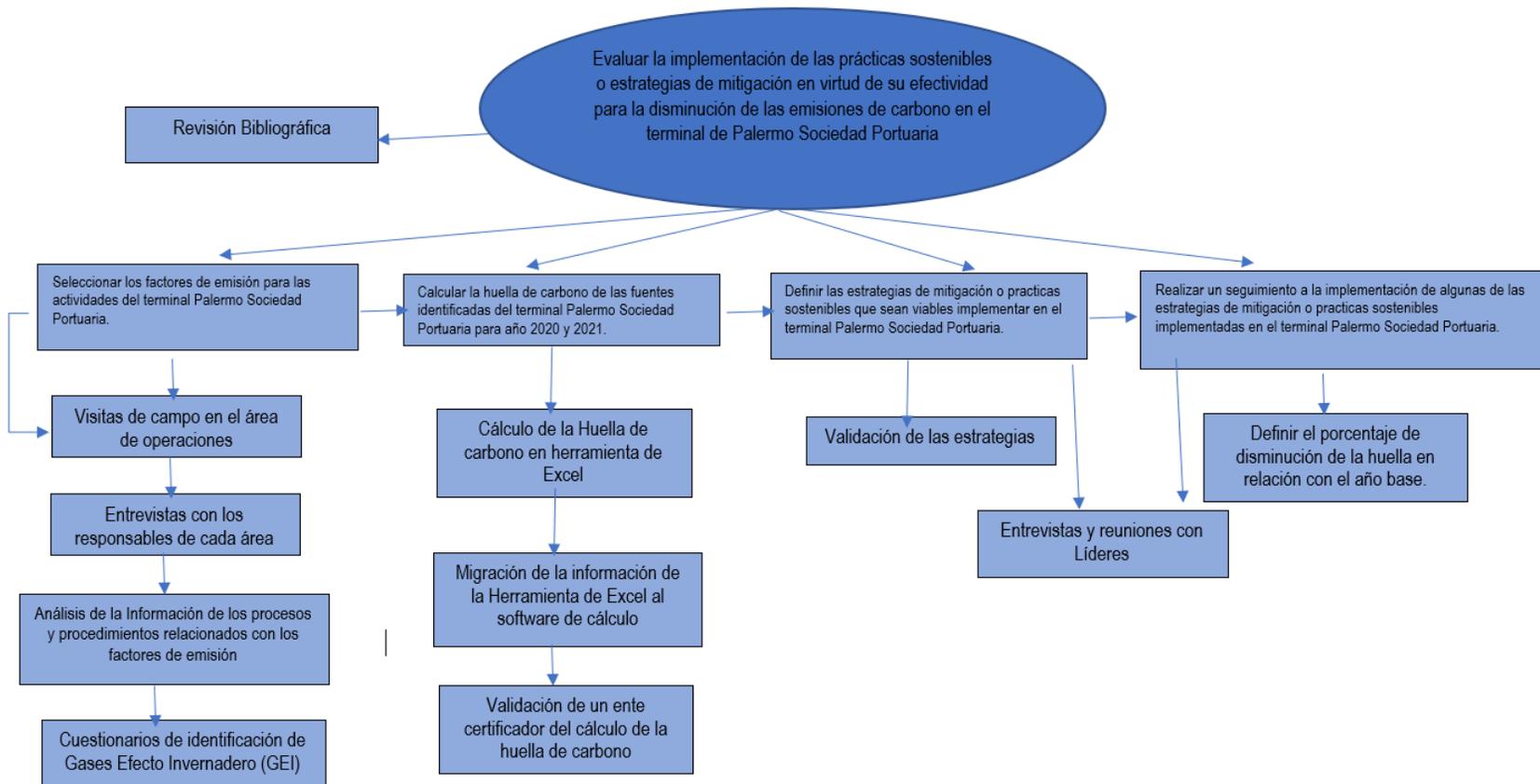
Objetivo Especifico	Herramientas Usadas
Seleccionar los factores de emisión para las actividades del terminal	<p>Visitas de verificación en campo durante la realización de las actividades de la empresa en estudio.</p> <p>Entrevistas con los responsables de cada área para la caracterización de los GEI.</p> <p>Cuestionarios de identificación de los GEI.</p> <p>Análisis de la información de los procesos y procedimientos de la compañía para establecer las actividades de los alcances de la medición de la HC.</p> <p>Revisión Bibliográfica sobre las emisiones de GEI del terminal.</p>
Calcular la huella de carbono de las fuentes identificadas del Terminal portuario	<p>Revisión Bibliográfica.</p> <p>Validación de la herramienta de cálculo.</p>
Definir las estrategias de mitigación o practicas sostenibles que sean viables implementar en el Terminal portuario	<p>Entrevistas y reuniones con los líderes de las empresas y áreas claves de la operación.</p> <p>Entrevista y reuniones con las empresas contratistas.</p> <p>Validación de las estrategias implementadas en el terminal portuario.</p> <p>Revisión Bibliográfica sobre las estrategias de mitigación aplicada en el terminal portuario.</p> <p>Para la definición de las estrategias se escogerán las que la dirección de la empresa defina como prioritarias y que sean viables financieramente.</p>

Objetivo Especifico	Herramientas Usadas
Realizar un seguimiento en un período no menor a tres meses a la implementación de las estrategias de mitigación o practicas sostenibles implementadas en el Terminal portuario.	<p>Definir los recursos y proveedores para el desarrollo de las pruebas de las estrategias.</p> <p>Definir los períodos de línea base y seguimientos.</p> <hr/> <p>Entrevistas y reuniones con los líderes y áreas claves de la operación.</p> <p>Entrevista y reuniones con las empresas contratistas.</p> <p>Toma de datos en campo con equipos de medición.</p> <p>Definición de línea base, es decir antes de la implementación de las medidas.</p> <p>Análisis estadístico de los datos antes y después de la implementación de las estrategias.</p> <p>Recálculo de la HC.</p>

Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 4

Metodología de Investigación.



Fuente: elaboración propia (2022).

Metodología para la Cuantificación de Emisiones

El cálculo de las emisiones de GEI para Palermo Sociedad Portuaria, se basa en la recopilación de los datos operativos para cada categoría en diferentes escalas y los correspondientes factores de emisión de GEIs disponibles en la literatura científica.

En segundo lugar, se hace referencia a los métodos de cuantificación y los factores de emisión utilizados en la cuantificación cada categoría de emisión en el alcances de la contabilidad de los Gases de Efectos Invernadero del terminal.

Alcance 1: Emisiones Directas de GEI

El método de cuantificación utilizado para calcular las emisiones del Alcance 1 se deriva del consumo de combustible de los vehículos en los puertos utilizados para el transporte de mercancías y actividades relacionadas. Los cálculos se realizan sobre la base de los datos operativos obtenidos, es decir, el consumo de combustible t (Diésel y gasolina) y el uso de los factores de emisión correspondientes a cada uno de las GEI's consideradas (ver tabla de factores de emisión).

A continuación, se relaciona cada una de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de alcance I: (WBCSD, WRI, & SERMARNAT, 2005):

- Emisiones asociadas a los consumos de Diésel para Plantas y Torres de Iluminación

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \sum \text{CACPM} \times \text{FE genérico} \times \text{Fconversion}$$

Donde;

$\sum \text{CACPM}$: es la sumatoria de los consumos de Aceite Comprimido para Motor - A.C.P.M en la compañía durante el año base.

FE genérico: el factor de Emisión genérico adoptado para las estimaciones de GEI dadas en Kg CO₂eq/Gal.

Fconversion: es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique).

- Emisiones asociadas consumo de Refrigerante R410a

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \sum \text{CR410A} \times \text{FE genérico} \times \text{Fconversion}$$

Donde;

ΣC_{410A} : es la sumatoria de los consumos de refrigerante en la compañía durante el año base,

FE genérico: es el factor de Emisión genérico adoptado para las estimaciones de GEI dadas en Kg CO₂eq/kg y,

Fconversion: es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique).

- Emisiones asociadas consumo de Acetileno

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \frac{\Sigma CA \times FE_{Ac} \times F_{conversion}}{F_{conversion}}$$

Donde;

ΣCA : Es la sumatoria de consumo de acetileno en la compañía durante el año base,

FE_{Ac}: Es el factor de emisión genérico adoptado para la estimación de GEI dadas en Kg CO₂eq/Kg y,

Fconversion: Es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique).

- Emisiones asociadas consumo de Gasolina Vehículos Concesionados

$$\text{EmisionesCO}_2\text{eq} = \Sigma C_{gasolina} \times FE_{genérico} \times F_{conversion}$$

Donde;

$\Sigma C_{gasolina}$: Es la sumatoria de consumo de gasolina en la compañía durante el año base,

FE_{genérico}: Es el factor de emisión genérico adoptado para la estimación de GEI dadas en Kg CO₂eq/Gal y,

Fconversion: Es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique).

- Emisiones asociadas consumo de Diésel Vehículos Carga

$$\text{EmisionesCO}_2\text{eq} = \Sigma \text{Diésel} \times FE_{genérico} \times F_{conversion}$$

Donde;

$\Sigma C_{Diésel}$: Es la sumatoria de consumo de Diésel en la compañía durante el año base

FE genérico: Es el factor de Emisión genérico adoptado para las estimaciones de GEI dadas en Kg CO₂eq/Gal y,

Fconversion es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique).

Cabe resaltar que los factores de Emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de alcance 1 se muestran en el apartado 8.- Factores de Emisión Utilizados y sus Fuentes.

Alcance 2: Emisiones Indirectas de GEI de COREMAR

La cuantificación de las emisiones del Alcance 2, emisiones indirectas derivadas de los consumos eléctricos, se obtuvieron a partir de los datos de actividad en lo que se refiere a los consumos generales de energía eléctrica y a la utilización de los factores de emisión correspondientes a cada una de las especialidades de GEI's consideradas, obtenidos de fuentes oficiales y/o la literatura científica.

A continuación, se relaciona la ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones indirectas de alcance 2;

$$\text{Emisiones CO}_2\text{q} = \sum \text{CGE} \times \text{FESIN} \times \text{Fconversion}$$

Donde;

$\sum \text{CGE}$: es la sumatoria de generación de energía eléctrica consumida en el año base, FESIN : es el factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional dado tCO_2/MWh y, Fconversion : es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique).

No obstante, dado el uso de fuente de energías alterativas por el empleo de paneles solares para la operación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire, se procedió a realizar una estimación del consumo evitados tomando como referencia en este caso, el factor de Emisión marginal expedido por la Unidad de Planeación Minero-Energética para la cuantificación de Emisión de gases de efecto invernadero para proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio.

A continuación, se relaciona la ecuación empleada para el cálculo de las emisiones reducidas por el empleo de fuente de energía alternativas.

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \sum \text{CGE} \times \text{FEMdL Renv} \times \text{Fconversion}$$

Donde;

$\sum \text{CGE}$: es la sumatoria de generación de energía eléctrica consumida el año base, FEMdRenv : es el factor de Emisión marginal mecanismos de Desarrollo Limpio en el uso de fuente no convencionales de energía dado tCO_2/MWh y, Fconversion es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique)

Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas de GEI

El método de cuantificación utilizada para el cálculo de las emisiones de esta categoría del Alcance 3, se realiza son base en los datos de Consumo de Diésel en el transporte terrestre de personal propio de Palermo Sociedad Portuaria, Distancia recorrida en viajes nacionales e internacionales por transporte aéreo de los colaboradores por asuntos corporativos, así como las relacionadas al tratamiento de residuos y aguas residuales; en lo concerniente a la cantidad Generada de Residuos Reciclables y Ordinarios, y al aporte Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO por Agua Residual Domestica e industrial.

Cabe resaltar que para el cálculo de las emisiones derivadas del tratamiento de agua residual se estimó el volumen total de agua tratado al año, en función de las características propias de la planta en los referentes a caudal de diseño, tiempo de retención y dimensiones, dado que el Factor de Emisión empleado requiere cuantificar el aporte de DBO en Kg/año. Este último valor se obtuvo a partir de las concentraciones del parámetro relacionadas en las Caracterizaciones Fisicoquímicas de los efluentes.

Una vez obtenido los datos, se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \text{FEARD} \times \dot{X}\text{CDBO} \times \text{TVTARD} \times \text{Fconversion}$$

Donde;

FEARD: es el factor de Emisión para el tratamiento de aguas residuales industriales dado en $\text{KgCO}_2\text{eq/KgDQO}$

$\dot{X}\text{CDQO}$: es el promedio de las concentraciones de BQO en el sistema de tratamiento en el año base

TVTARD: es el volumen total de agua tratadas en el año base dadas en m^3 o Litros y,

Fconversion: es el factor de conversión de acuerdo con la unidad.

Con relación a las Emisiones asociadas a las distancias recorridas en viajes nacionales e internacionales, las emisiones derivadas se estimaron con base a la metodología utilizada en la aplicación web del ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional) quien ha desarrollado su propia metodología con datos usados en estudios científicos que respaldan la validez de la información, los datos de entrada requeridos por la aplicación son: Origen y Destino, Clase de vuelo y Numero de pasajeros.

Por otro lado, para la cuantificación de las emisiones derivadas del tratamiento de residuos se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \text{FEARD} \times \text{TnRS1} \times \text{F Conversión}$$

Donde;

FEARD: es el factor de Emisión para disposición de residuos sólidos Kg CO₂/ kgRS, TnRS1: es la tasa de generación de residuos sólidos dispuestos y,

Fconversion: es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique)

Cabe resaltar que el cálculo de las emisiones por la generación de residuos se efectuó de manera independiente en las categorías de Aprovechables y No Aprovechables. Para la categoría de residuos aprovechables se empleó un Factor de Emisión por corriente de residuos. A diferencia de los no aprovechables en los cuales se tuvo en cuenta el factor de Emisión de acuerdo con la tecnología usada para el tratamiento y disposición final.

A continuación. Se relaciona la ecuación empleada para el cálculo de las emisiones por la generación de residuos aprovechables.

$$\text{EmisionesCO}_2\text{q} = \text{FEARD} \times \text{TnRA1} \times \text{F Conversión}$$

Donde;

FEARD: es el factor de emisión para disposición de residuos sólidos Kg CO₂/ kgRS,

TnRA1: es la tasa de generación de residuos aprovechables y

Fconversion: es el Factor de Conversión de unidades (cuando aplique)

En cuanto a las emisiones asociadas al consumo de diésel por ruta administrativa, cabe resaltar que los consumos se estimaron teniendo en cuenta el total de las distancias recorridas año y el rendimiento de combustible por Km recorrido, una vez obtenido el volumen de combustible requerido se empleó la siguiente ecuación;

- Emisiones asociadas al consumo de diésel ruta administrativa

$$\text{EmisionesCO}_2\text{eq} = \sum \text{Diésel FE genérico} \times \text{Fconversion}$$

Donde;

\sum Diésel: Es la sumatoria de consumo de Diésel en la compañía durante el año base

FE genérico: Es el factor de Emisión genérico adoptado para las estimaciones de GEI dadas en Kg CO₂eq/Gal y,

Fconversion es el Factor de conversión de unidades (cuando aplique)

Cálculo de la Huella De Carbono, Año Base - 2019

En este capítulo se muestran los resultados de los inventarios de Gases de Efecto Invernadero - GEI para el año 2019 año base.

El cálculo de la huella de carbono se realiza bajo las indicaciones definidas en el Protocolo de Gases Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (edición revisada)” producto del esfuerzo y colaboración del *World Resource Institut* - WRI y el *World Busine Council for Sustainable Development* WBCSD.

Alcances y Exclusiones

La recolección de los datos de entrada se realizó mediante entrevistas con el personal involucrado en las áreas de trabajo y las visitas a campo para la identificación de los para el desarrollo del GEI.

La información incluida en el inventario de GEI de 2019 es la correspondiente a los consumos propios del terminal, así como las actividades operacionales, de servicios.

El inventario de Gases de Efecto Invernadero ha incluido la cuantificación de las emisiones debidas a los siguientes gases relacionadas en la Tabla 6.

Tabla 6

Gases de efecto invernaderos contemplados en el Alcance del inventario.

Gases de efecto invernadero	Nomenclatura	GWP después de 100 años
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Dióxidos de Nitrógeno	NO _x	310
Perfluorocarburos	PFC	-
Hidrofluorocarbonos	HFC	-

Fuente: Global Warming Potential Values, GWP protocol (2020).

Los resultados se han expresado como toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tonCO₂eq).

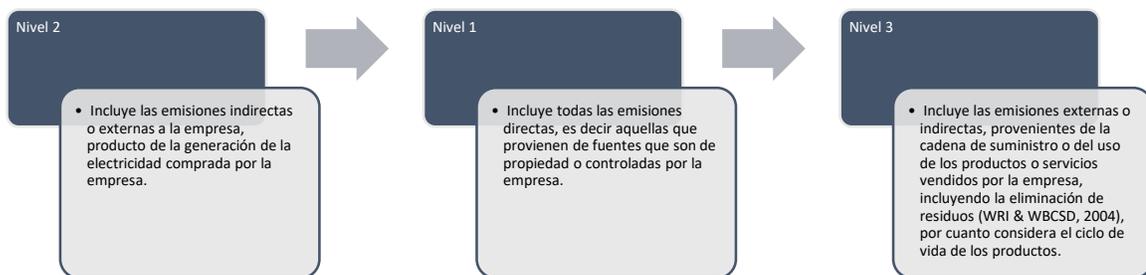
Alcances

El inventario de combustibles de Palermo Sociedad Portuaria incluye las emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas como Toneladas de CO₂eq, los siguientes gases CO₂, CH₄ y N₂O, PFC y HFC en base a los siguientes rangos:

Emisiones directas, emisiones indirectas de fuentes de energía y otras emisiones indirectas relacionadas con la operación de las empresas concesionarias, emisiones de buques y transporte de carga que ocurren en el Puerto, todas ellas en condiciones normales de operación. En la Figura 5, se muestra la definición de cada uno de los alcances.

Figura 5.

Niveles de Cálculo HC.



Fuente: elaboración propia (2022).

Alcance 1: Emisiones Directas

En el alcance 1, se consideran las emisiones generadas por el consumo de combustibles (Gasolina y Diésel) empleado para los vehículos del terminal.

También se consideran el consumo de refrigerantes propios para la climatización de áreas administrativas, así como el consumo de combustible para la cogeneración de energía y Acetileno.

A continuación, se relaciona las actividades consideradas como fuentes de emisión directa de GEI;

- ✓ Consumo de Diesel para Plantas y Torres de Iluminación (Galones/año).
- ✓ Consumo de Refrigerante R410a (kg/año).
- ✓ Consumo de Acetileno (kg/año).
- ✓ Consumo de Gasolina Vehículos Concesionados (Galones/año).
- ✓ Consumo de Diésel Vehículos Carga (Galones/año).

Alcance 2: Emisiones Indirectas de GEI

En lo referente a las emisiones de Alcance 2, se consideran las emisiones indirectas derivadas de los consumos de electricidad propios de las actividades de Palermo Sociedad Portuaria. Los datos recolectados no permiten hacer una distinción sobre las emisiones derivadas del consumo de energía de manera desglosada dado que la organización no cuenta con datos de consumo en lo referente a climatización, iluminación de los viales portuarias y áreas comunes.

A continuación, se relaciona las actividades consideradas como fuentes de emisión indirecta de GEI en el presente estudio;

- ✓ Consumo general de Energía Eléctrica en las instalaciones (MWh/año).

Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas de GEI

En el Alcance 3, en este alcance solo se incluye las emisiones derivadas del transporte terrestre y aéreo de los empleados, así como las relacionadas al tratamiento de residuos y aguas residual.

A continuación, se relaciona las actividades consideradas como otras fuentes de emisión indirectas de GEI en el presente estudio;

- ✓ Distancia recorrida en Viajes Nacionales (Millas/año).
- ✓ Distancia recorrida en Viajes Internacionales (Millas/año).
- ✓ Consumo de Diesel Ruta Administrativa (Galones/año).
- ✓ Cantidad Generada de Residuos Ordinarios (Tn/año).
- ✓ Cantidad Generada de Residuos reciclables. (Tn/año).
- ✓ Aporte DBO por ARnD (Kg DBO/año).

Exclusiones

En cuanto al inventario y cuantificación de emisiones se han considerado las siguientes exclusiones:

- ✓ Actividades excluidas, aquellas derivadas de los trabajos de la ampliación del terminal.
 - ✓ También excluido, el transporte de carga dentro del terminal y las asociadas a las Motonaves atracadas durante la operación portuaria en el muelle.

Cálculo de la Huella de Carbono, Primer Año de Seguimiento: Año 2020

En este capítulo se muestran los resultados de los inventarios de Gases de Efecto Invernadero - GEI para el primer año de seguimiento 2020.

El cálculo de la huella de carbono se realiza bajo las indicaciones definidas en el Protocolo de Gases Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (edición revisada)” producto del esfuerzo y colaboración del *World Resource Institut (WRI)* y el *World Busine Council for Sustainable Development (WBCSD)*.

Alcances y Exclusiones

En cuanto al inventario y cuantificación de emisiones se han considerado las siguientes exclusiones:

- ✓ Actividades excluidas, derivadas de los trabajos de la ampliación del terminal.

- ✓ También se excluye, las emisiones del transporte de carga dentro del terminal y las asociadas a las Motonaves atracadas durante la operación portuaria en el muelle.

Metodología reducción de consumo de combustible

La tecnología de reducción de combustible lleva por nombre CARE, CARE es un sistema basado en tecnología para la reducción de emisiones GEI y Material Particulado mediante eficiencia energética, entendiendo como eficiencia, la reducción y/o mejor aprovechamiento de combustibles líquidos empleados como recurso energético para el funcionamiento de la maquinaria móvil o estacionaria de la compañía que lo implementa.

Según el decreto 2532 de 2001, artículo 2 literal a, CARE se define como un “el conjunto ordenado de equipos, elementos, o maquinaria nacionales o importados, según sea el caso, que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de disminución de la demanda de recursos naturales renovables, o de prevención y/o reducción del volumen y/o mejoramiento de la calidad de residuos líquidos, emisiones atmosféricas o residuos sólidos”, así mismo, por un conjunto de protocolos y procedimientos que se rigen por la norma técnica ISO 14064-1 y por la metodología del Panel Intergubernamental del Cambio Climático de las Naciones Unidas para Inventario de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2007).

Para el desarrollo de la tecnología se definen tres períodos:

Línea Base (período 0): es el conjunto de datos numéricos iniciales resultantes de las variables de interés medidas sobre una fuente móvil o estacionaria, que permitirá cuantificar el volumen de combustible líquido consumido necesario para su funcionamiento dentro de una actividad productiva y periodo de tiempo determinado.

Período de limpieza (período 0): periodo empleado para la limpieza del sistema de combustible del motor. Durante este tiempo, el sistema CARE no toma datos de consumo de combustible o emisiones generadas por la fuente.

Período Post instalación, es el periodo o periodos de emisiones reducidas gracias a eficiencia energética lograda por el sistema CARE para el inventario anual de emisiones mitigadas.

El sistema CARE, desarrollado por SOULTECH.CO, se implementó en una fuente móvil tipo elevador con capacidad de 16 Ton, empleado en actividades de logística portuaria, específicamente para el movimiento de carga en el área de operación; Palermo Sociedad Portuaria tiene 11 equipos de esta misma referencia que son de su propiedad y son utilizados para la atención de las operaciones de buques.

Consideraciones de la metodología (SOULTECH CO, 2022):

Límites del inventario de GEI: emisiones directas asociadas a la quema de combustible líquido DIESEL B10.

Fuentes directas: quema de combustible DIESEL B10 por el Montacarga EL01601 en la categoría de transporte terrestre.

Categoría: emisiones directas de GEI por quema de combustibles líquidos y remociones por eficiencia energética (reducción de consumo de combustible líquido) en la fuente.

Objetivo: cálculo de emisiones de gases efecto invernadero (CO₂, N₂O, CH₄) por consumo de combustible del Montacarga EL01601.

Metodología empleada: directrices del panel intergubernamental del cambio climático de las naciones unidas para el inventario de gases efecto invernadero (IPCC, 2007).

Metodología de Compostaje de Materiales

Dentro de las estrategias planteadas para la disminución de la Huella de Carbono - HC para Palermo Sociedad Portuaria se encuentra la disminución de residuos ordinarios que para el año 2020 representa el 2,51 tonCO₂ del alcance III de la HC.

Para esta experimentación se escogieron los residuos mencionados en el estudio Bhupendra, Yakoob & Shah (2022) como son: poda, residuos de café, toallas de mano (desechables), sedimentos del sistema alcantarillado, residuos orgánicos (alimentos), todos estos residuos que son generados por la actividad portuaria.

El inicio del experimento fue el 13 de diciembre de 2021. Para el desarrollo de la experimentación del compostaje de los residuos generados en el puerto Palermo. En la Tabla 7 se relacionan las cantidades de residuos:

Tabla 7

Materiales usados para el inicio del Compostaje.

Componentes	Cantidad kg.
Residuos Sedimentadores	40
Residuos pulpa de café (neutralizador de pH).	35
Toallas desechables	8.5
Residuos orgánicos	25
Poda orgánica	17
Total, kg de residuos	125.5

Fuente: elaboración propia (2022).

Todos estos residuos fueron mezclados de manera mecánica, es decir, por volteo.

Para el desarrollo de la actividad se define una línea de tiempo y observación del experimento por un periodo de seis semanas.

Las variables por controlar de acuerdo con Bhupendra, Yakoob & Shah (2022), son: contenido, temperatura, aireación y pH, quienes son las que muestran la descomposición en el proceso de compostaje.

Para la medición de del pH para el compostaje, según Bhupendra, Yakoob & Shah (2022) debe estar en un rango de 5.5 y 8.5.

Metodología aplicación de polvo de roca

Una cantidad de 10 ton de polvo de roca dacita con 10% de tamaños de partículas menores que 4 mm y 90% menores que 0,6 mm fueron fornecidos por la empresa Agregados Río Negro, Palomino, La Guajira (Figura 6).

Figura 6

Polvo de roca dacita utilizado para el secuestro de CO₂



Fuente: elaboración propia (2022).

Los análisis elementales de óxidos simples del polvo de roca fueron determinados por fluorescencia de rayos X (FRX) en un espectrómetro de rayos X secuencial (Siemens, modelo SRS-3000), en el Laboratorio de Análisis e Identificación de Materiales, de la Universidad de Passo Fundo en Brasil.

Luego de la revisión de las áreas del terminal portuario, se define esparcir 10 Kg del polvo de roca por cada m² Kelland et al. (2020) en la zona 5, nombrada como – Zona Externa del vivero -, para un total de 233m². Se evidencian en la Figura 7. De esta manera, las áreas donde se esparció el polvo de roca fueron: Parte externa del vivero, Parte interna del vivero, patio 6 y vía principal Una vez aplicado el polvo de roca en dichas zonas se procedió a realizar seguimiento a la captación de CO₂ en las siguientes horas: 09:00, 12:00, 16:00 y 20:00, que fueron definidas acorde con la operación del terminal portuario.

Figura 7

Áreas identificadas para esparcir polvo de roca



Fuente: adaptada de Google Earth (2022).

Figura 8

Áreas identificadas para esparcir polvo de roca - patio 6



Fuente: adaptada de Google Earth (2022).

En las tres áreas que se muestran en la Figura 7 y 8 consolidan un total, parte externa del vivero (233 m²), patio 6 (331 m²), parte interna del vivero se agregó 1kg por cada m² para un total de 120m² solo a las raíces de las plantas (1006 plantas).

Para la toma de los datos se utilizó un medidor de CO₂ con las siguientes características:

Un medidor de CO₂ portátil económico con el que puede comprobar la calidad del aire. Un medidor de CO₂ tiene una pantalla dual con 3 parámetros simultáneos para CO₂, temperatura y humedad al mismo tiempo y tiene retroiluminación para condiciones de poca luz. El medidor de CO₂ está diseñado con tecnología de onda de sensor NDIR (infrarrojo no dispersivo). Se recomienda una calibración manual, además es fácil de calibrar al aire libre alrededor de 380 - 420 ppm. El medidor de CO₂ tiene función *Hold* con el que fija las lecturas de la medición actual en la pantalla durante 8 horas (función de promedio ponderado del tiempo) o durante 15 minutos (límite de exposición a corto plazo). También consta de función máx., mín. y promedio. Tiene varias señales de advertencia para el nivel de CO₂, como una alarma sonora de ~ 80 db.

Para el análisis de datos se toma cada punto de medición, cada área definida, los datos son tomados por un profesional ambiental asignado para el proyecto y los resultados son escritos en el formato de mediciones.

El análisis de los datos se realiza por medio del software Minitab, por las características de los datos se realiza la prueba de normalidad, por medio de una prueba de bondad de ajuste *Kolmogorov-Smirnov*. Esta prueba se realiza para los datos antes y después de la aplicación del polvo de roca.

Con el objetivo de identificar si exista alguna diferencia significativa entre los niveles de CO₂ en las diferentes horas de medición (09:00, 12:00, 16:00 y 20:00) se realiza la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis la cual evalúa la hipótesis nula que plantea que las medianas de las mediciones de CO₂ de los 4 horarios de las tomas de muestras es la misma.

El análisis se realiza individualmente por punto de medición (Parte externa del vivero, Parte interna del vivero, Patio 6 y vía principal) y se toman las observaciones antes de la aplicación del tratamiento con el fin de saber si estos datos pueden ser analizados juntos después de la aplicación de dicho tratamiento.

Comparaciones globales de los datos, se realiza el análisis tomando todos los datos de las mediciones en los cuatro rangos horarios para definir si existe o no una diferencia estadística significativa para luego hacer el análisis por cada rango horario antes y después de aplicar la roca.

Una vez realizado el levantamiento de información en campo utilizando las encuestas, entrevistas y revisión de la literatura para calcular la HC se consolidó la información necesaria para la estimación de las emisiones y huella de carbono generada por las diferentes actividades que se realizan en la plataforma portuaria. A continuación, se presentan los resultados de la cuantificación de las emisiones y de las estrategias implementadas para la disminución de la HC.

Resultados

Inventario De GEI y Cálculo De Emisiones Año Base -2020

Cuantificación de las Emisiones Consolidadas

En la tabla 8 se relaciona el consolidado del cálculo de las emisiones del año base 2019.

Tabla 8

Emisiones de GEI Consolidadas en el año de referencia en Palermo Sociedad Portuaria 2019 – Año Base.

Tipo de Emisión	Emisiones TnCO₂	% TOTAL Emisiones
Total emisiones de Alcance 1: Directas	2598,93	42,1
Total emisiones de Alcance 2: Indirectas	586,33	9,5
Total emisiones de Alcance 3: Otras indirectas	2985,08	48,4
Total	6170,3	100%

Fuente: elaboración propia (2022).

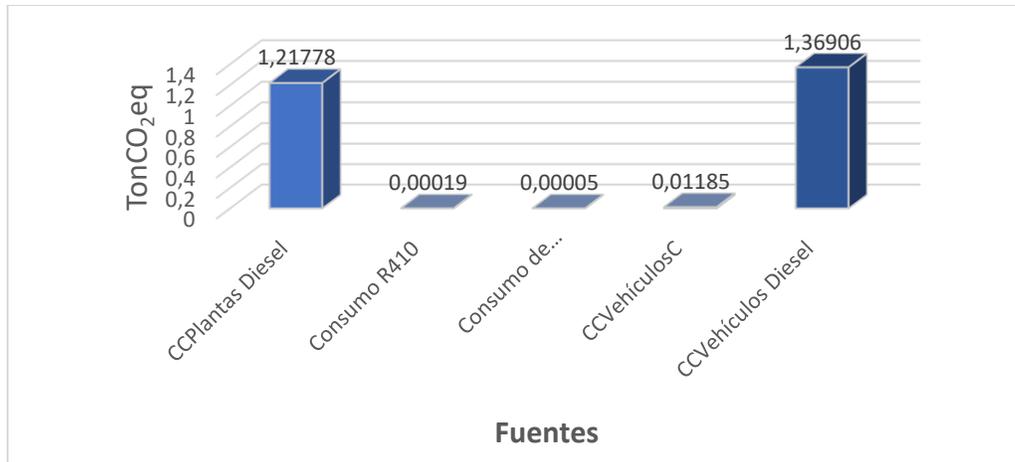
Cuantificación de las Emisiones por Alcances

Alcance 1: Emisiones Directas de GEI.

En la Figura 9 se muestran los resultados de este alcance.

Figura 9

Emisiones Directas de GEI dadas en CO₂eq emitidas durante el 2019.



Fuente: elaboración propia (2022).

Alcance 2: Emisiones Indirectas de GEI

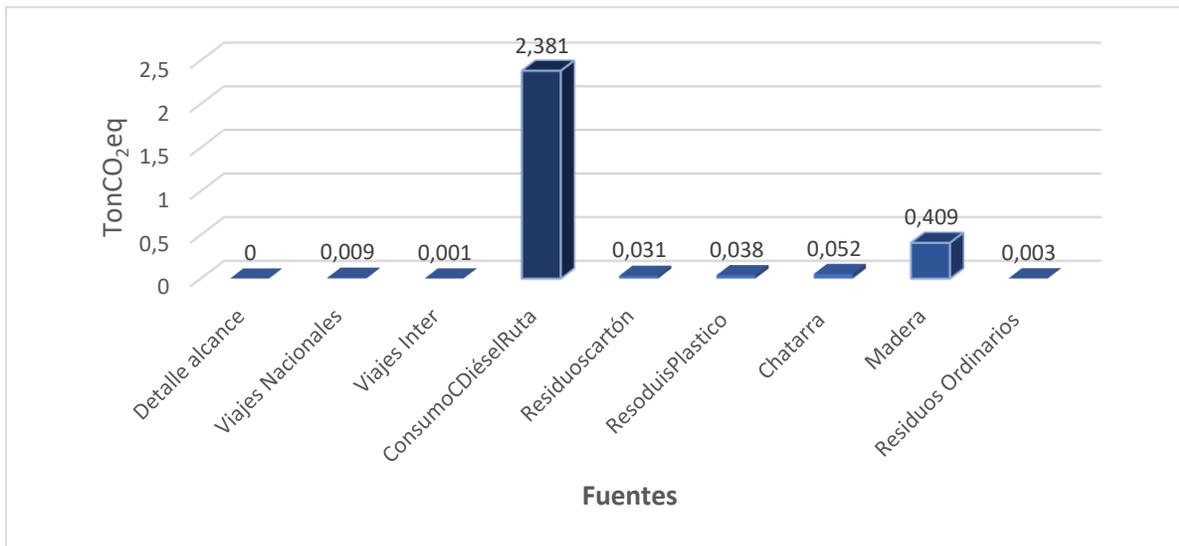
Para este alcance se incluyó la energía generada por los paneles solares que tiene la empresa en dos estaciones de calidad de aire que son alimentadas con este sistema y que fueron instaladas en el año 2016 en el marco de una compensación ambiental de PSP derivada de la licencia ambiental emitida para la construcción y operación del terminal. Para el cálculo de esta contrahuella que hace parte de la estrategia de reducción se utilizó la metodología y lineamientos definidos por la Unidad de Planeación Minero-Energética- UPME a través de la expedición de Resolución 642 Dic 27 de 2019- “por el cual se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional - 2018 para proyectos aplicables a Mecanismo de Desarrollo Limpio- MDL”.

Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas de GEI

La Figura 10 muestra los resultados de este alcance.

Figura 10

Emisiones Indirectas de GEI emitidas por Sociedad Portuaria de Palermo.



Fuente: elaboración propia (2022).

Inventario de GEI y Cálculo de Emisiones Año 2020

Cuantificación de las Emisiones Consolidadas

En la tabla 9 se relaciona el consolidado del cálculo de las emisiones del primer año de seguimiento, año 2020.

Tabla 9

Emisiones de GEI Consolidadas en el año de referencia en Palermo Sociedad Portuaria 2020.

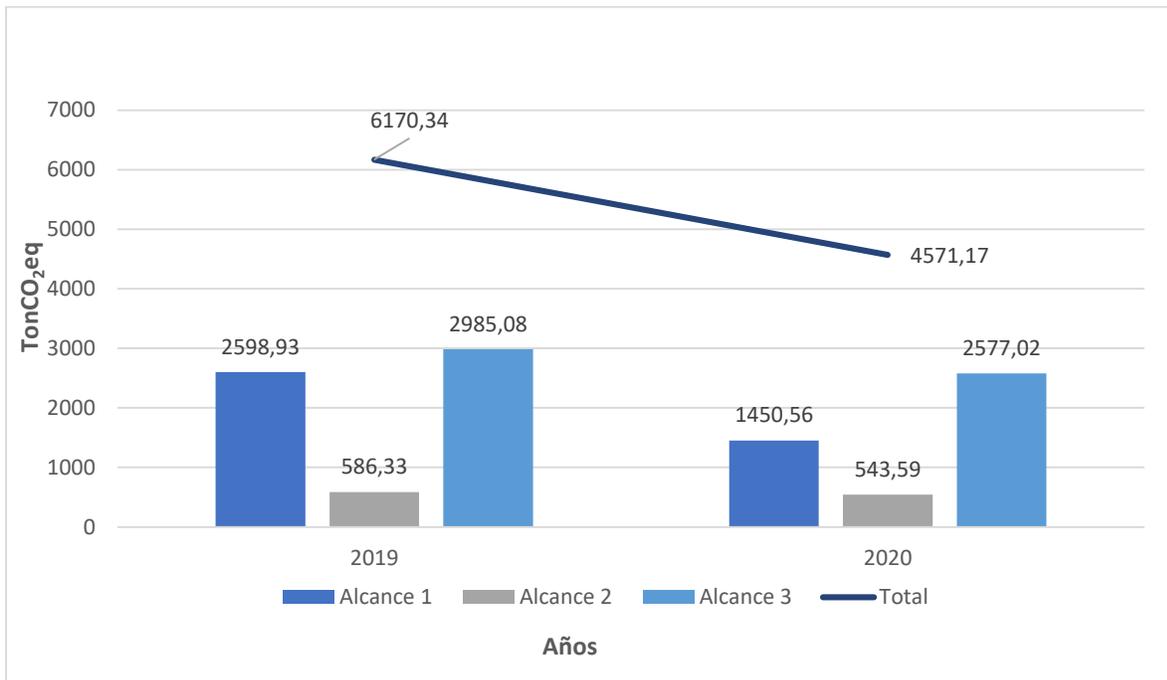
Tipo de Emisión	Emisiones TnCO ₂	% TOTAL Emisiones
Total emisiones de Alcance 1: Directas	1450,56	32%
Total emisiones de Alcance 2: Indirectas	543,59	12%
Total emisiones de Alcance 3: Otras indirectas	2577,02	56%
Total	4571,17	100%

Fuente: elaboración propia (2022).

Tal como se muestra en la Figura 11, el 32% de las emisiones de GEI expresadas en tonCO₂eq equivalente corresponden a emisiones de alcance I, es decir que aproximadamente 1,45 Megatoneladas corresponden a emisiones de generadas por actividades propias de PSP. El 12% corresponden a GEI de alcance 2, es decir un poco más de media (½) Megatonelada de CO₂ equivalente es generada por el consumo de energía eléctrica y el otro 56 % es decir 2,5 Megatoneladas de CO₂eq corresponden al alcance 3.

Figura 11

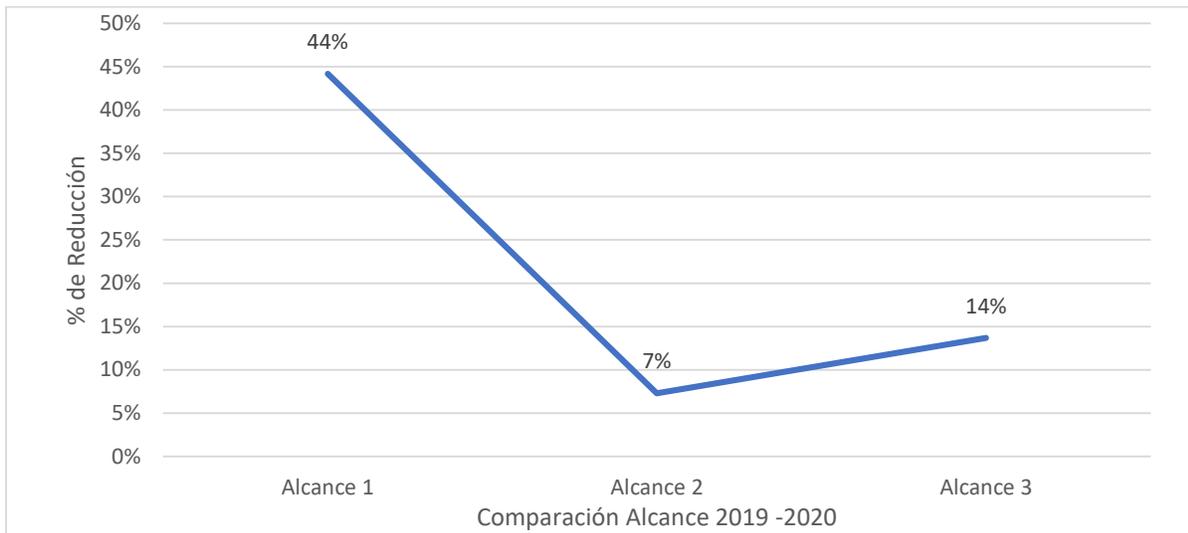
Comparación de HC 2019-2020



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 12

Disminución de alcances HC 2019-2020



Fuente: elaboración propia (2022).

Validación del Cálculo de la Huella de Carbono

Se realiza la validación de la Huella de Carbono para los años 2019 y 2020 por parte del Instituto Colombiano de certificaciones - ICONTEC quien está acreditado para el proceso de validación del cálculo de la HC y emite un certificado para tal fin. Esta validación acredita el nivel de confianza de los datos y del cálculo.

En la tabla 10 y Figuras 13 y 14 se relacionan el consolidado de las emisiones para los años 2019 y 2020.

Tabla 10

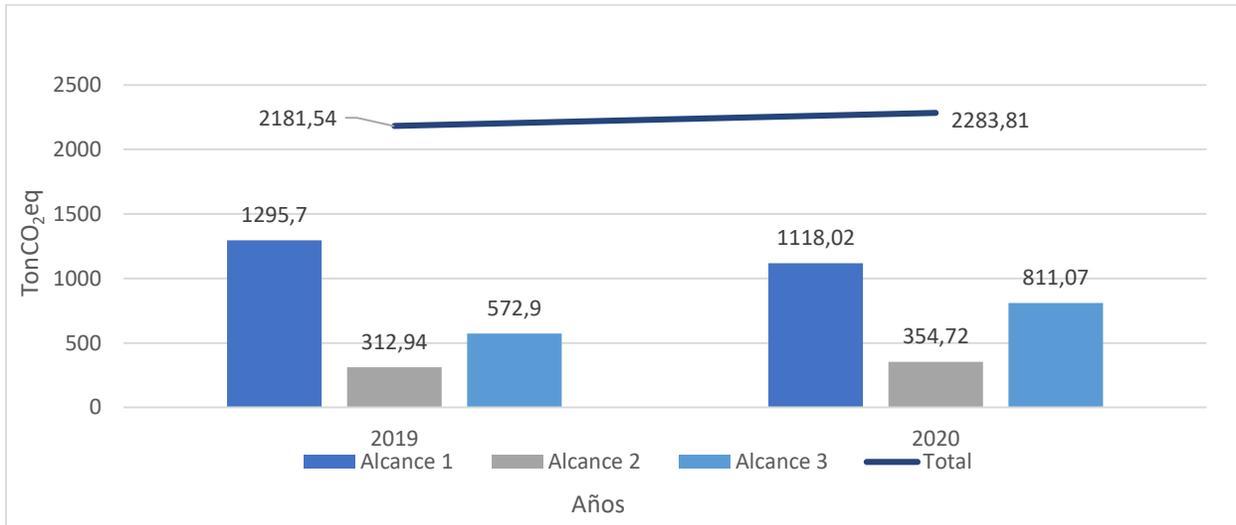
Emisiones de GEI Consolidadas validadas 2019 - 2020.

Emisiones	2019	2020
Alcance 1	1295,7	1118,0
Alcance 2	312,9	354,7
Alcance 3	572,9	811,1
Total	2181,5	2283,8

Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 13

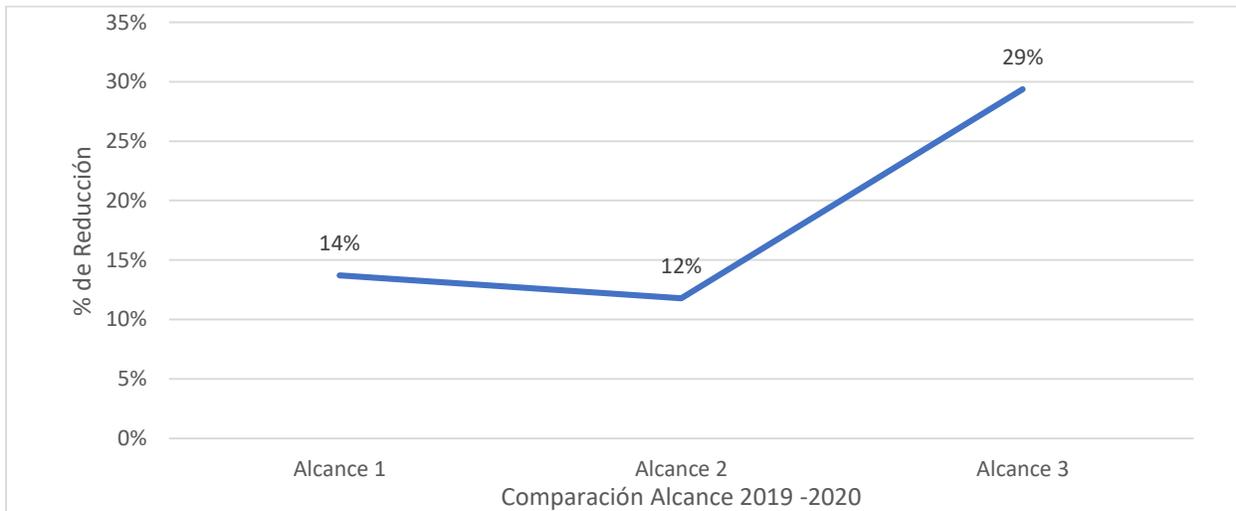
Comparación de HC validada para 2019-2020.



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 14

Disminución de alcances HC validada para 2019-2020



Fuente: elaboración propia (2022).

Dentro del proceso de validación de los datos se resaltan los siguientes hallazgos:

1. Errores en la digitación de los datos, se validaron las tablas de cálculo donde se encuentran valores por fuera del parámetro de medición
2. Las fuentes Bibliográficas para el cálculo de las fuentes de emisión no estaban actualizadas al año de referencia.
3. No se habían calculado los porcentajes de incertidumbre de los datos en cada uno de los alcances.
4. Se incluye en el estudio la DBO5: 13,7 mg/l (2020-I) / DBO5: <2 mg/l (2020-II). Se realiza el cálculo del CO₂ eq y se reporta en la calculadora se revisa y ajusta para 2019.
5. Se realizó la estandarización de la información por tipo de equipo en la tabla de registro de consumo de combustible, precisando las cantidades reportadas por Almacén – PSP en 2020 con relación a lo reportado en la calculadora de la HC e informe. Se realizó la gestión también para el año 2019. En la categorización se incluyó equipos de carga, equipos de iluminación, motobombas, vehículos, entre otros.
6. Se revisó el UPME 2019 V5 y otras fuentes de consulta que permitió el ajuste de los factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono de los años 2019 y 2020. Este ejercicio se validó para todos los factores de emisión usados en el cálculo de emisiones.
7. Se realizó un pronóstico estadístico basado en la Suavización Exponencial Simple con el objeto de obtener el dato de combustible consumido de enero a junio de 2019, en donde se calculó el Error Cuadrático Medio, el cual se disminuye al tomar el valor del mes anterior, arrojando como dato objeto de inclusión en el consumo de combustible por parte de un tercero 4568,33 galones de diésel.
8. Se realizó el cálculo del 10% de biomasa encontrada en el combustible Diesel usado en el terminal.
9. Se realiza el cálculo en la incertidumbre de los datos teniendo en cuenta cada uno de los alcances evaluados y los gases emitidos en cada uno de ellos.

Detalle de las Emisiones GEI (CO₂, CH₄, N₂O, Hfcs, Pfcs, SF₆) de los factores de emisión 2019

Se relacionan cada uno de los GEI que están presentes en las emisiones del alcance I para el año 2019 de acuerdo con lo que solicita la metodología del GHG Protocol, en la Tabla 11 se detalla el resultado de cada Gas Efecto Invernadero relacionado con el factor de emisión. Estos cálculos son realizados por el autor.

Tabla 11

Emisiones GEI en Toneladas métricas del Alcance I 2019

CONSUMO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDOS - FUENTES MÓVILES		
EMISIONES CO ₂		
Factor de Emisión	EMISIONES CO ₂ (tCO ₂)	EMISIONES CO ₂ eq (tCO ₂ eq)
10,15	1079,45	1079,45
EMISIONES CH ₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
0,00004	0,0043	0,12
EMISIONES N ₂ O		
Emisiones N ₂ O	EMISIONES N ₂ O (tN ₂ O)	EMISIONES N ₂ O (tCO ₂ eq)
0,00004	0,0043	1,162
REFRIGERANTES		
EMISIONES HFC		
Factor de Emisión	EMISIONES HFC (tCO ₂ eq)	EMISIONES HFC (tCO ₂ eq)
2235	202,76	5109531,84
EMISIONES DBO		
EMISIONES CH ₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
0,00054	0,000091	0,00254
EMISIONES ACETILENO		
EMISIONES CH ₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
3,38	0,047	0,047

Fuente: elaboración propia (2022).

CONSUMO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDOS - FUENTES MÓVILES

EMISIONES CO₂		
Factor de Emisión	EMISIONES CO ₂ (tCO ₂)	EMISIONES CO ₂ eq (tCO ₂ eq)
10,149	1079,45	1079,45
EMISIONES CH₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
0,00004	0,00425	0,1187
EMISIONES N₂O		
Factor de Emisión	EMISIONES N ₂ O (tN ₂ O)	EMISIONES N ₂ O (tCO ₂ eq)
0,00004	0,00399	1,0879
REFRIGERANTES		
EMISIONES HFC		
Factor de Emisión	EMISIONES HFC (tCO ₂ eq)	EMISIONES HFC (tCO ₂ eq)
2235	106,74	2689938,72
EMISIONES DBO		
EMISIONES CH₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
0,00054	0,000043	0,00121
EMISIONES ACETILENO		
EMISIONES CH₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
3,38	0,101400	0,101400

Fuente: elaboración propia (2022).

Emisiones GEI (CO₂, CH₄, N₂O, Hfcs, Pfcs, SF₆) de los factores de emisión 2020 –**Alcance I**

Se relacionan cada uno de los GEI que están presentes en las emisiones del alcance I para el año 2020 de acuerdo con lo que solicita la metodología del GHG Protocol, en la Tabla

12 se detalla el resultado de cada Gas Efecto Invernadero relacionado con el factor de emisión.

Tabla 12

Emisiones GEI en Toneladas métricas del Alcance I 2020

CONSUMO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDOS - FUENTES MÓVILES		
EMISIONES CO₂		
Factor de Emisión	EMISIONES CO ₂ (tCO ₂)	EMISIONES CO ₂ eq (tCO ₂ eq)
10,149	1011,18	1011,177
EMISIONES CH₄		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
0,00004	0,0039	0,1112
EMISIONES N₂O		
Factor de Emisión	EMISIONES N ₂ O (tN ₂ O)	EMISIONES N ₂ O (tCO ₂ eq)
0,00004	0,00398	1,088
REFRIGERANTES		
EMISIONES HFC		
Factor de Emisión	EMISIONES HFC (tCO ₂ eq)	EMISIONES HFC (tCO ₂ eq)
2235	106,74	2689938,72
EMISIONES DBO		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
0,00054	0,000043	0,00121
EMISIONES ACETILENO		

EMISIONES CO ₂		
Factor de Emisión	EMISIONES CH ₄ (tCH ₄)	EMISIONES CH ₄ (tCO ₂ eq)
3,38	0,101400	0,101400

Fuente: elaboración propia (2022).

Factores de Emisión Utilizados para el Cálculo de las Emisiones y sus Fuentes

En la Tabla 13 se relacionan los factores de emisión (FE) utilizados para cada una de las categorías y combustibles utilizados para la cuantificación de emisiones. Los factores de emisión.

Tabla 13

Factores de Emisión empleados en el inventario de GEI

Categoría	Descripción	UM	Factor de emisión	Referencia
combustión Fija	Plantas Eléctricas (Grupos electrógenos)	Kg CO ₂ eq/gal	10,149	(UPME), 2022)
Combustión Fija	Uso de Acetileno	Kg CO ₂ eq	3,38	(Acueducto agua, 2018)
Combustión móvil	Motores de Vehículos Diesel y gasolina	Kg CO ₂ eq/gal	10,149 Diesel; 8,8085 Gasolina; 6,8823 Biocombustible	(UPME), 2022)
Emisiones Fugitivas	Equipos de Climatización Aires Acondicionados	PCG	2,0888	(Arrieta Torres, Trujillo Padilla, & Arrieta

Categoría	Descripción	UM	Factor de emisión	Referencia
				Almarino, 2018)
Descomposición de Materia Orgánica	tratamiento de Aguas Residuales	kgCO ₂ /persona	73	(CAR, CAEM, & Cámara de Comercio de Bogotá, 2013) (Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Metereologico Nacional , 2020)
Descomposición de Materia Orgánica	Compostaje	g CH ₄ /Kg de desecho	4	
Combustión móvil	Vehículos concesionados para Administrativos	Kg CO ₂ eq/gal	10,149 Diesel; 8,8085 Gasolina; 6,8823 Biocombustible	(UPME), 2022)
Indirecta	Energía de paneles solares	tonCO ₂ eq/MWh	0.591	(UPME, 2020)
Indirecta	Consumo de energía eléctrica	tonCO ₂ eq/MWh	0,166	(UPME, 2020)
Combustión Móvil	Viajes Internacionales y nacionales	ICAO	ICAO	(Environment, 2022)
Combustión Móvil	Ruta administrativa	Kg CO ₂ eq/gal	10,149	(UPME), 2022) (Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Metereologico Nacional , 2020)
Descomposición Materia Orgánica	Gestión de Residuos Sólidos Generados	Kg CH ₄ /kg desecho	0,0581	
Aprovechamiento de residuos solidos	Cartón (Kg)/ Cartón	Tn CO ₂ /Tn material	3,43	(Binacional, 1996)

Categoría	Descripción	UM	Factor de emisión	Referencia
Aprovechamiento de residuos solidos	Plástico (Kg)	Tn CO ₂ /Tn material	1,64	(Binacional, 1996)
Aprovechamiento de residuos solidos	Plástico (Kg) - GRAN VOLUMEN	Tn CO ₂ /Tn material	1,862	(Binacional, 1996)
Aprovechamiento de residuos solidos	Big Bags (Kg)	Tn CO ₂ /Tn material	0,16	(Binacional, 1996)
Aprovechamiento de residuos solidos	Bolsas cemento	Tn CO ₂ /Tn material	0,0003	(Binacional, 1996)
Descomposición Materia Orgánica	CHATARRA	Tn CO ₂ /Tn material	0,97	(Binacional, 1996)
Descomposición Materia Orgánica	MADERA	Tn CO ₂ /Tn material	1,15	(Binacional, 1996)

Fuente: elaboración propia (2022).

Tabla 14

Comparación resultados HC Terminales

Terminal	Huella de Carbono	Fecha de medición	Observaciones
<i>Palermo Sociedad Portuaria - Barranquilla</i> (Ferreira & Tarazona, 2017)	2181	2019	
Puerto de Santa Marta	6,773	2011	
Puerto de Oslo – Noruega (Oslo, 2008)	1,346	2008	No incluye de residuos generados en las actividades
Puerto de Olympia – Washington (Olympia, 2018)	1,239	2017	No incluye huella de residuos generados en las actividades
Puerto de Rotterdam – Países Bajos. (Rotterdam, 2018)	33,1	2019	

Puerto de España (Sostenible, 2008)	33,408	2008
--	--------	------

Fuente: elaboración propia (2022).

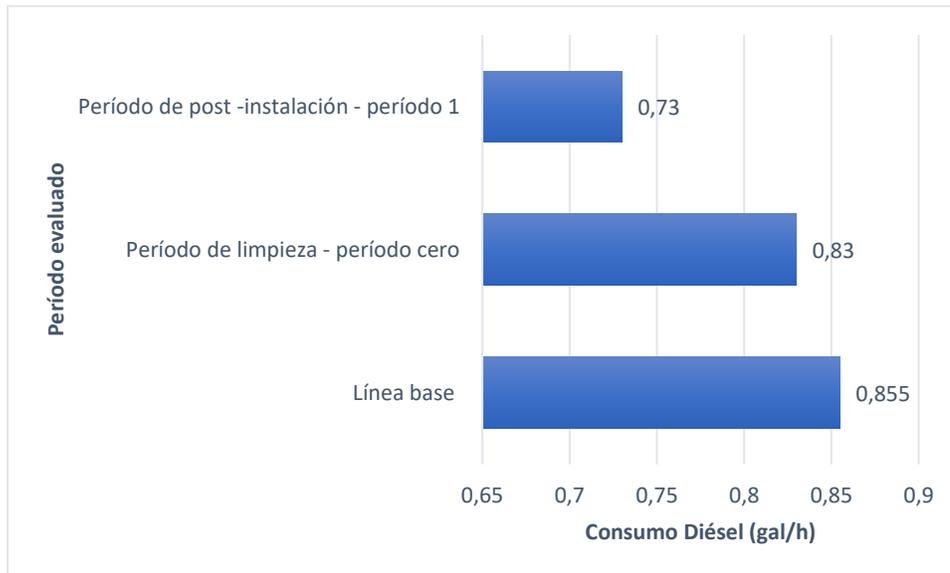
Practiclas Sostenibles Implementas en Palermo Sociedad Portuaria

Implementación de Tecnología de reducción de consumo de combustible en equipos de la operación Portuaria

Para la implementación de la tecnología se desarrolló un primer periodo de prueba al que de acuerdo con la metodología se le llamo línea base (período cero). Los resultados se muestran en la Figura 15.

Figura 15

Períodos de Trabajo



Se realiza el seguimiento en un total de 5 períodos, con una disminución acumulada de 1,6295677 tonCO₂eq. En la Tabla 15 se muestran los resultados.

Tabla 15*Proyecciones emisiones mitigadas/ año*

PERÍODO	Horas/ periodo	Consumo combustible de línea base	Ton CO2 generadas netas	Consumo combustible post instalación	Galones de combustible ahorrados	Ton CO2 post instalación	Ton CO2 post instalación
Periodo 0	185,22	158,44	1,47	0,00	0	1,47	0,000
Periodo 1	192,79	164,91	1,53	143,79	21,12	1,33	0,210
Periodo 2	198,08	169,43	1,57	144,73	24,71	1,34	0,246
Periodo 3	354,5	303,23	2,81	264,28	38,96	2,45	0,388
Periodo 4	278,21	237,98	2,20	209,41	28,57	1,94	0,284
Periodo 5	429,84	367,68	3,40	317,24	50,44	2,94	0,502
Total	1638,64	1401,67	12,98	1079,44	163,8	11,46	1,630

Fuente: elaboración propia (2022).

Compostaje de Material generado de las operaciones

La Figura 16 muestra la mezcla de los residuos para el proceso de compostaje.

Figura 16

Material mezclado para el compostaje.



Fuente: elaboración propia (2022).

Comportamiento del material en la primera semana

Características físicas: Se observa que lo único que resalta son las toallas, ya que el resto de los residuos se mezclaron de manera uniforme durante una hora para alcanzar la mayor uniformidad. En la Figura 17 se muestra la toma de la medición del pH para la primera semana del material en proceso de compostaje.

Figura 17

Medición de pH del material mezclado.



Fuente: elaboración propia (2022).

Después del seguimiento y monitoreo realizado se obtuvieron un total de 247,5 kg de residuos a ser compostados (Tabla 16).

Tabla 16

Total de residuos mezclados en el final del composte.

Componentes	Cantidad Kg
Residuos Sedimentadores	80
Residuos pulpa de café (neutralizador de pH)	68
Toallas desechables	18.5
Residuos orgánicos de cafetería	48.5
Poda orgánica	32.5
Total	247,5

Fuente: elaboración propia (2022).

Características Químicas: En la primera toma de pH se observa que estuvo un poco elevado (8.58), por lo cual se concluye que la caracterización está ligeramente alcalina.

Después se procede a cubrirlo con plástico para alcanzar mayor calor, esto para mejor y mayor degradación de los componentes (Figura 18).

Figura 18

Material cubierto.



Fuente: elaboración propia (2022).

Comportamiento del material en la segunda semana

Al transcurrir una semana se procede a destaparlo para observar sus avances físicos y químicos (Figura 19).

Figura 19

Estado del material segunda semana.



Fuente: elaboración propia (2022).

Comportamiento en la Tercera Semana

Después de una semana se realiza el mezclado de manera mecánica, es decir por medio de volteo. Al exponer el material a la luz solar y humectación diaria se obtuvo el siguiente resultado físicos y químico como se observa en la Figura 20:

Figura 20

Estado del material tercera semana.



Fuente: elaboración propia (2022).

Observaciones físicas: Se observa una disminución de tonalidad de color (un color más café), su densidad era más alta y los microorganismos aumentaron su tamaño.

Observaciones químicas: El pH baja un poco, pero sigue dentro del rango para uso agrícola, un pH por valor de 6.26.

Comportamiento en la Cuarta Semana

En las Figuras 21 y 22 se observan los cambios del material:

Figura 21

Estado del material cuarta semana.



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 22

Estado del material cuarta semana.



Fuente: elaboración propia (2022).

Observaciones físicas: En esta semana se observa que el material recuperó la tonalidad oscura, su estado es menos denso y ya no se observaban microorganismos.

Observaciones químicas: El pH sigue estable con un resultado de 6.29.

Comportamiento en la Quinta y Sexta Semana

En las Figuras 23 y 24 se observa el resultado final del material compostado.

Figura 23

Estado del material quinta y sexta semana.



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 24

Estado del material quinta y sexta semana.



Fuente: elaboración propia (2022).

Observaciones físicas: En las dos últimas semanas se le vuelve a realizar mezclado de manera mecánica, y la humectación dos veces por día, para mejor degradación de los componentes, el material está completamente degradado, con buena tonalidad y apariencia.

Observaciones químicas: El pH llegó a neutralidad total (7.04).

Investigación experimental basada en la aplicación del polvo de roca dacita

Composición elemental óxidos simples del polvo de roca dacita

La Tabla 17 presenta los resultados obtenidos del análisis por FRX.

Tabla 17

Resultados de la lectura de la muestra de polvo de roca dacita

Fórmula	Contenido	Fórmula	Contenido
SiO ₂	64,38%	TiO ₂	0,54%
Al ₂ O ₃	18,79%	P ₂ O ₅	0,13%
Fe ₂ O ₃	4,11%	BaO	0,10%
K ₂ O	3,88%	MnO	0,09%
Na ₂ O	3,70%	Cl	0,06%
MgO	2,10%	ZrO ₂	0,06%
CaO	1,86%		

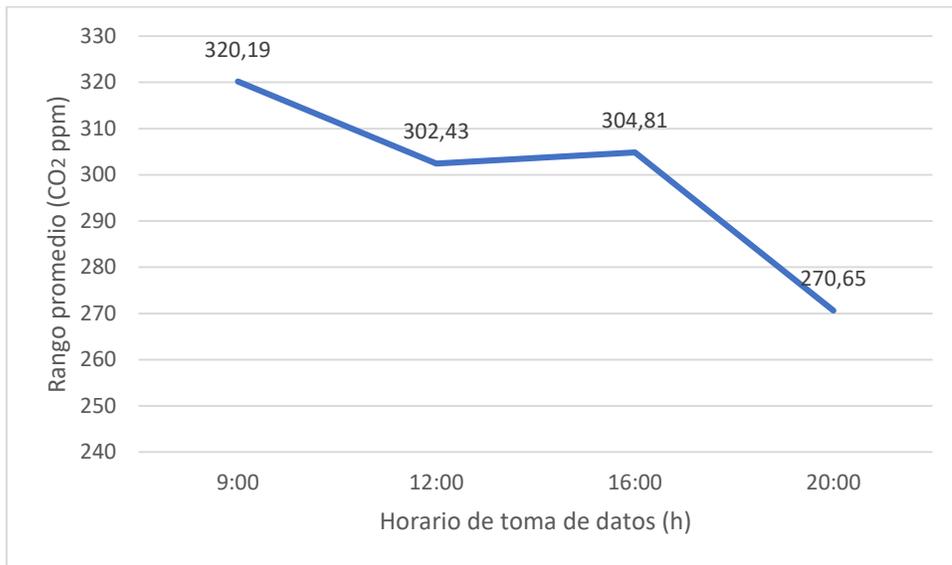
Fuente: elaboración propia (2022).

Resultados de las comparaciones globales de los datos de secuestro de CO₂

Como se detalla en la Figura 25 y Figura 26, los niveles de CO₂ en la parte interna del vivero a las 20:00 son estadísticamente diferentes a los del grupo horario de 09:00 a 16:00 por lo que, en este horario, el análisis se realiza de manera independiente.

Figura 25

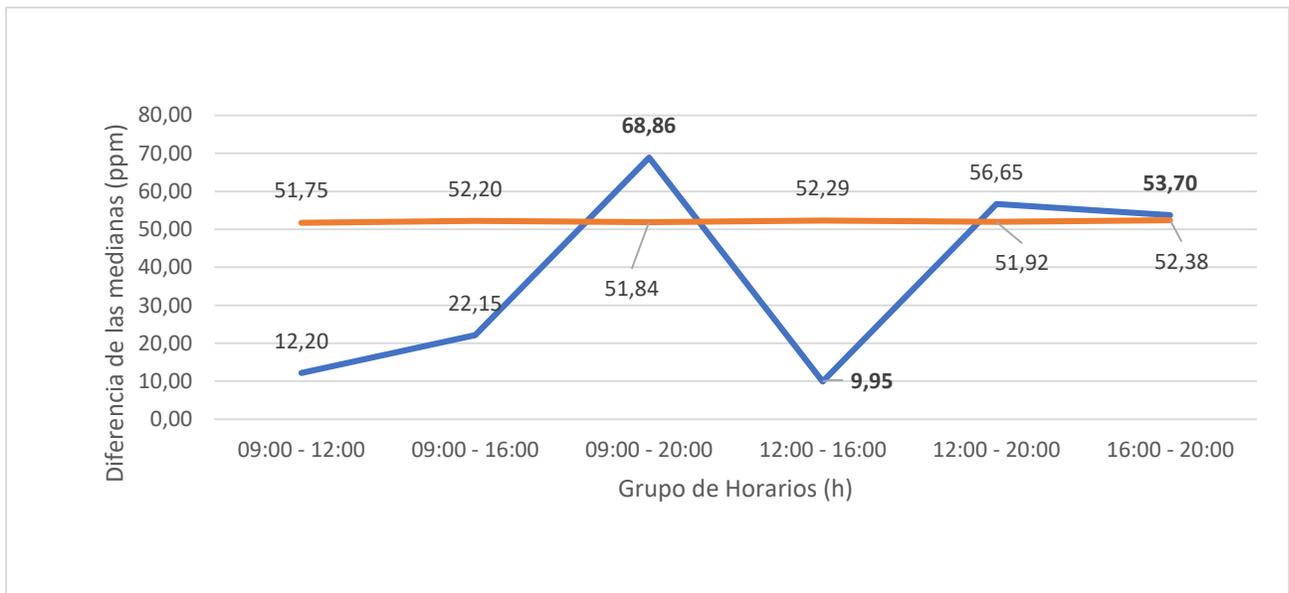
Mediciones de CO₂ parte interna del Vivero – Medianas



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 26

Diferencia de medianas de las mediciones de CO₂ parte interna del vivero

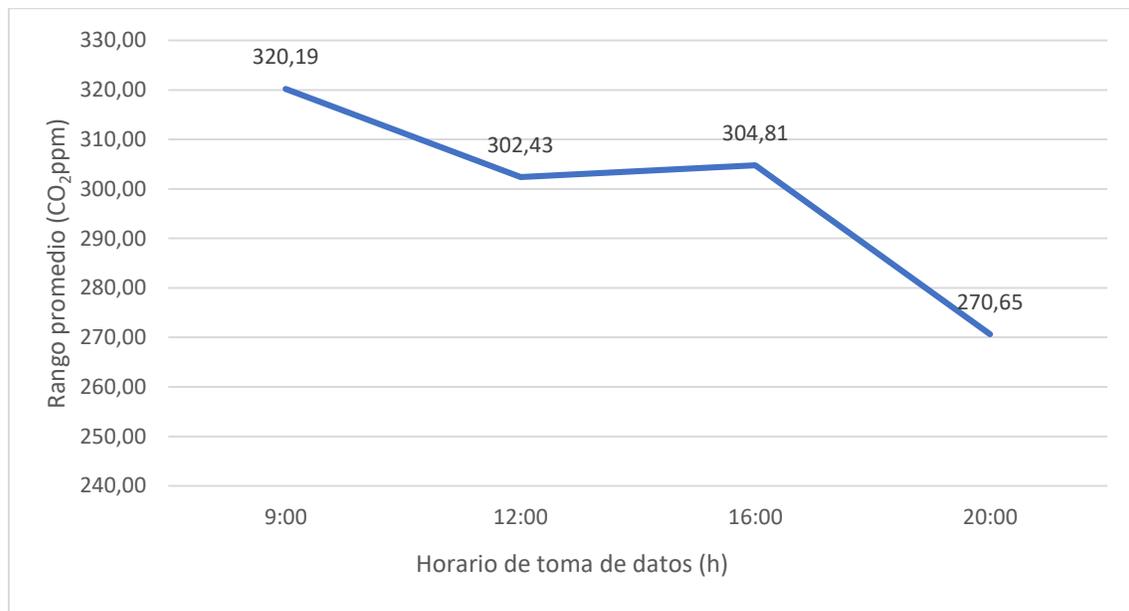


Fuente: elaboración propia (2022).

En la Figura 27 y la Figura 28 se muestran los niveles de CO₂ en la parte externa del vivero en los cuatro grupos horarios de estudio no son estadísticamente diferentes.

Figura 27

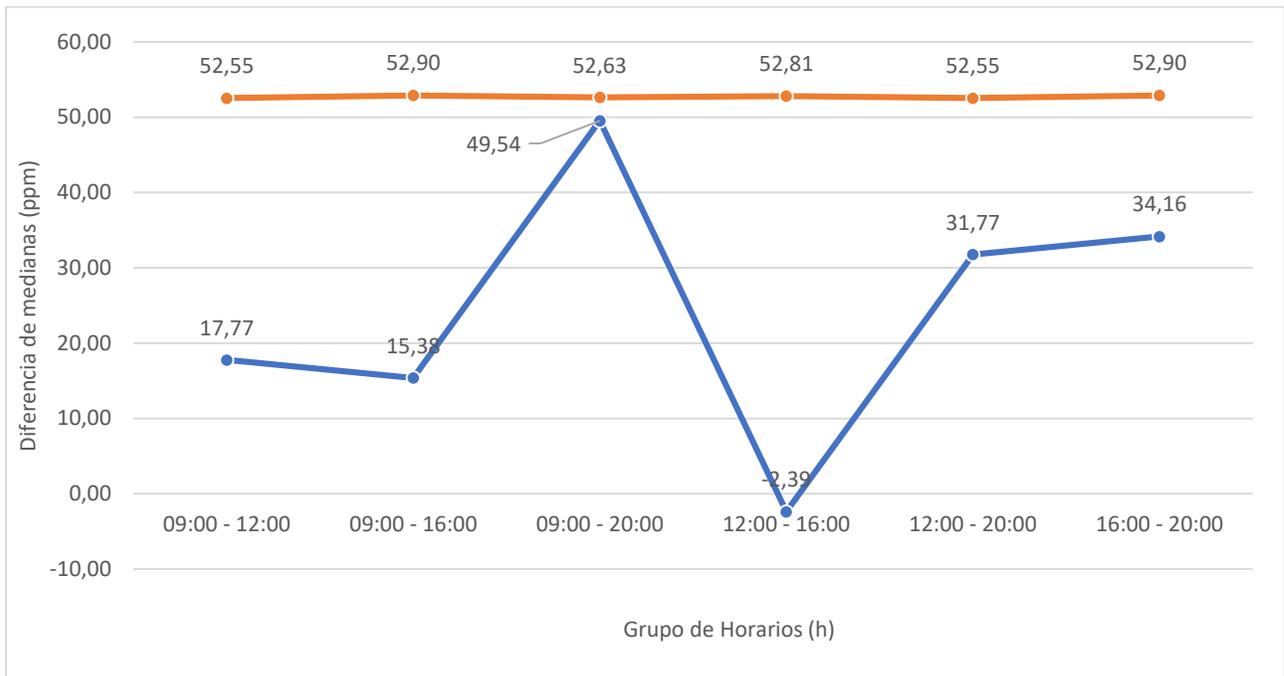
Mediciones de CO₂ parte externa del Vivero - Medianas



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 28

Diferencia de medianas de las mediciones de CO₂ parte externa del vivero



Fuente: elaboración propia (2022).

Tal como se detalla en la Figura 29 y Figura 30, los niveles de CO₂ en el patio 6, la parte externa del vivero en los cuatro grupos horarios de estudio no son estadísticamente diferentes.

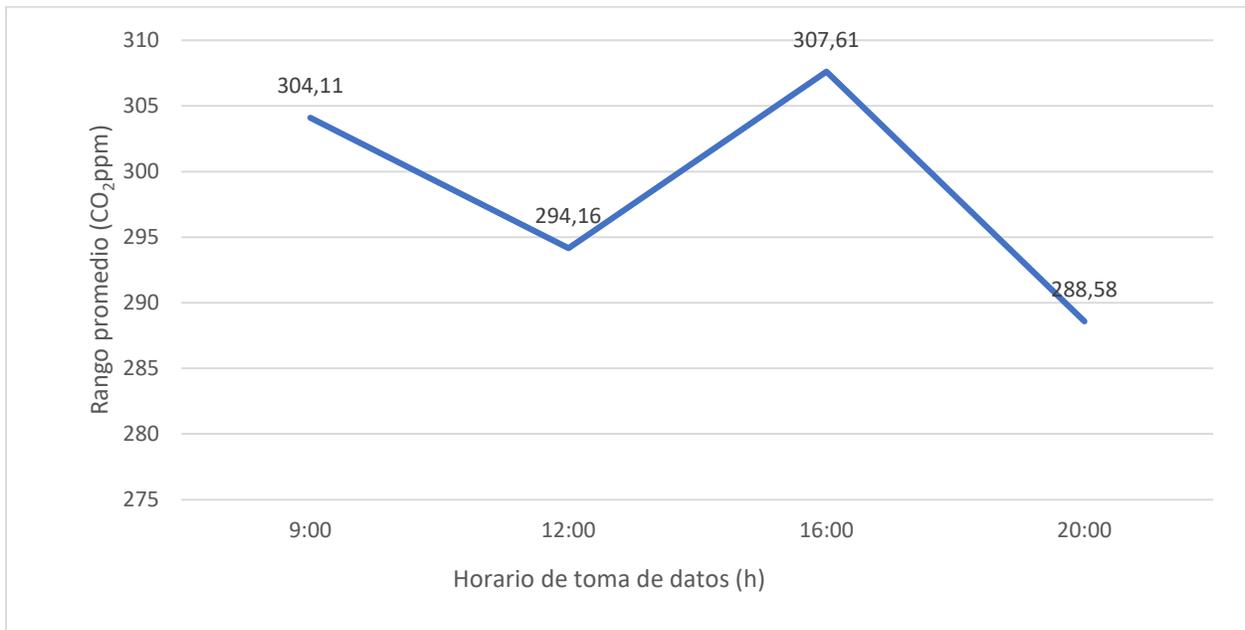
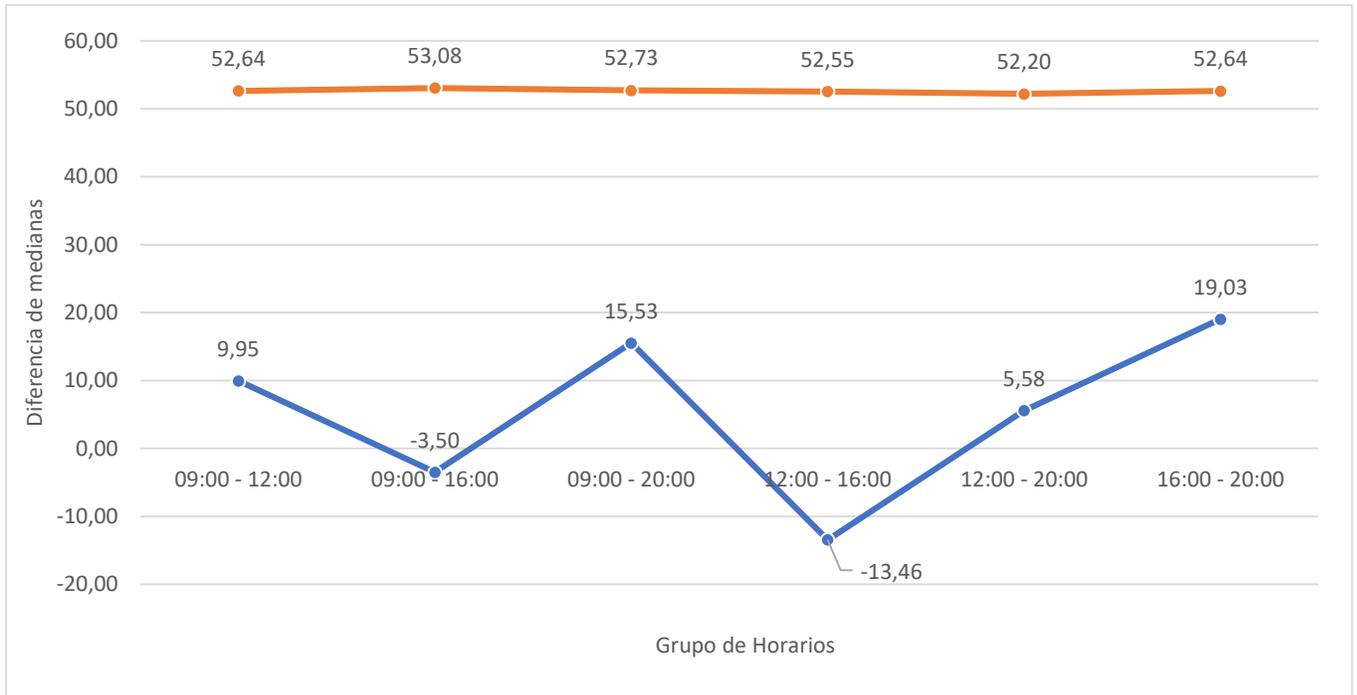
Figura 29*Mediciones de CO₂ patio 6 – Medianas.**Fuente:* elaboración propia (2022).

Figura 30

Diferencia de medianas de las mediciones de CO₂ patio 6.

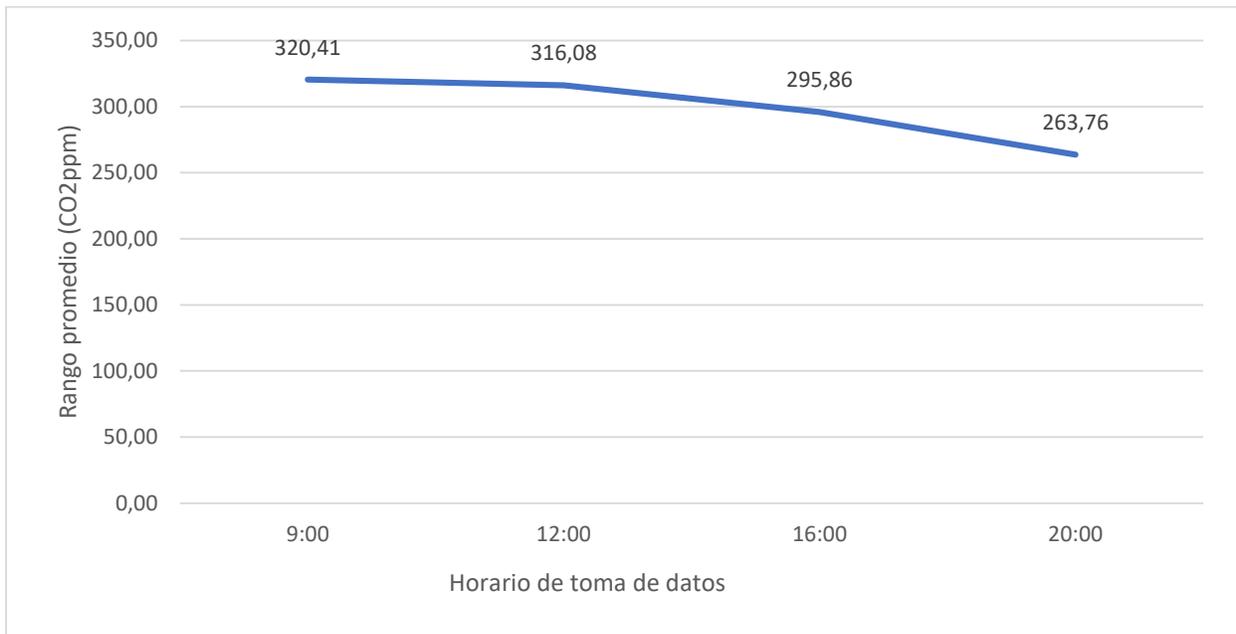


Fuente: elaboración propia (2022).

En la Figura 30 y Figura 31 se muestran los niveles de CO₂ en la vía principal a las 20:00 son estadísticamente diferentes a los del grupo horario de 09:00 a 16:00 por lo que estos en el análisis se realiza de manera independiente en estos dos rangos horarios.

Figura 31

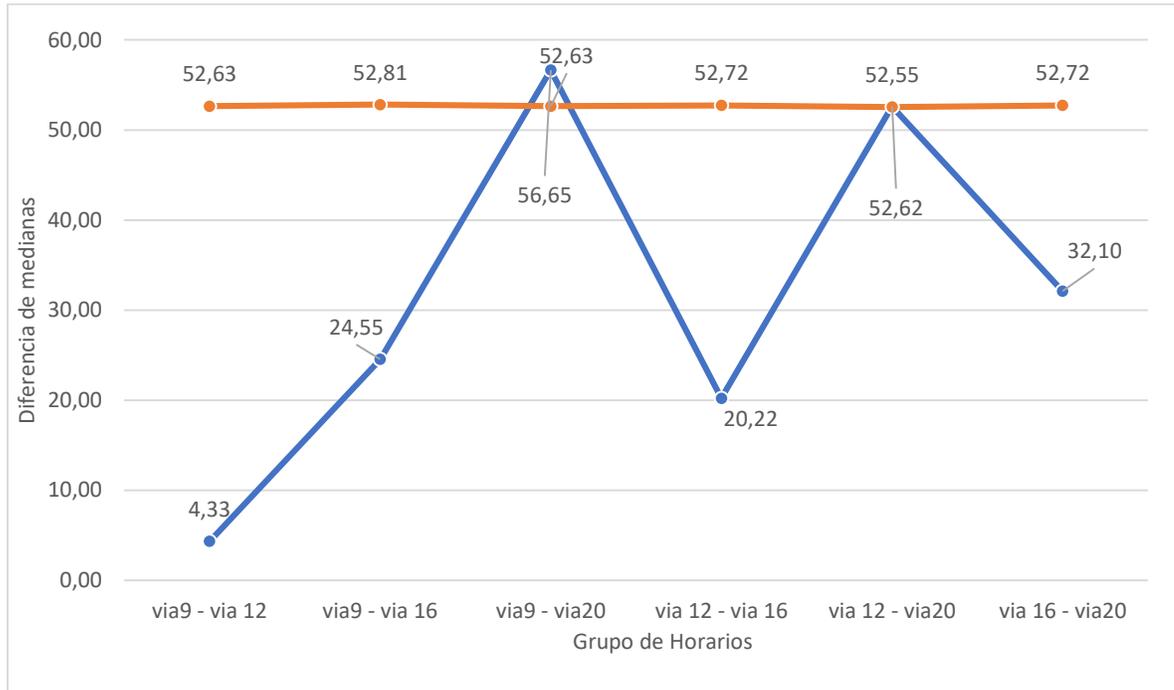
Mediciones de CO₂ vía principal – Medianas.



Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 32

Diferencia de medianas de las mediciones de CO₂ vía principal

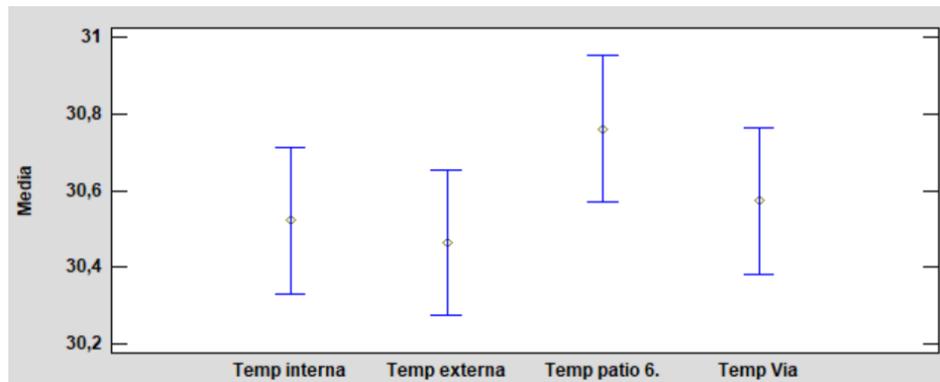


Fuente: elaboración propia (2022).

Con relación a la temperatura en cada una de las mediciones, no existe diferencia significativa entre las mediciones en los 4 puntos tal como se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Medias de la temperatura en los diferentes puntos de medición



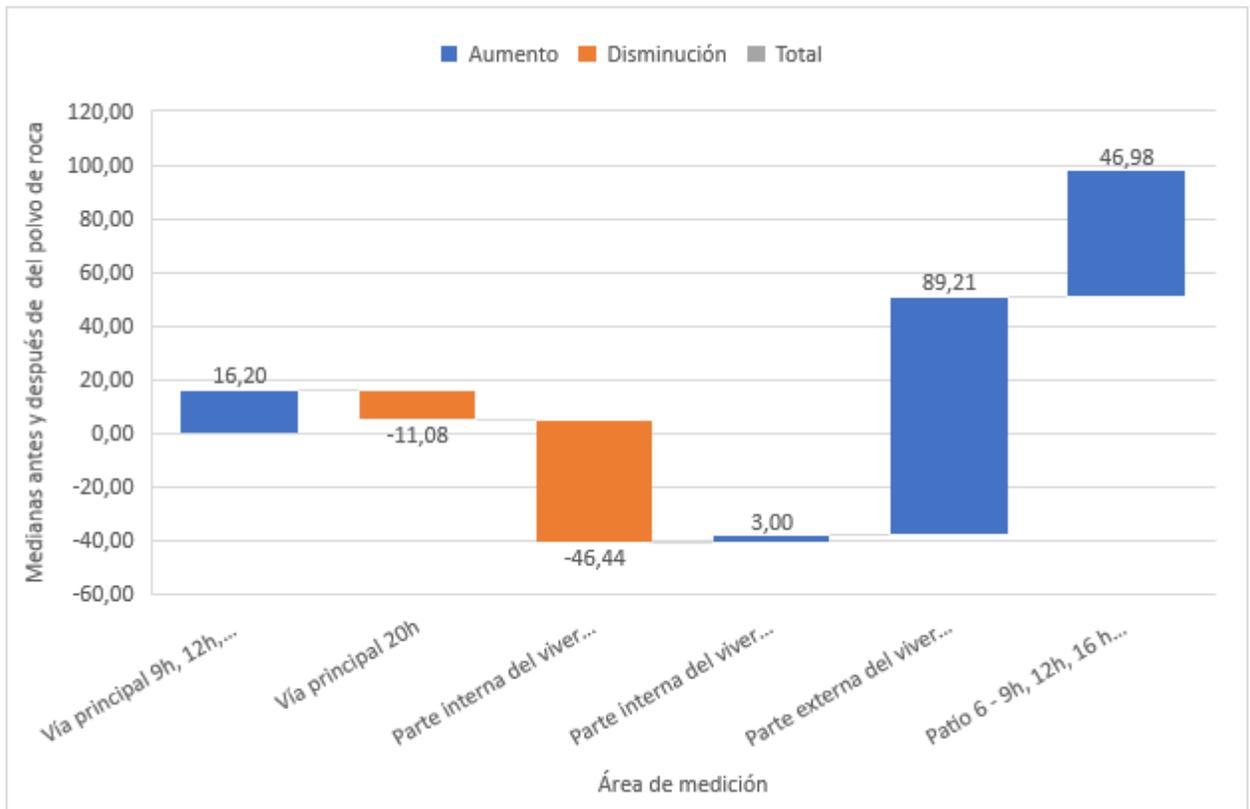
Fuente: software Minitap (2022).

Análisis de resultados antes y después de la aplicación del polvo de roca:

Tal como se muestra en la Figura 34, la diferencia entre las medianas antes y después de la aplicación de la Roca muestran cambios significativos para las dos áreas de las 4 analizadas.

Figura 34

Diferencia de medianas antes y después de la aplicación del polvo de roca



Fuente: elaboración propia (2022)

En las horas de medición de 9h, 12h y 16h en la parte interna del vivero, la diferencia de las medianas es de 46,43 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario es menor después de la aplicación del polvo de roca.

En el rango horario de las 20h, en la parte interna del vivero, la diferencia de las medianas es de 2,9 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario no presentó cambios después de la aplicación del polvo de roca.

En las horas de medición de 9h, 12h, 16h y las 20h en la parte externa del vivero, la diferencia de las medianas es de 89,20 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario es menor después de la aplicación del polvo de roca.

En las horas de medición de 9h, 12h, 16h y las 20h en el patio 6, la diferencia de las medianas es de 46,9 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario es menor después de la aplicación del polvo de roca.

En las horas de medición de 9h, 12h y 16h en la vía principal, la diferencia de las medianas es de 16,1 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario no presentó cambios después de la aplicación del polvo de roca.

En el rango horario de las 20h, en la vía principal, la diferencia de las medianas es menor a cero (0) lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario no presentó cambios después de la aplicación del polvo de roca.

En la Tabla 18 se presentan los datos pronósticos de la parte interna del vivero en los horarios de 9 y 16h.

Tabla 18*Secuencia de datos pronóstico parte interna del vivero 9-16h*

<i>Periodo</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Límite en 95% Inferior</i>	<i>Límite en 95% Superior</i>
28/09/22	600,542	-534,239	1735,32
29/09/22	643,357	-644,286	1931,0
30/09/22	666,317	-662,031	1994,66
1/10/22	678,628	-661,195	2018,45
2/10/22	685,23	-657,874	2028,34
3/10/22	688,771	-655,276	2032,82
4/10/22	690,669	-653,649	2034,99
5/10/22	691,687	-652,708	2036,08
6/10/22	692,233	-652,185	2036,65
7/10/22	692,526	-651,899	2036,95
8/10/22	692,683	-651,743	2037,11
9/10/22	692,767	-651,66	2037,19
10/10/22	692,812	-651,615	2037,24
11/10/22	692,836	-651,591	2037,26
12/10/22	692,849	-651,578	2037,28
13/10/22	692,856	-651,571	2037,28
14/10/22	692,86	-651,567	2037,29
15/10/22	692,862	-651,565	2037,29
16/10/22	692,863	-651,564	2037,29
17/10/22	692,864	-651,563	2037,29
18/10/22	692,864	-651,563	2037,29
19/10/22	692,864	-651,563	2037,29
20/10/22	692,864	-651,563	2037,29

Fuente: elaboración propia (2022).

En resumen, con la colocación de polvo de roca como absorbedor directo de CO₂ descrito en la investigación por (Kelland et al., 2020), desde el mes de Junio en cuatro áreas del terminal en rangos horarios (9h, 12h y 16h y 20h) se obtienen los resultados para los periodos de medición de las 9h, 12h y 16h, logra una disminución de los niveles de CO₂, en la parte interna del vivero, la diferencia de las medianas es de 46,43 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario es menor después de la aplicación del polvo de roca.

Además, se generaron cambios en las horas de medición de 9h, 12h, 16h y las 20h en la parte externa del vivero, la diferencia de las medianas es de 89,20 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario es menor después de la aplicación del polvo de roca. Adicional en las horas de medición de 9h, 12h, 16h y las 20h en el patio 6, la diferencia de las medianas es de 46,9 lo que permite inferir que la medición de CO₂ en este rango horario es menor después de la aplicación del polvo de roca. Aunque esta investigación es a largo plazo, se puede inferir que la disminución de CO₂ es significativa para la cantidad de producto (polvo de roca) esparcida en las áreas.

Certificación Ecoport

Como resultado de esta investigación la empresa realizó la postulación a la certificación de Ecoport y realizó el plan de acción para lograr la certificación en el año 2023. Este plan de acción permitió generar los espacios de planeación de recursos para el desarrollo de nuevas estrategias de trabajo. Al finalizar esta investigación la empresa podrá lograr postularse para la obtención de la certificación ECOPORT.

En la Figura 33 se muestra el resultado del diagnóstico realizado el 25 de agosto de 2021.

Figura 33*Resultados diagnóstico ECOPORT 2021*

Fuente: adaptada de Ecoport (2022).

De acuerdo con la metodología el marco de cumplimiento es:

1% - 80% = básico

81% - 90% = Intermedio

91% - 100% = Avanzado

De acuerdo con el resultado, la empresa se encuentra en un marco de cumplimiento básico.

Discusiones de los Resultados***Inventario de GEI y Cálculo de Emisiones Año Base -2019***

El 59,39% de las emisiones de GEI expresadas en tonCO₂eq equivalente corresponden a emisiones de alcance I, es decir que aproximadamente 1,2 toneladas corresponden a emisiones de generadas por actividades propias de PSP. El 14,34% corresponden a GEI de alcance 2, es decir un poco menos media (½) tonelada de CO₂ equivalente es generada por el

consumo de energía eléctrica y el otro 26,2 % es decir 572,9 toneladas de CO₂eq corresponden al alcance 3 (Tabla 10).

Las Emisiones Directas de GEI, relacionadas con el alcance 1 corresponden con las emisiones derivadas de los consumos de combustible de todos los equipos de carga, grúas, montacargas frontales, *Reach Steaker*, Grúas de gran tamaño, tractocamiones, las emisiones relacionadas con el consumo de gases (acetileno) para las operaciones de soldaduras y refrigerantes.

Palermo Sociedad Portuaria durante el año de referencia del presente inventario, emitió directamente 2181,18 toneladas de CO₂eq; de las cuales el 73% es decir 1608 toneladas son emitidas por el consumo de Diesel en las actividades de carga, transporte interno y descargue, así como para la cogeneración de energía eléctrica. Si se compara el total de las emisiones 2181,5 tonCO₂ y se relaciona con la cantidad de carga movilizada para este mismo año se puede inferir que para 2019, PSP emitió 0,000092 tonCO₂eq por cada Tonelada de carga Movilizada. Para 2019, PSP movilizó 2.368.972 toneladas de Carga representada en Acero, Carga general (piezas de gran tamaño), Contenedores, Coque, Fertilizantes, Granel limpio, Granel líquido, Productos industriales y Tubería. De acuerdo con consumo de refrigerante 410A y acetileno, el aporte es poco significativo representando menos del 3% del total de las emisiones directas generadas (Figura 9).

En relación con el año de comparación 2020 – como se observa en la Figura 14, se presenta una disminución del 14% en las emisiones reportadas en el alcance 1, dado principalmente por la disminución en el consumo de Diesel de las plantas de energía dado por la estabilización del servicio de energía y la disminución del trabajo nocturno, así como la disminución del uso de las plantas de generación de energía para el área administrativa, el trabajo en casa de personal administrativo; el alcance 2, presenta un aumento del 12% dado por la estabilización del servicio de energía; el alcance 3, presenta un aumento del 29%

principalmente por el suministro de combustible por parte de PSP a las empresas adscritas a la operación, equipos de terceras empresas, esta actividad no se realizaba para el año base.

En relación con el alcance 1 de los años 2019 (Figura 12) y 2020 (Figura 13), se da un aumento en el consumo de combustible (diésel) de plantas, motobombas y torres de iluminación en un 35%, también se observa una disminución del 20% del consumo de combustible (diésel) de los equipos de la operación, en equivalencia por eso la HC de los dos años no presenta cambios significativos.

Para el alcance 3, los cambios más significativos se dan en un aumento en el año 2020 de consumo de combustible de equipo de terceros (equipos rentados a un proveedor y a los cuales la compañía les suministra el combustible), el aumento en un 90%, sin embargo, ese aumento se da debido a que para el año 2019, Palermo Sociedad Portuaria, no suministraba el combustible a los equipos de los terceros y no llevaba estos registros. En relación con los residuos, sí se presenta una disminución en la HC generada por los residuos, como lo son, Madera, residuos ordinarios. En este alcance se presenta un aumento total de las emisiones de un 29%, este aumento se presenta principalmente por el consumo de combustible que se reporta de los equipos de los terceros, con una emisión de 245 tonCO₂. Si se aísla el dato del consumo de combustible de terceros la huella de carbono de los dos años en el alcance 3 sería muy similar (566 tonCO₂).

En resumen, se presenta un aumento neto de 102 tonCO₂ representada en las 245 tonCO₂ del combustible suministrado a terceros por parte de la compañía y que no hicieron parte de lo calculado en el año 2019. Las 142 tonCO₂ de disminución del año 2020 en relación con el año 2019 está dada por la reducción de la cantidad de residuos generados por la actividad portuaria y la reducción del consumo de combustible de los equipos propios en un 20%.

Los resultados de la HC para los años 2019 y 2020 pueden ser comparables con los resultados de los terminales portuarios de la zona y del mundo tal como se observa en la tabla

14, aunque no se encontraron resultados recientes de los otros terminales portuarios de la zona de Barranquilla los resultados obtenidos muestran que en comparación con el terminal de competencia cercana que es el puerto de Santa Marta, ubicado en el área de la bahía de Santa Marta, quien para el año 2020 manejó 5.632.512 toneladas e incluyeron gráneles sólidos, líquidos, carbón, general y rodada (Portuaria, 2022).

En comparación con Palermo Sociedad Portuaria -PSP quien para el año 2020 manejó 2.141.210 toneladas, con aproximadamente la mitad del manejo de carga del Puerto de Santa Marta, los resultados de la huella de carbono está dentro de los promedios de este tipo de terminales. Los otros puertos listados en la tabla son puertos de gran tamaño quienes ya tienen estrategias de mitigación en desarrollo como el puerto de Rotterdam (Rotterdam, 2018).

Prácticas Sostenibles Implementadas en Palermo Sociedad Portuaria

Implementación de Tecnología de reducción de consumo de combustible en equipos de la operación Portuaria

Esta tecnología es una marca registrada y el terminal fue tomado como prueba piloto para el desarrollo de la metodología. Obteniendo resultados satisfactorios para los objetivos de la compañía (i) disminución de consumo de combustible (ii) disminución de emisiones de GEI, Si la empresa decide implementar esta tecnología a los 11 equipos que tiene en su flota puede disminuir su HC en 22 tonCO₂ que representa un 3% del total de la HC de la empresa. El costo asociado a esta tecnología está alrededor de 9.000 euros.

Compostaje de Material generado de las operaciones

De acuerdo con lo observado en la Figura 20, en esta prueba se observa que la degradación de toallas ya había iniciado satisfactoriamente, también se observan microorganismos que se convierte en buen indicador que permite deducir que el material está permitiendo degradación. Por último, se procede a tomar el pH y se observó que había

disminuido a (6.86), este indicador nos permitió tener un compost neutro en la primera semana y por ello se procedió a agregar más cantidad de componentes.

De acuerdo con la experimentación y lo plasmado en la investigación de Bhupendra, Yakoob, & Shah (2022) podemos evidenciar que:

Al final del ejercicio se obtienen 247 kg de Compost.

Para llegar a una neutralidad en el pH de la composta, se utilizó como componente residuo de pulpa de café el cual es un excelente neutralizador de pH, ya que es rico en nitrógeno.

La aparición de microorganismos fue debido a la gran cantidad de materia orgánica que se agregó, gracias a esto la biodegradación fue rápida y óptima (Bhupendra, et al.) 2022)

Su buena tonalidad se obtuvo gracias a las propiedades de la poda, que son residuos vegetales la cual nos aportó más nutrientes a nuestra composta.

La humectación diaria y el cubrimiento con plástico permitió que se mejoraran las condiciones a los microorganismos para su desarrollo y ellos aportaron para la degradación de los componentes.

Si la empresa incluye la práctica de compostaje dentro de su plan, puede disminuir 2tonCO₂, que corresponde a lo emitido por los residuos ordinarios generados en promedio en un año (HC año base).

Según Inacio et al. (2010) para un periodo de 10 años, las emisiones evitadas por los procesos de compostaje de residuos sólidos alcanzan las 25.007 tCO₂eq. El compostaje es una tecnología con bajos costos de inversión y mantenimiento, y además genera compost orgánico, un producto final de alta calidad para uso agrícola y con valor comercial, por ejemplo, como sustrato para plántulas de hortalizas, frutas y bosques. En la aplicación agrícola el compost orgánico recicla nutrientes y carbono al suelo (de Sousa Antunes et al., 2022).

Investigación experimental basada en la aplicación del polvo de roca dacita

Los resultados del análisis de FRX presentados en la tabla 17 permitieron identificar que la roca en estudio es dacita. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Ramos et al. (2020) que han realizado la caracterización petrográfica, mineralógica y química del mismo tipo de roca.

Esta investigación define un método para el establecimiento de una proyección o pronóstico del comportamiento de los resultados de polvo de roca, para la proyección se analizaron dos métodos (i) regresión múltiple (ii) pronóstico modelo ARIMA. Para los modelos se identificaron las variables dependientes: fecha y hora, y la variable dependiente: la medición de CO₂ por área.

La regresión múltiple no puede ser utilizada para realizar la proyección debido a que el modelo pide eliminar la hora lo que significa que la variable dependiente principal y objeto de este estudio es la comparación de los resultados en cada una de las horas. Por lo que el modelo no puede ser pronosticado por medio de una regresión múltiple.

El pronóstico ARIMA es el modelo que se define apropiado para realizar la proyección de las mediciones de CO₂, se realiza la proyección para el rango de horario de 9h a las 16h, y un análisis diferente para el horario de las 20h.

Para la proyección de las mediciones de CO₂ desde el 29 de septiembre se estima que aumentará tal como se muestra en la Tabla 18. Sin embargo, el valor tiende a estabilizarse después de los 30 días. Aunque esta estabilización de las mediciones de CO₂ en un tiempo de 45 días no se relaciona con lo mencionado por Kelland et al. (2020). Se podrá relacionar los resultados finales evaluados por Kelland et al. (2020) en relación con la estabilización en un período mayor a un año. Esta investigación sigue en el tiempo para hacer más comparables los datos de acuerdo con lo estudiado por Kelland et al. (2020).

Los minerales de rocas tienen diferentes velocidades de disolución cinética (Ramos et al., 2015, 2017; Dalmora et al., 2020b), y algunos minerales continúan disolviéndose y capturando CO₂ después del primer año de aplicación (Beerling et al., 2020). Este hecho evidencia que el polvo de dacita estudiado fue capaz de capturar CO₂ con solo 45 días un valor mínimo de 46,9 ppm y un valor máximo de 89,20 ppm, después de su aplicación. Y es de esperar que después del primero año las tasas de secuestro de CO₂ superen los valores estimados por Kelland et al. (2020).

Para un periodo de un mes y medio de seguimiento para la medición del impacto de la aplicación del polvo de roca se obtuvo un valor máximo de disminución de 89,2 ppm que significa 0,000089 tonCO₂. Las tasas de secuestro de CO₂ a través de la meteorización de la roca dacita en el área de estudio son comparables con los estudios de Kelland et al. (2020) en el que los suelos fueron modificados con basalto molido. Las tasas de aplicación, los tipos de roca, los regímenes de riego y la duración del experimento contribuyen a las diferencias en el CO₂.

Se simuló que el secuestro total acumulativo de CO₂ por la meteorización de rocas de grano grueso alcanza ~3 t CO₂/ha en 2 años, y continúa aumentando hacia un máximo de ~4 t CO₂/ha después de 5 años (Kelland et al., 2020).

En resumen, en la tabla 19 se detallan las prácticas sostenibles a implementar por Palermo Sociedad Portuaria.

Tabla 19*Resumen de las medidas de reducción de GEI para Palermo Sociedad Portuaria*

Prácticas Sostenibles	Alcance de la Huella de carbono a la que tributa	Descripción
Programa basura cero: aprovechamiento del total de los residuos orgánicos e inorgánicos generador por la terminal, el aprovechamiento será vía compostaje o vía reúso.	Alcance III	Esta práctica generará un impacto de por lo menos el 19% del alcance III el cual corresponde a un total de 0,38 megatoneladas de CO ₂ eq por año
Aplicación de polvo de roca en áreas de jardines del terminal		Esta estrategia podría reducir en 45 días 0,000089 tonCO ₂ en un área de 233m ²
Implementación de tecnologías de reducción de consumo de combustible	Alcance I	Con la implementación de tecnología al total de la flota se puede llegar a reducir un total de 2 ton año por cada equipo.
Cambio del refrigerante R-410 a CO ₂ o amoníaco	Alcance I	Se podría reducir las 0,00019 megatón
Cambio de los vehículos de la ruta administrativa a eléctricos	Alcance III	El cambio permitiría la reducción de 2,38 megatoneq
Cambio de los equipos de carga - montacargas a eléctricos	Alcance I	La matriz energética de Colombia es una de las más limpias de Latinoamérica lo que permitirá una reducción del CO ₂ eq
Medir el alcance III en su totalidad	Alcance III	Esta medición permitirá realizar un control sobre terceros y contratistas que se relacionan con la actividad portuaria. Se sugiere empezar la medición en el año 2022.
Certificación Ecoport	Alcance I	De acuerdo con los resultados de esta investigación, la empresa puede postularse a la certificación de ECOPORT

Fuente: elaboración propia (2022)

Conclusiones

Esta investigación presenta un Plan para la disminución de la huella de carbono para la empresa Palermo Sociedad Portuaria que permite la implementación de estrategias de mitigación de los gases efecto invernadero generados. Para la formulación del plan se identificaron y establecieron las fuentes de emisión y se describieron los alcances identificados por cada fuente, además de conocer las actividades operativas y administrativas propias de la empresa y el comportamiento del mercado portuario en relación con la implementación de acciones de disminución relevantes para el desarrollo dentro de otro terminal. De esta manera, y de acuerdo con la metodología, las acciones definidas y que fueron Las cuatro acciones implementadas se enuncian como, (i) implementación de una tecnología de disminución del consumo de combustible, el combustible como principal emisor de GEI en la operación del terminal, (ii) el compostaje de toallas de secado de manos, se toma este residuo por su comportamiento ascendente, en el año de la pandemia, este residuo se convirtió en uno de los de más crecimiento dentro del terminal, (iii) la colocación de polvo de roca – dacita - como absorbedor directo de CO₂ y (iv) certificación Ecoport.

En relación con la tecnología de reducción de combustible, tampoco existe información que revele que este tipo de prácticas son utilizadas en el sector portuario de Barranquilla, aunque si lo es el utilizar equipos eléctricos, no lo es la reducción de emisiones por medio de tecnología. Esta nueva tecnología permite la reducción por mes de aproximadamente 0,2 tonCO₂eq en un equipo; con esta investigación se logró que se adquiriera el equipo por parte del terminal portuario para ampliar la línea base y definir a diciembre de 2022 la contribución más precisa de la reducción de los gases efecto invernadero. Si se define instalarlo en los demás equipos, once (11) en total, el impacto de los resultados en la reducción de los gases efecto invernadero sería mayor.

En la misma línea, la colocación de polvo de roca como absorbedor directo de CO₂ y se realizaron las mediciones de CO₂ desde el mes de junio en cuatro áreas del terminal en rangos horarios definidos (9h, 12h y 16h y 20h); se obtienen reducciones en promedio de 46,43 ppm y de 89,20 pm en la parte externa del vivero y patio 6, es decir de las 4 áreas monitoreadas se presenta disminución en dos de ellas. Aunque esta investigación es a largo plazo, se puede inferir que la disminución de CO₂ es significativa para la cantidad de producto (polvo de roca) esparcida en las áreas.

Finalmente, y como resultado de esta investigación se podrá postular a la empresa Palermo Sociedad Portuaria a la certificación Ecoport como un mecanismo de gestión ante la sostenibilidad. Este estudio presenta alternativas sostenibles, viables, novedosa y de bajo costo, que pueden ser implementadas para disminuir la huella de carbono en los puertos marítimos colombianos y del mundo.

Referencias

- Acciaro , M., Ashrafi , M., Walker, T., Magnan, G., & Adams, M. (2018). *Corporate sustainability in Canadian and US maritime ports*. SCOPUS, 15.
- Arrieta Torres, P., Trujillo Padilla, J., & Arrieta Almario, Á. (2018). Análisis cuantitativo de emisiones de gases refrigerantes en el sector Los Ángeles de la ciudad de Montería. *Revista Espacios*, 39, 1-10.
- Asoportuaria. (09 de Noviembre de 2020). *Asoportuaria - Puertos unidos del Atlántico* .
Obtenido de <https://asoportuaria.com/terminales/>
- Azarkamand, S., Ferré, G., & Darbra, R. (2020). *2020 Calculating the carbon footprint in ports by using a standardized tool*. ELSEVIER, 15.
- Beerling, D., Kantzas, E., Lomas, M., Wade, P., Eufrasio, R., Renforth, P., . . . Pearce, C. (2020). Potencial for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature*, 242-247.
- Bhupendra , K., Yakoob, M., & Shah, M. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Elsevier*, 1-16.
- Binacional, L. A. (1996). *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México* (Vol. III). Sacramento: Radian Corporation.
- Azarkamand, S., Wooldridge, C., & Darbra, R. (2020). *Review of Initiatives and Methodologies to Reduce CO₂ Emissions and Climate Change Effects in Ports*. MDPI.
- CAR, CAEM, & Cámara de Comercio de Bogotá. (2013, Junio). *Guía Metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial*.
- Charles, J., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Muir, J., Pretty, J., . . . Toulmin, C. (2010). *Food security: the challenge of feeding 9 billion people*. *Science*, 812-818.

- Choi, J., Jun, W., & Lee, M.-K. (2018). *Impact of the smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis* (Vol. 118). Transportation Research, Part A: Policy and Practice.
- Cloquell Ballester, V., Lo-Iacono-Ferreira, V., Artacho-Ramírez, M., & Capuz-Rizo, S. (2020). *The Carbon Footprint of Valencia Port: A Case Study*. SCOPUS, 7.
- COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR – CPPS. (2014). *Línea base del conocimiento regional sobre las implicancias de la huella de carbono en los procesos*. Guayaquil: Serie Estudios Regionales.
- Environment, I. (2022, 03 03). *ICAO Environment*. Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Minx, J., Ferrahani, E., & Kadner, S. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2011). *Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas*. Información Tecnológica , 14.
- Ferreira , B., & Tarazona, E. (2017). *Estimación de la Huella de Carbono de la Sociedad Portuaria Regional Barranquilla utilizando la NTC-ISO14064:2006*. Barranquilla, Colombia: Universidad de la Costa.
- García Arbeláez, C., Vallejo López, G., Higgins, M. L., & Escobar, E. M. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. Cali, Colombia: WWF-Colombia.
- Hansen, J., Kharecha, P., Schuckmann, K., Beerling, D., Cao, J., & Shakun, J. (2017). *Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions*. *Earth System Dynamics*, 557-616.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Karina , v., Beerling, D., Cao, J., . . . Ruedy, R. (2017). *Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions*. *Earth Syst. Dynam*, 517-616.

- Heek, J., Arning, K., & Ziefle, M. (2017). Reduce, reuse, recycle: *Acceptance of CO₂ -utilization for plastic products*. *Energy Policy*, 105, 53-66.
- Housni, F., Maurady, A., Barnes, P., Boumane, A., & Reda Britel, M. (2021). *Indicators for monitoring and assessment of Environmental*. *EDP Sciences*, 6.
- IDEAM, MADS, PNUD, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100*. Bogotá.
- J.Flórez. (n.d.). www.uaaan.mx/jaflores/humedad/humedad/humedad.pdf.
- Kelland, M., Sarkar, B., Kemp, S., Hodson, M., Wade, P., & James, R. (2020). *Increased yield and CO₂ sequestration potential with the CO₂ cereal Sorghum bicolor cultivated in basaltic rock*. *Global Change Biology*, 19.
- Khapre, A., Jaiswal, A., Rena, R., & Kumar, S. (2020). *Utilizing the greenhouse effect as a source to produce renewable energy*. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 835-843. doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.11021-5
- Kingdom, U. (2011). *Warming: a guide to climate change*. . Exeter: Met Office Hadley Centre.
- Kumar, V., Nanda, M., JOSHI, H., Sharma, S., & VERMA, M. (2018). *Production of biodiesel and bioethanol using biomass harvested from fresh water river*. *Renewable Energy*, 116, part A, 606-612.
- Kweku, D., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K., Danso, K., Oti-Mensah, E., & Adormaa, B. (2017). *Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming*. *Journal of Scientific Research&Reports*, 17(6), 1-9. doi:10.9734/JSRR/2017/39630
- Lee, C., Park, J., & Lee, M. (2015). *Competitive adsorption in binary solution with different mole ratio of Sr and Cs by zeolite A: adsorption isotherm and kinetics*. *Journal of Environmental Science*, 151-162.
- Lee, H. (2015). *UN Paris Agreement 2015*. UNFCC Secretariat.
- Li, Z., & Cuihong, Q. (2021). *Synergistic Emission Reduction of SO₂ and CO₂*. *SCOPUS*, 15.

- Li, Z., Feng, C., & Ya, D. (2019). *Air Pollution and Control of Cargo Handling Equipments in Ports*. SCOPUS, 15.
- Lin, B., & XU, M. (2018). *Regional differences on CO2 emission efficiency in metallurgical industry of China*. *Energy Policy*. *Energy Policy*, 120, 302-311.
- Martínez Cardozo, L. (2016). *Guía de Aspectos Sostenibles para el Desarrollo de Puertos Marítimos Multimodales en Colombia, aplicación al Puerto de Buenaventura*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Ministerio de Ambiente y Energía, & Instituto Meteorológico Nacional . (2020). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*.
- MP, K. B. (2021). *Agricultural waste management strategies for environmental sustainability*. *scopus*, p. 32.
- Muñoz - Jaramillo, A., & Vaquero, J. (2018). *Visualization of the challenges and limitations of the long-term sunspot number record*. *Nature Astronomy*, 4.
- Naciones Unidas. (1995). *Protocolo de Kioto*.
- NOAA, N. O. (2016). NOAA. Recuperado el 20 de 04 de 2021, de <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>
- NOAA, N. O. (2019). NOAA. Recuperado el 20 de 04 de 2021, de <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>
- Olympia, P. o. (2018). *Port of Olimpia 2017 GHG Emissions Inventory Report*. Washington: Pionner Technologies Corporation.
- Olaff, M. (2014). Shipping Emissions in Ports. *International Transport Forum* (págs. 1-35). París: OECD.
- Organization, W. M. (2018). . INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Geneva*, 24.

- Organization, W. M. (2018). Intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers. In: Intergovernmental panel on climate change. *Geneva*, 24.
- Oslo, P. o. (2008). *CO2 Emissions for the calendar year 2008*. Noruega.
- Portuaria, P. d. (2022, Noviembre 9). *Puerto de Santa Marta*. Retrieved from <https://noticiaspuertasantamarta.com/puerto-de-santa-marta-movilizo-5-6-millones-de-toneladas-de-carga-en-2020/>
- Portuaria, P. S. (2022). *Informe de Cumplimiento Ambiental*. Palermo.
- Portuaria, P. S. (2022, 10 19). [www.palermosociedadportuaria.com/ubicacion](http://palermosociedadportuaria.com/ubicacion). Retrieved from <http://palermosociedadportuaria.com/ubicacion/>
- Ramos, C., Dos Santos de Madeiros, D., Gómez, L., Oliveira, L., Schneider, I., & Kautzmann, M. (2020). *Evaluation of soil re-mineralizer from by-product of volcanic rock mining: experimental proof using black oats and maize crop*. *Natural Resources Research*, 1583-1600.
- Rinder, T., & Von Hagke, C. (2021). *The influenc of particle size on the potencial of enhanced basalt weathering for carbon dioxide removal - Insights from a regional assessment*. *Elselvier*, 1-13.
- Rolan, A., Manteca, P., Oktar, R., & Slano, P. (2019). *Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port*. Barcelona: IEEE .
- Rosen, J. (2019, marzo 1). *Los Angeles Times*. Retrieved from <https://www.latimes.com/espanol/vidayestilo/la-es-aumenta-la-cantidad-de-metano-en-la-atmosfera-y-eso-preocupa-a-los-cientificos-20190301-story.html>
- Rotterdam, P. o. (2018, Junio 15). *Port of Rotterdam*. Retrieved from <https://www.portofrotterdam.com/en/node/9664/draft>
- Rosenweig, C., Elliot, J., Ruane, A., Muller, C., & Neumann, K. (2014). *Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison*. *National Acad Sciences*, 3628-3273.

- Salomon, S., Qin, D., & Manning, M. (2018). *Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático pero no aprobado en detalles*. IPCC.
- Sdoukopoulos, E., Boile, M., Tromaras, A., & Anastasiadis, N. (2019). *Energy Efficiency in European Ports: State-of-Practice and Insights on the Way Forward*. SCOPUS, 25.
- Sifakis, N., & Tsoutsos, T. (2020). *Planning zero-emissions ports through the nearly zero energy port concept*. ELSEVIER, 20.
- Schultheis, E. (2016, December). Contradicting settled science, Donald Trump says "nobody really knows" on climate change. *CBS News*.
- Sostenible, L. d. (2008). *9 Years of Carbon Footprint in a Spanish Port*.
- SOULTECH CO. (2022). *Informe inventario de gases de efecto invernadero (GEI) NT ISO1464-1. CALI*.
- Tajudin, M., Khan, M., Mahiyuddin, W., Latif, M., Hamid, A., Rahman, S., & Sahani, M. (2019). Risk of concentrations of major air pollutants on the prevalence of cardiovascular and respiratory diseases in urbanized area of Kuala Lumpur, Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 290-300. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.12.057
- Teerawattana, R., & Yang, Y.-C. (2018). Environmental Performance Indicators for Green Port Policy Evaluation: Case Study of Laem Chabang Port. *Elsevier*, 7.
- UNEP, U. N. (2018). *The emissions gap report 2018*. Nairobi, Kenya.: United Nations Environment Programme.
- UNFCCC, U. N. (2015). *UNFCCC*. Recuperado el 15 de 04 de 2021, de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Unidad de Coordinación del Proyecto GloMEEP, & Asociación Internacional de Puertos (IAPH). (2018). *Herramientas para las emisiones portuarias*. Londres: Prefectura Naval Argentina .

(UPME), U. d. (2022, Marzo 01). *UPME*. Retrieved from

http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

UPME, U. d. (2020, Diciembre 24). Resolución No. 000385 de 2020. Bogotá.

(UPME), U. d. (01 de Marzo de 2022). *UPME*. Obtenido de

http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

WBCSD, WRI, & SERMARNAT. (2005). *Protocolo de gases efecto invernadero*. México.

Vega, M., Bearzotti, L., Escobedo, J., & González-Ramírez, R. (2018). *Una propuesta de indicadores para el análisis de sustentabilidad en puertos*. SCOPUS, 20.

Vera, B. (2020). Análisis de los factores del cambio climático.

World Ports Climate Initiative (WPCI). (2010). *Carbon Footprinting Working Group - Guidance Document*. Los Angeles: Starcrest Consulting Group.

Xu, C., Kohler, T., Lenton, T., Svening, J., & Scheffer, M. (2020). *Future on the human climate niche*. *National Acad Sciences*, 11350-11355.

Anexos

Anexo A. Fotos

Anexo B. Análisis estadístico piedra

Anexo C. Compostaje

Anexo D. Informe CARE

Anexo E. Metodología

Anexo F. Registro de toma de datos

Anexo G. Medidor de CO₂

Anexo H. ICONTEC

Anexo I. Ecoport