

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

CARRERA DE ECONOMÍA

Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Economista

Tema:

"Optimización en las emisiones de CO_2 en la industria manufacturera del Ecuador"

Autora: Lalaleo Llundo, Dennise Pamela

Tutor: Ing. Aldás Salazar, Darwin Santiago, Mg.

Ambato – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar, Mg., con cédula de ciudadanía No. 180394776-9, en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación sobre el tema: **"OPTIMIZACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO2 EN LA INDUSTRIA DE MANUFACTURA DEL ECUADOR"**, desarrollado por Dennise Pamela Lalaleo Llundo, de la Carrera de Economía, modalidad presencial, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos, tanto técnicos como científicos y corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Graduación de Pregrado, de la Universidad Técnica de Ambato y en el normativo para presentación de Trabajos de Graduación de la Facultad de Contabilidad y Auditoría.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, agosto 2024

TUTOR



.....

Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar, Mg

C.C. 180394776-9

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Dennise Pamela Lalaleo Llundo con cédula de ciudadanía No. 185022044-1, tengo a bien indicar que los criterios emitidos en el proyecto de investigación, bajo el tema: **"OPTIMIZACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO2 EN LA INDUSTRIA DE MANUFACTURA DEL ECUADOR"**, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos, conclusiones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autora de este Proyecto de Investigación.

Ambato, agosto 2024

AUTORA



.....

Dennise Pamela Lalaleo Llundo

C.C. 185022044-1

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto de investigación, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi proyecto de investigación, con fines de difusión pública; además apruebo la reproducción de este proyecto de investigación, dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial; y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, agosto 2024

AUTORA



.....

Dennise Pamela Lalaleo Llundo

C.C. 185022044-1

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El Tribunal de Grado, aprueba el proyecto de investigación, sobre el tema: **"OPTIMIZACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO_2 EN LA INDUSTRIA DE MANUFACTURA DEL ECUADOR"**, elaborado por Dennise Pamela Lalaleo Llundo, estudiante de la Carrera de Economía, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto 2024

Dra. Tatiana Valle, Ph. D.

PRESIDENTE

Econ. Nelson Lascano, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Oscar López

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación, lo dedico de una manera muy especial a mis padres, quienes son el pilar principal que me ha impulsado a seguir adelante. Su apoyo, sus valores y consejos han sido fundamentales en mi vida, enseñándome valiosas lecciones sobre el trabajo duro y la perseverancia, entendiendo que con determinación se puede alcanzar grandes logros.

Además, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis hermanos, quienes me brindaron apoyo constante en los momentos de estrés y tristeza. Con su aliento y motivación, llenaron mi vida de alegría en esos instantes tan importantes.

Finalmente, a mi persona especial, que ha estado a mi lado en aquellos momentos de colapso. Con sus palabras motivadoras, siempre ha sabido levantarme el ánimo y alentarme a continuar persiguiendo mis objetivos, sin permitir que me rinda.

Dennise Pamela Lalaleo Llundo

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradezco a Dios por otorgarme vida, salud, sabiduría y fortaleza en cada etapa de mi vida tanto académica como personal.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, en particular a la Facultad de Contabilidad y Auditoría, por brindarme la oportunidad de vivir una experiencia académica sumamente enriquecedora. A los docentes, que forman parte de la carrera de Economía, cuya habilidad para compartir sus conocimientos y experiencias ha sido excepcional, caracterizándose por su claridad y eficiencia en cada una de las clases impartidas.

Un agradecimiento especial a mi tutor, el Ing. Darwin Aldás, y al docente el Dr. Marcelo Mantilla, por compartir sus conocimientos y ser guías durante el proceso de la elaboración de la tesis. Su contribución fue pieza fundamental para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, que, gracias a sus experiencias, apoyo y retroalimentación, he logrado ejecutar y culminar de manera eficiente cada apartado de mi proyecto de investigación.

A mis padres, quienes estuvieron siempre en cada momento de mi vida personal y académica, brindándome su apoyo incondicional y animándome a seguir adelante para cumplir con mis propósitos. También, a mis hermanos por ser una fuente constante de motivación y aliento para cumplir con mis metas.

Además, deseo manifestar mi sincero agradecimiento a las empresas objeto de estudio que colaboraron al proporcionarnos los datos necesarios para llevar a cabo el proyecto de investigación.

Por último, a mis amigas, Kathy y Cristina, quienes fueron, motivación, alegría, compañía, fidelidad, apoyo y sobre todo una amistad verdadera que siempre estuvo en momentos de tristeza, estrés y frustración, brindándome aliento y fuerzas para seguir adelante y alcanzar mis metas.

Dennise Pamela Lalaleo Llundo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CONTENIDO **PÁGINA**

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA i

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii

ÍNDICE DE TABLAS x

ÍNDICE DE FIGURAS xi

RESUMEN EJECUTIVO xii

ABSTRACT xiii

B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Descripción del problema 1

1.2 Justificación 3

1.2.1 Justificación teórica, metodológica (viabilidad) y práctica 3

1.2.2. Formulación del problema de investigación 6

1.3 Objetivos 6

1.3.1 Objetivo general 6

1.3.2 Objetivos específicos 6

CAPÍTULO II 7

MARCO TEÓRICO..... 7

2.1 Revisión de literatura 7

2.1.1 Antecedentes investigativos 7

2.1.2 Fundamentos teóricos..... 11

2.2. Hipótesis (opcional) y/o preguntas de investigación 27

CAPÍTULO III 28

METODOLOGÍA 28

3.1 Recolección de la información..... 28

3.2 Tratamiento de la información 31

3.3 Operacionalización de las variables 34

CAPÍTULO IV 39

RESULTADOS..... 39

4.1 Resultados y discusión 39

4.2 Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación 86

CAPÍTULO V..... 89

CONCLUSIONES..... 89

5.1 Conclusiones 89

5.2 Limitaciones del estudio 90

5.3 Futuras temáticas de investigación..... 90

C. MATERIAL DE REFERENCIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 92

ANEXOS..... 110

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO **PÁGINA**

Tabla No. 1 Consumo de Combustibles, lubricantes líquidos y sólidos usados en las empresas, por tipo de combustible y según uso principal del mismo. 20
Tabla No. 2 Coeficiente de conversión de los combustibles y lubricantes líquidos a kg CO_2. 22
Tabla No. 3 Variable independiente: Parámetros de optimización (Inversión, Gasto, Valor bruto Agregado). 34
Tabla No. 4 Variable dependiente: Emisiones de CO2 causado por el consumo de combustibles fósiles. 35
Tabla No. 5 Codificación del nombre de las empresas textiles, calzado y carroceras pertenecientes al sector manufacturero. 40
Tabla No. 6 Datos informativos de las empresas. 41
Tabla No. 7 Emisiones de CO_2 (en kilogramos) por tipo de combustibles sólidos y líquidos. 59
Tabla No. 8 Total de misiones de CO_2 en kg generados por el consumo de combustibles en diferentes actividades. 60
Tabla No. 9 Coeficientes del modelo 1. 62
Tabla No. 10 Coeficientes del modelo 2. 63
Tabla No. 11 Coeficientes del modelo 3. 65
Tabla No. 12 Kilogramos de CO_2 en función de la producción ($ dólares) y el tipo de combustible empleado por sector. 67
Tabla No. 13 Coeficientes del modelo 4. 68
Tabla No. 14 Kilogramos de CO_2 en función de la producción ($ en dólares) y la actividad empleada por sector. 70
Tabla No. 15 Codificación de los parámetros del modelo matemático de optimización. 71
Tabla No. 16 Codificación de las restricciones. 72
Tabla No. 17 Cantidad óptima de kg de CO2 por consumo de combustibles sólidos y líquidos, en el sector textil, carrocero y de calzado. 86

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO **PÁGINA**

Figura No. 1 Objetivos de Desarrollo Sostenible. 13
Figura No. 2 Modelo de evaluación de desempeño ambiental. 17
Figura No. 3 Uso principal de los combustibles sólidos y líquidos, utilizados por las empresas. 20
Figura No. 4 Esquema de la cadena productiva y sus actores principales. 24
Figura No. 5 Tamaño de las empresas por el número de empleados de las empresas textiles, carroceras y de calzado. 44
Figura No. 6 Volumen de producción mensual de las industrias textiles, carroceras y de calzado. 45
Figura No. 7 Ingreso bruto por ventas mensuales ($ en dólares). 45
Figura No. 8 Gestión ambiental. 47
Figura No. 9 Foco de afectación medioambiental. 49
Figura No. 10 Inversión y gasto corriente para mitigar los impactos ambientales. .. 50
Figura No. 11 Monto de inversión y gasto corriente (en $ dólares). 51
Figura No. 12 Uso de combustibles sólidos y líquidos en actividades de producción y transporte. 52
Figura No. 13 Principales combustibles usados en las empresas manufactureras. ... 53
Figura No. 14 Principales actividades en las que se utiliza combustibles sólidos y líquidos. 54
Figura No. 15 Porcentaje (%) de los principales combustibles sólidos y líquidos utilizados en las industrias de manufactura. 55
Figura No. 16 Uso principal de combustibles líquidos (en galones). 56
Figura No. 17 Uso de principal de combustibles sólidos (Gas licuado en kilogramos). 57
Figura No. 18 Economía Circular. 58
Figura No. 19 Valor óptimo del gasto corriente. 85

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

CARRERA DE ECONOMÍA

TEMA: "OPTIMIZACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO_2 EN LA INDUSTRIA DE MANUFACTURA DEL ECUADOR".

AUTORA: Dennise Pamela Lalaleo Llundo

TUTORA: Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar

FECHA: agosto 2024

RESUMEN EJECUTIVO

El sector productivo dentro de las acciones manufactureras genera una gran cantidad de desechos contaminantes como residuos sólidos, aguas residuales, elevado consumo de energía y emisiones de CO_2. Entre estos contaminantes, el dióxido de carbono (CO_2) juega un papel significativo, debido a que contribuye a la generación de contaminantes en forma líquida sólida y gaseosa, siendo el diésel el principal emisor contaminante en el ecosistema. En tal virtud, en esta investigación se buscó optimizar la inversión como efecto de reducir los gastos, emisiones de CO_2 y el impacto ambiental. Este estudio tiene un enfoque descriptivo y explicativo, respaldado por un riguroso trabajo de campo que se basó en la recopilación de datos primarios en el lugar de los hechos. En este caso, se visitó nueve empresas de la industria manufacturera, siendo 3 del sector textil, 3 del sector calzado y 3 del sector carrocero. La técnica utilizada para la recolección de datos fue la entrevista semiestructurada, apoyada en un banco de preguntas diseñado previamente, siendo los informantes clave los gerentes y los jefes de producción. La entrevista duro aproximadamente 2 horas hasta alcanzar la saturación de los conceptos. Dicha información fue procesada mediante matrices diseñadas en Microsoft Excel y posteriormente explicada mediante un modelo matemático de optimización utilizando el software Lingo ®. Los resultados más destacados revelaron una alta producción de emisiones de CO_2 en el sector textil debido al uso predominante de diésel, especialmente en actividades de transporte y calderas. Además, se idéntico que las empresas se encuentran dentro del rango óptimo de consumo de combustibles. Esto permite concluir que las industrias manufactureras todavía no toman conciencia en el cuidado y manejo del medioambiente de acuerdo con los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el objetivo 12 que se refiere a la producción y consumo responsable.

PALABRAS DESCRIPTORAS: EMISIONES DE CO_2, GESTIÓN AMBIENTAL, IMPACTO AMBIENTAL, INDUSTRIA MANUFACTURERA, MODELO DE OPTIMIZACIÓN

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

FACULTY OF ACCOUNTING AND AUDITING

ECONOMICS CAREER

TOPIC: "OPTIMIZATION OF CO_2 EMISSIONS IN THE MANUFACTURING INDUSTRY IN ECUADOR".

AUTHOR: Dennise Pamela Lalaleo Llundo

TUTOR: Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar, Mg.

DATE: august 2024

ABSTRACT

The productive sector within manufacturing activities generates a large amount of polluting waste such as solid waste, wastewater, high energy consumption and CO2 emissions. Among these pollutants, carbon dioxide (CO_2) plays a significant role, since it contributes to the generation of pollutants in solid and gaseous liquid form, diesel being the main pollutant emitter in the ecosystem. Therefore, in this research we sought to optimize the investment as an effect of reducing costs, CO2 emissions and environmental impact. This study has a descriptive and explanatory approach, supported by a rigorous field work based on the collection of primary data at the place of the facts. In this case, nine companies of the manufacturing industry were visited, 3 in the textile sector, 3 in the footwear sector and 3 in the metalwork sector. The technique used for data collection was the semi-structured interview, supported by a previously designed bank of questions, with the key informants being the managers and production managers. The interview lasted approximately 2 hours until the concepts were saturated. This information was processed by means of arrays designed in Microsoft Excel and later explained by means of a mathematical optimization model using Lingo ® software. The most outstanding results revealed a high production of CO2 emissions in the textile sector due to the predominant use of diesel, especially in transportation and boiler activities. In addition, it was found that the companies are within the optimal range of fuel consumption. This leads to the conclusion that the manufacturing industries are not yet aware of the care and management of the environment in accordance with the Sustainable Development Goals (SDGs), specifically goal 12, which refers to responsible production and consumption.

KEYWORDS: CO_2 EMISSIONS, ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, ENVIRONMENTAL IMPACT, MANUFACTURING INDUSTRY, OPTIMIZATION MODEL.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En las últimas décadas, se presenta un continuo aumento en la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera, lo cual representa un problema a nivel mundial (Sodiq et al., 2023). Este aumento se atribuye principalmente al crecimiento económico y demográfico (Dong et al., 2020), convirtiendo al CO_2 en el principal responsable del calentamiento global. Estos factores han generado alteraciones en los ecosistemas, aumento del nivel del mar, extinción de especies y pérdidas de cosechas (Pal et al., 2020). Esto como consecuencia afecta la calidad del aire y la salud humana debido a que las altas concentraciones de CO_2 causan una gran variedad de enfermedades como cáncer de pulmón, insuficiencia cardíaca y asma (Hadipoor et al., 2021). Además, la quema de combustibles fósiles, como el petróleo, gas natural, carbón, entre otros, contribuyen al aumento de las emisiones de CO_2 debido a que se puede utilizar en una amplia gama de procesos que pueden cubrir varias necesidades industriales (Lin et al., 2020). Por lo tanto, las emisiones de CO_2 constituyen un problema que ha persistido desde la época preindustrial, como consecuencia de las actividades humanas por el consumo masivo de combustibles fósiles y su uso en procesos industriales (Di Battista et al., 2021), que hasta la actualidad sigue vigente.

Durante varios años, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) derivadas del uso y consumo excesivo de combustibles fósiles han resultado una cuestión de gran relevancia tanto para países desarrollados como en vías de desarrollo (Akbostancı et al., 2018). A nivel global, se ha observado un incremento en la concentración de gases, alcanzando niveles de 415,7 partes por millón (ppm) de CO_2, 1908 ppm de metano y 334,5 ppm de óxido de nitroso. Estas cifras representan un aumento del 1149%, 262% y 124% respectivamente, en comparación con los niveles preindustriales, antes de que la actividad humana alterara el equilibrio atmosférico (ONU, 2022). Por otra parte, los países líderes que generan mayor cantidad de CO_2 son China, India, Estados Unidos, Japón y Rusia con más de 9000 millones de toneladas métricas, los cuales están estrechamente relacionadas con el crecimiento del Producto Interno Bruto (Lin et al.,

2020). En otras palabras, mayor consumo económico se traduce en una mayor cantidad de emisiones.

En América Latina y el Caribe, las emisiones de CO_2 representan el 7% del total mundial, lo que equivale a 6,4 toneladas métricas de dióxido de carbono netas per cápita de los países que lo conforman la región (Ivanova et al., 2021). Los principales países de la región que contribuyen a estas emisiones son Brasil, México, Venezuela y Argentina con un valor del 70% del total de emisiones de CO_2, los cuales están asociados con actividades agrícolas, manufactureras y otros sectores que atribuyen al incremento de los gases de efecto invernadero (Cárdenas & Orozco, 2023).

Ecuador, se enfrenta a una problemática relacionada con la gestión inadecuada en la reducción de emisiones de CO_2 y las afectaciones en el medio ambiente requieren de la adopción de medidas y prácticas por parte del gobierno, empresas e individuos para mitigar el impacto ambiental (Iqbal et al., 2021). Las industrias manufactureras, desde la etapa inicial hasta la final, generan emisiones de CO_2, lo que resalta la importancia de optimizar los diferentes procesos y la implementación de estrategias que ayuden a reducir los efectos negativos en el ecosistema (Prashar, 2019)**.**

En Ecuador, empresas del sector manufacturero mantienen un nivel bajo en la gestión ambiental mostrando una participación del 4,58% (INEC, 2020). Las actividades económicas que muestran mayor impacto ambiental son actividades de atención de la salud con el 58,57%, seguido de la industria manufacturera con el 52,95%, explotación de minas y canteras con el 52,06%, suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado con el 50,40%, distribución de agua, alcantarillado, gestión de desechos y saneamiento con el 47,77% y actividades financieras y de seguros con el 42,78% (INEC, 2022c). Por lo tanto, el incremento de las emisiones surge de sectores que contribuyen al crecimiento del país como el sector petrolero, de transporte, manufactura, agrícolas e industrias, los cuales son caracterizados como fuentes de ingresos para los países (Udemba et al., 2021).

La industria manufacturera es considerada un sector clave para el desarrollo y crecimiento de la economía ecuatoriana, puesto que este sector genera una gran cantidad de empleos y con ello una significativa contribución al Producto Interno

Bruto PIB del país (Lovato Torres et al., 2019). Sin embargo, este sector es considerado uno de los mayores generadores de emisiones de CO_2, debido al uso de combustibles fósiles en los procesos productivos y de comercialización de los productos, los cuales causan efectos externos al medio ambiente (Cruzatty Vera et al., 2023).

Revisando la literatura (Alcocer Quinteros et al., 2020; Beheshtinia & Fathi, 2023; Dehaghi & Khoshfetrat, 2020; Jabarzadeh et al., 2020; Mahjoub & Sahebi, 2020; Oliveira et al., 2023; Rajak et al., 2022), se han encontrado modelos cuantitativos que optimizan la sostenibilidad en la industria de manufactura, a través de minimización de emisiones, minimización de impactos ambientales y maximización de los beneficios sociales. Por lo tanto, la escasez de modelos matemáticos relacionados con la gestión ambiental resulta un problema crucial que debería ser tratado, debido a que las empresas generadoras de emisiones de CO_2 hacen caso omiso a dichos problemas, por el tema de inversión, gasto y costos que se relaciona con la gestión ambiental (Meng & Zhang, 2022).

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación teórica, metodológica (viabilidad) y práctica

El mundo está siendo exigido por organismos internacionales para reducir las emisiones de CO_2, en base con el objetivo 12 que propone producción y consumo responsable, que busca mantener los medios de subsistencia de las generaciones presentes y futuras. Para lograr esto, se propone la disminución de los niveles de consumo y la sustitución de sistemas actuales por otros más sostenibles, con el fin de que las empresas incorporen prácticas sostenibles y con ello reduzcan las externalidades negativas en el medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas, 2022). En respuesta a estas demandas, se han creado leyes, protocolos o acuerdos destinados a minimizar las emisiones de CO_2. Entre ellos se encuentran el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, que son medidas ambientales anunciadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Afriansyah & Bilqis, 2020).

Por un lado, el Protocolo de Kioto fue adoptado en 1997 y entro en vigor en 2015 (C. H. Wang et al., 2019), con el fin de establecer responsabilidades a países industrializados que se vinculaban con la producción de emisiones de gases de efecto invernadero (Kutlu, 2020). Este acuerdo se basa en el principio de responsabilidad diferenciada y capacidad respectiva, donde propone anexos y respuestas para los países, tomando en consideración su contribución en emisiones, situación económica y su historia, y con ello cumplir con éxito la reducción de emisiones de efecto invernadero (Kim, 2021).

Por otro lado, el Acuerdo de París adoptado en 2015 y que entró en vigor en 2016, representa un paso significativo en los esfuerzos por abordar el problema de las emisiones de CO_2 (Mitchell et al., 2018). Este acuerdo se caracteriza por ser integral, sostenible y equilibrado, que fomenta la acogida de acciones y el cumplimento de objetivos comunes, teniendo en cuenta los intereses de todas las partes involucradas en su implementación (Sun et al., 2022). Por ello, se fundamenta mantener la temperatura por debajo de los 2°C, es decir, limitar el incremento de la temperatura a 1,5°C por encima de los niveles preindustriales, con el fin de neutralizar las emisiones globales de CO_2 (Huang & Zhai, 2021).

Las emisiones de CO_2 tienen un impacto significativo en el medio ambiente, el cual se relaciona con el uso de combustibles fósiles (Liu et al., 2020). Estas emisiones están estrechamente vinculadas a las actividades de producción, las cuales están determinadas por la escala de producción y su capacidad (Li et al., 2023). Por lo tanto, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono se basa en la necesidad de mitigar el impacto ambiental, cumplir con los convenios internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París, y garantizar la sostenibilidad a fin de enfrentar los desafíos actuales y lograr un crecimiento económico más sostenible (Rehman et al., 2021).

El sector manufacturero representa un factor clave en el crecimiento y desarrollo de la economía ecuatoriana, debido a que aporta significativamente al Productor Interno Bruto (PIB) y a la generación de empleos (Ochoa Jiménez et al., 2022). Las empresas manufactureras en relación con el PIB total registro una participación del 11,97% en 2020 (Superintendencia de Bancos, 2022). En consecuencia, es crucial que las

industrias manufactureras implementen una gestión efectiva destinada a contrarrestar las emisiones de CO_2. Esto se puede lograr mediante la optimización de los procesos del ciclo productivo, la concientización de las empresas y el uso adecuado de los recursos naturales, con el fin de prevenir y atenuar el impacto que las industrias generan en el medio ambiente (Burgos Arredondo & Leiva Villegas, 2019).

En este contexto, la aplicación de un modelo de optimización ofrece múltiples beneficios y oportunidades para contrarrestar las emisiones de CO_2, debido a que analiza variables, evalúa escenarios e identifica soluciones óptimas que aumenta la eficiencia productiva y el uso de recursos (Y. Su et al., 2021). Además, mejora la gestión, a través, de decisiones, prácticas y estrategias respaldadas por la modelación matemática (Jiang et al., 2022). Por ello, optimizar se relaciona con un modelo matemático que es la programación lineal, el cual tiene como objetivo maximizar o minimizar variables reales considerando restricciones específicas que buscan resolver de manera óptima los problemas planteados (García Salguero & Merino Gavilanes, 2020).

En el presente estudio se llevó a cabo una investigación de dos niveles: descriptivo y explicativo. El objetivo fue determinar los parámetros de optimización (variables), comprender su comportamiento y evaluar la validez del modelo de optimización en diferentes escenarios. Para alcanzar el primer objetivo, se utilizó el análisis descriptivo en donde se diseñó el instrumento, en este caso una entrevista semiestructurada apoyada en un banco de preguntas diseñado previamente. Una vez obtenida la información, se procedió a la tabulación, depuración y codificación de los datos, mediante el uso del software Microsoft Excel. Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo de los datos mediante el uso de tablas y gráficos. Por otro lado, para cumplir con el segundo objetivo, se empleó el análisis explicativo, en donde se utilizó el software Lingo ® (WIN64 20.0.16), con el fin de obtener la cantidad óptima para reducir el gasto corriente y las emisiones de CO_2.

Este estudio es importante porque se evaluará los objetivos ambientales a través de un modelo matemático, el cual es innovador en el ámbito económico debido a que aborda objetivos de desarrollo sostenible, inversión, gasto y valor bruto agregado. Por lo tanto, los beneficiarios de estás investigación será la sociedad en general, las industrias, la

comunidad investigativa y académica, quienes podrán acceder a los repositorios, citar, leer y adquirir conocimientos sobre temas relacionados con la optimización, emisiones de CO_2, industria manufacturera, objetivos de desarrollo sostenible, inversión, gastos, entre otros.

La viabilidad de llevar a cabo esta investigación es alta debido a diferentes factores, en primer lugar, existe una abundancia de información documentada disponible para respaldar el estudio. Además, las empresas muestran una apertura para participar en la evaluación, lo cual brinda una base sólida de datos. Por último, se cuenta con el asesoramiento necesario para llevar a cabo este trabajo de investigación de manera efectiva.

1.2.2. Formulación del problema de investigación

¿Cómo influyen los parámetros de optimización en las emisiones de CO_2 en la industria de manufactura para mitigar el impacto ambiental?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la optimización en las emisiones de CO_2 que contribuya a la mitigación del impacto ambiental en la industria manufacturera del Ecuador.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los parámetros de modelización para la optimización en las emisiones de CO_2 en el sector manufacturero.
- Establecer escenarios considerando los parámetros de optimización en las emisiones de CO_2 en el sector manufacturero.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Revisión de Literatura

2.1.1 Antecedentes investigativos

El desarrollo industrial es importante en la economía de un país, puesto que ayuda al crecimiento en la economía y al bienestar de la sociedad, sin embargo, este provoca múltiples problemas relacionados con la parte ambiental como en la sociedad, debido a la contaminación que las empresas causan por sus actividades de producción (Suárez Tamayo & Molina Esquivel, 2013). Un estudio realizado en Ecuador sobre los principales sectores que generan emisiones de CO_2, revela que la industria de manufactura es el principal responsable con un valor de 63,4% (Buenaño Hermosa, 2014). Del mismo modo, en China se evidenció que el sector manufacturero es el principal contaminante con el 50% de las emisiones de CO_2 a causa del incremento demográfico y del alto consumo de combustibles fósiles, demostrando así un efecto significativo en el medio ambiente. Concluyendo que una mejor estructura reduce las emisiones de dióxido de carbono y que el gobierno debe incrementar la inversión en tecnología, potenciar la estructura y promover mejoras en la producción en las industrias de manufactura (B. Xu & Lin, 2016).

Para el estudio de Acuña et al., (2017) mencionan que los sistemas de gestión ambiental en las entidades manufactureras buscan analizar y formular estrategias que beneficien al sector empresarial y al medio ambiente. Su aplicación beneficia positivamente a la reducción de las problemáticas ambientales mediante la optimización en las materias primas, costos ambientales y mejora en el rendimiento estructural de las industrias (Flórez Ríos & Morales Sierra, 2019). Además, muestran un mejor rendimiento financiero y productivo, el cual se relaciona con políticas ambientales que ayudan a mitigar efectos negativos en el entorno (Rahko, 2023). Ante ello, se propone que las industrias ecuatorianas deben implementar gestión ambiental en sus empresas para que sean más competitivas y disminuyan problemas relacionados con la parte ambiental (González Ordóñez et al., 2018).

Con respecto a la inversión, Ahmadi et al. (2019) concluyen que los países latinoamericanos que destinan recursos a la innovación y energías renovables logran mitigar el impacto ambiental y fomentar un desarrollo más sostenible. Además, se ha determinado que la inversión extranjera directa desempeña un papel clave en la reducción de cantidad de emisiones de carbono, especialmente en sectores manufactureros que requieren un alto nivel de capital, mano de obra y tecnología (Yi Jinchao & Zhang, 2023). Por consiguiente, para abordar los problemas ambientales generados por las industrias, resulta fundamental promover la inversión en prácticas sostenibles que sean respetuosas con el medio ambiente, con el objetivo de edificar un futuro más ecológico (Ashokan et al., 2024).

En el mismo contexto, el estudio realizado en países europeos refleja que el 41% de las industrias manufactureras invierten poco en prácticas para minimizar las emisiones de CO_2 y que se necesita de ayuda externa para cumplir dicho propósito (Kiemel et al., 2023). En respuesta a esta situación, Farooq et al. (2023) señala que la inversión en temas ambientales promueve actividades productivas más sostenibles que disminuyen las emisiones de CO_2 en el ambiente.

El desarrollo sostenible promueve un crecimiento sustentable en el ámbito económico, ambiental y social con el fin de obtener un beneficio colectivo (Ormaza Andrade et al., 2020). Según Alzate Ibáñez et al. (2018), se aprecia en la actualidad un aumento significativo de la presión ejercida por diversos actores interesados en temas ambientales, quienes buscan que los países adopten prácticas sostenibles en su entorno con el objeto de contrarrestar los efectos desfavorables sobre el medio ambiente. Por tal motivo, la implementación de un modelo de desarrollo sustentable en el ámbito industrial tiene como finalidad mitigar los efectos perjudiciales mediante la incorporación de enfoques sostenibles en los sistemas de producción (Bravo Calle et al., 2021).

Sari (2022), menciona que el desarrollo industrial sustenta la economía de varios países a nivel mundial y que causa daños ambientales debido a la mala producción y uso de tecnologías contaminantes, por lo cual recomienda aplicar políticas que regule, sancionen e incentiven a empresas adoptar políticas de desarrollo sostenible. Asimismo, para mantener el crecimiento económico y disminuir las emisiones de CO_2

Wu et al. (2023), platean un modelo económico que mantenga el equilibrio entre los dos indicadores, mejorando la estructura industrial que contengan restricciones para reducir las emisiones generadas en los sectores industriales. Finalmente, Rajabloo et al. (2022) proponen optimizar los procesos, reemplazar materias primas, energéticas e integrar tecnología para minimizar la huella de emisiones de carbono.

El estudio realizado en Perú demuestra la necesidad de establecer un mecanismo de cierre apropiado en los contenedores de residuos, con el objetivo de lograr una reducción de 1 Mt de CO2 para el año 2030. Esta medida busca incentivar al país a continuar implementando políticas descarbonizadoras con respecto a los objetivos de desarrollo sustentable (Cristóbal et al., 2022). En este sentido, W. Wang & Wang (2021) enfatizan la importancia de adoptar medidas eficientes, mejorar la estructura energética y aplicar políticas que fomenten la reducción de emisiones. Estas políticas, además, estimulan el desarrollo tecnológico, promueven la conciencia pública, impulsan la utilización de tecnologías de ahorro energético, establecen medidas de eficiencia energética y respaldan la adopción de tecnologías verdes en diversos sectores (Raza & Hasan, 2022).

El sector manufacturero cumple un papel principal en el crecimiento económico del Ecuador, y su estrecha relación con las emisiones de CO_2 revela que el sector manufacturero representa el 84% de las emisiones totales (Denegri De Dios et al., 2022). En respuesta a esta problemática, la adopción de políticas y acuerdos como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París desempeñarían un papel crucial en la disminución de las emisiones de las emisiones de dióxido de carbono en las empresas manufactureras. Estos enfoques generan conciencia sobre la necesidad de implementar un desarrollo y crecimiento económico dentro de las empresas para que sean sostenibles desde el punto de vista ambiental (Vera Viera, 2022).

En el Ecuador las empresas manufactureras destinan el 37,7% de sus gastos y el 2,8% de sus inversiones para mitigar las emisiones contaminantes en la atmósfera. Por lo que, recalcan la importancia de abordar estrategias de protección ambiental que reduzcan los impactos externos que las industrias generan en el medio ambiente (Aldás Salazar et al., 2024a). Además, es de gran importancia considerar el desarrollo de un modelo basado en el cambio del sistema de producción para disminuir los costos de

inversión, gasto y con ello el impacto ambiental que se produce en los procesos de fabricación (Abbas & ElMaraghy, 2018).

En cuanto a Sinhonde (2022), demuestra que realizar cambios óptimos en los procesos de producción, transporte y sustitución de materiales puede minimizar las emisiones de CO_2 y contribuir a una producción sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Puesto que la finalidad de aplicar normas y leyes ambientales pueden controlar en efecto la contaminación ambiental y generar un efecto positivo en la atenuación de las emisiones de carbono (Sarfraz et al., 2022).

Para lograr la mitigación de emisiones de CO_2 por el uso excesivo de combustibles fósiles, se han desarrollado diversas estrategias efectivas. Una de ellas es la combinación de combustibles líquidos y gaseosos (Colucci et al. 2023). Otra estrategia innovadora es la captura de carbono mediante el uso de disolventes especiales que ayudan a neutralizar las emisiones de dióxido de carbono. Este enfoque implica la captura del CO2 generado durante los procesos de combustión y su posterior almacenamiento o utilización para otros fines (S. B. Su et al., 2023).

Los modelos matemáticos se aplican en diversas áreas con el objetivo de abordar problemáticas de manera sostenible en distintos sectores, identificando y ofreciendo soluciones óptimas que contribuyan a reducir el impacto en el ecosistema (De et al., 2020). Estos modelos buscan incrementar la productividad y eficiencia, haciendo hincapié en una adecuada utilización de los recursos y en lograr un mejor rendimiento (Beheshtinia et al., 2021). Además, desempeñan un papel esencial en la reducción de costos y en la gestión de cuestiones ambientales, lo que contribuye a mitigar las emisiones y los residuos generados en el medio ambiente (Dulebenets, 2022).

Costa et al. (2017) mencionan un modelo específico centrado en el diseño de una cadena de suministro de biodiesel sostenible, que busca reducir las emisiones de CO_2 mediante la conversión de biomasa en biocombustibles. En la investigación realizada por Jian et al. (2019), señala que aplicar una restricción en el modelo matemático con respecto a la cantidad de carbono ayuda a minimizar el impacto ambiental. Además, estos modelos proporcionan una herramienta invaluable para los gerentes, dado que les ayuda a tomar decisiones óptimas dentro de la red de suministro (Jabarzadeh et al.,

2020). En consecuencia, los modelos matemáticos u optimizadores constituyen una valiosa herramienta para tomar decisiones que contrarresten el impacto ambiental generado por estas emisiones (H. Xu et al., 2021).

Goodarzian et al. (2023), señala que un modelo de programación lineal mixta disminuye los impactos en el ecosistema y los efectos económicos en las etapas de producción, consumo y transporte. Este modelo permite optimizar el ciclo productivo, mejorando tanto el tiempo como el consumo en términos de producción y transporte (Beheshtinia & Fathi, 2023). Finalmente, Harijani et al. (2023), aplican este modelo para establecer una red de suministro de circuito cerrado, abordando tanto aspectos ambientales como económicos con el propósito de minimizar la huella de carbono a través de la implementación de tecnologías verdes.

2.1.2 Fundamentos teóricos

Teoría de desarrollo sostenible

La teoría de desarrollo sostenible tiene origen en 1980, que surge en el marco de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales, el cual, busca incrementar los beneficios en lo económico bajo el supuesto de mantener la calidad de los recursos (Gasca Salas, 2005). Por lo tanto, el desarrollo sostenible se caracteriza por el manejo adecuado de los recursos ambientales, evitando su explotación y buscando mejorar el bienestar de las personas al satisfacer las necesidades actuales sin afectar negativamente las del futuro. Esto implica utilizar el desarrollo científico y tecnológico para fomentar la protección ambiental (Guillén de Romero et al., 2020). Por ello, el desarrollo sostenible se logra si hay un equilibrio entre lo económico, social y ambiental (Gómez López, 2020). Ante lo expuesto, el estado debe imponer sanciones para contrarrestar los daños causados, dando así una responsabilidad ecológica que repare los desequilibrios ambientales.

Desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible se origina en 1980 en el informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU (C. MMAD) (Gómez López, 2020). Por ello, el desarrollo sostenible se describe como aquel que cumple con las

necesidades actuales sin amenazar la capacidad de las futuras generaciones para atender sus propias necesidades (Sachs, 2015). Por lo tanto, el desarrollo sostenible consiste en sostener los niveles de consumo, producción, recursos naturales, recursos de capital físico, recursos de capital humano y recursos agotables, así como buscar la integridad en los ciclos, procesos y ritmo de la naturaleza (Artaraz, 2002).

Pilares del desarrollo sostenible

De acuerdo con Gómez (2020), el desarrollo sostenible debe tomar los siguientes pilares:

- Social Medioambiental: desarrollo soportable.
- Social Económico: desarrollo equitativo.
- Económico Medioambiental: desarrollo viable (p. 28).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible toma vigencia el 25 de septiembre de 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (Gil, 2017). La Agenda 2030 está comprendida de 17 objetivos (Ver Figura 1) y 169 metas que establecen la hoja de ruta a nivel internacional para las políticas públicas nacionales de desarrollo y la cooperación internacional hasta el año 2030 (Cosme Casulo, 2018). Ante ello, los ODS surgen como una respuesta al incumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, con el propósito de combatir la pobreza extrema, promover la participación y equilibrar los 3 pilares del desarrollo sostenible: ambiental, social y económico, así como velar por la protección de los recursos ambientales del mundo (Hidalgo Capitán et al., 2019).

Por otro lado, los objetivos de desarrollo sostenible son considerada una herramienta de planificación y seguimiento para cada uno de los países, que sirve como apoyo hacia un camino de crecimiento sostenido, participativo y amigable con el medio ambiente, mediante políticas e instrumentos de control y evaluación (Naciones Unidas, 2018).

Figura 1

Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Nota. La figura muestra los 17 objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2022).

Objetivo de desarrollo sostenible 12: producción y consumo responsable

El objetivo producción y consumo responsable se basa en cambiar los hábitos de consumo y adoptar medidas para sustituir las cadenas de suministros por otros más sostenibles (Organización de las Naciones Unidas, 2022). Es decir, dar un uso eficiente de los recursos con el fin de realizar más y mejores cosas con menos recursos, aumentando así el bienestar general y logrando una mayor eficiencia en la utilización de recursos, reduciendo la degradación ambiental y la contaminación durante las etapas del ciclo de vida, al mismo tiempo potencial el bienestar de las personas y por ende obtener mayores beneficios económicos (Naciones Unidas, 2018). Es importante mencionar que la aplicación del objetivo permite disminuir los gastos económicos, sociales y ambientales, así como incrementar la competitividad económica (Naciones Unidas, 2018). En el mismo contexto, el objetivo 12 cuenta con 11 metas, entre las cuales una se relaciona con las empresas ya sean grandes o trasnacionales, en donde manifiesta que dichas industrias deberían aplicar e incorporar prácticas sostenibles dentro de los procesos de producción que sean respetuosos con el ecosistema (Vicente Domingo & Gómez Campelo, 2021).

Principios de política ambiental

De acuerdo con Cafferatta (2010), el principio de política ambiental conocido como principio precautorio surge en Alemania en 1971, en La Ley del Medio Ambiente. El principio se basa en la prevención y la precaución, lo cual implica tomar medidas para evitar o impedir la degradación del medio ambiente. Asimismo, se enfoca en la adopción de acciones preventivas para evitar daños ambientales y promover un enfoque cautelar en la toma de decisiones. Desde otro punto de vista, la política ambiental engloba los propósitos, fundamentos, estándares y pautas generales para salvaguardar el entorno natural. Su objetivo es regular y supervisar el aprovechamiento de los recursos naturales y las funciones ecológicas, con el propósito de prevenir la explotación excesiva o ineficiente de los activos ambientales y lograr la sostenibilidad ecológica (Tobasura Acuña, 2006). Del mismo modo, busca garantizar que los procesos de producción y consumo sean compatibles con los principios de sostenibilidad ambiental a largo plazo, con el objetivo de abordar los problemas relacionados con el medio ambiente (Valadéz Ramírez & Landa Durán, 2003).

Ante lo expuesto, Massolo (2015) menciona que para desarrollar un plan ambiental se debe tener en cuenta los siguientes principios de la política ambiental:

- Priorizar la prevención en lugar de la remediación o corrección.
- Principio precautorio en situaciones cuando exista daño grave o irreparable.
- Principio de progresividad: desarrollo continuo de políticas ambientales, teniendo en cuenta el progreso científico y tecnológico, con el fin de proteger el medio ambiente.
- Utilizar los recursos naturales sin afectar a otras naciones.

Gestión ambiental

La gestión ambiental surge en los años 70 como respuesta a los problemas ambientales en los países industrializados. Los movimientos ambientalistas adquieren protagonismo político y los partidos y el Estado asumen nuevas funciones para abordar estas problemáticas. Por lo que, el movimiento ambientalista se divide en diferentes corrientes políticas, pero la distinción más clara se encuentra en su concepción del desarrollo y su relación con la sociedad y la naturaleza. Los conservacionistas se enfocan en proteger y estudiar la naturaleza y las especies en su hábitat, demandando

acciones gubernamentales para preservar los recursos naturales. Por otro lado, los ambientalistas radicales consideran no solo la protección del medio ambiente, sino también aspectos económicos, culturales y sociales. Cuestionan el sistema socioeconómico y el estilo de desarrollo que consideran depredador Muriel (2006).

Por ello, la gestión ambiental es un proceso que busca abordar los problemas ambientales para lograr un desarrollo sostenible, permitiendo que las personas desarrollen sus capacidades y preservando el patrimonio biofísico y cultural a largo plazo (Sánchez & Gándara, 2011). Desde otra perspectiva, la gestión ambiental es un conjunto integrado de políticas, normas y acciones relacionadas con la planificación, financiamiento y control, que deben ser implementadas tanto por el Estado como por la sociedad con el objetivo de asegurar un desarrollo sostenible y una mejor calidad de vida. Ante ello un programa de gestión ambiental tiene como objetivo encontrar soluciones adecuadas a los problemas surgidos en la relación entre la sociedad y la naturaleza (Aiblis & Asuaga, 2021). Para lograrlo, se llevan a cabo acciones para generar y recopilar conocimientos, monitorear el impacto de las políticas públicas en la población y los recursos del territorio, y sistematizar experiencias para construir un modelo de desarrollo alternativo que la sociedad aspire (Avellaneda Cusaría, 2015). De la misma manera, ofrece ayuda para verificar los factores que causan degradación ambiental y llevar a la población a una economía ambiental sustentable y sostenible a la vez.

Herramientas de gestión ambiental

Las herramientas de gestión ambiental son recursos utilizados por la sociedad para implementar acciones dirigidas a resolver los desafíos ambientales (López Jara et al., 2017). Por tal motivo, las herramientas de gestión ambiental se clasifican en preventivas, correctivas, conservación y mejoramiento, para así proteger el medio ambiente, mediante la aplicación correcta de las herramientas en temas ambientales sociales y económicos que garantice el uso eficiente de materias primas, energía y disminución de costos y generación de emisiones de CO_2 (Massolo, 2015). Sin embargo, las empresas deben implementar herramientas eficientes para sobrellevar los efectos negativos que se genera durante las actividades de producción en las industrias, como lo son las emisiones de dióxido de carbono (Cerquera Losada et al., 2021).

López Jara et al., (2017), señalan algunas herramientas de gestión ambiental que pretenden hacer hincapié en el desempeño ambiental de las industrias, fomentando así el desarrollo el desarrollo sostenible. A continuación, se mencionará algunas herramientas:

- Sistema de Gestión Ambiental.
- Auditorías Ambientales.
- Etiquetado Ecológico.
- Análisis de Ciclo de Vida.
- Certificaciones Ambientales (p. 47).

Sistemas de gestión ambiental

El sistema de gestión ambiental es una herramienta que se puede implementar en empresas u organizaciones que necesiten o deseen proteger al medio ambiente en el mercado de desarrollo sostenible (Innovación y Cualificación, 2019). El cual se utiliza para la gestión ambiental, puesto que otorga en la orientación y evaluación del funcionamiento del sistema, con la finalidad de asegurar las operaciones y dar cumplimento de las políticas ambientales impartidas por la organización. Cabe recalcar que la gestión ambiental, aborda temas económicos, sociales y ecológicos (Torreblanca Fernández, 2017).

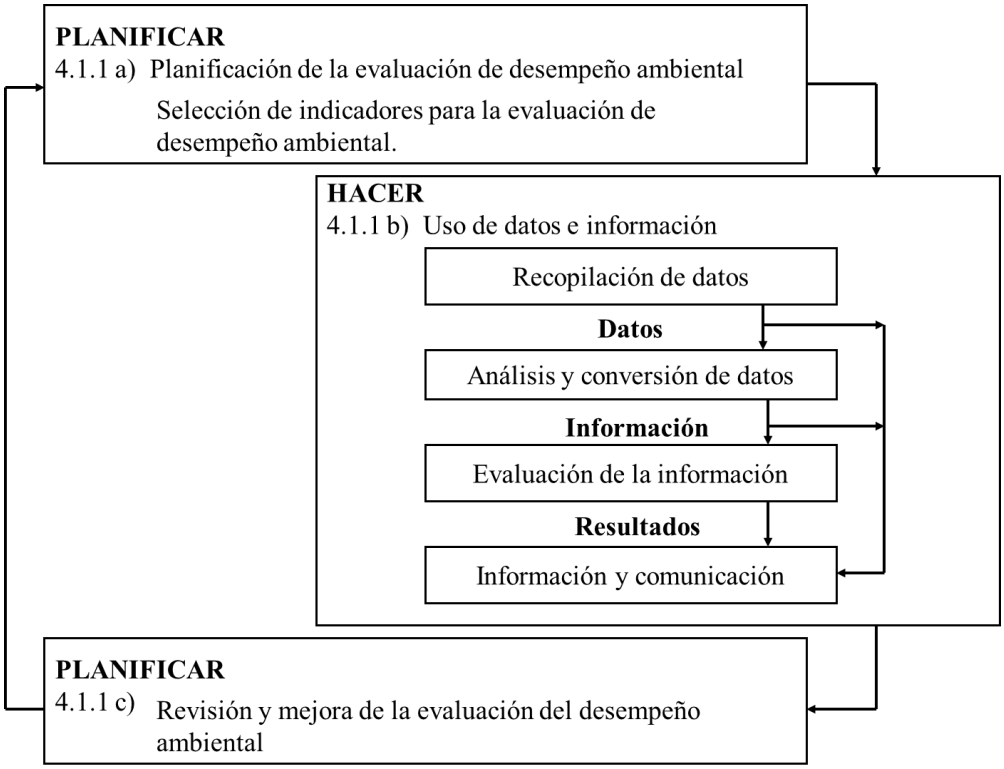
Massolo (2015), menciona que existen 3 herramientas fundamentales que se debe implementar en el Sistema de Gestión Ambiental:

Evaluación del desempeño ambiental

Proceso que se realiza internamente y que utiliza indicadores para suministrar información, comparando el desempeño ambiental pasado y presente teniendo en cuenta principios de desempeño ambiental (figura 2) (Massolo, 2015).

Figura 2

Modelo de evaluación de desempeño ambiental.



Nota. Diagrama de flujo del modelo de evaluación de desempeño ambiental. Fuente: Massolo (2015).

Etiquetado ecológico

Es un distintivo que proporciona información y motiva a los consumidores a escoger productos y servicios que tenga un menor impacto el medio ambiente. Este distintivo constituye una valiosa herramienta de marketing que proporciona información relevante que permite a empresarios a tomar decisiones encaminadas a mejorar el desempeño ambiental de sus productos y servicios. Por otra parte, existen 3 tipos de etiquetados que hacen referencia al impacto ambiental y que están reguladas por las Normas ISO: el primero es voluntario, el segundo es autodeclarativo y el tercero es una declaración ambiental. (Innovación y Cualificación, 2019).

Análisis del ciclo de vida (ACV)

Es un procedimiento objetivo utilizado para evaluar las cargas ambientales relacionadas con un producto, proceso o actividad en particular. Mediante este proceso, se identifica y cuantifica el uso de materiales y energía, así como las emisiones al entorno, con el fin de determinar el impacto generado por el uso de recursos y emisiones, y para evaluar y aplicar estrategias de mejora ambiental (Massolo, 2015).

Teoría de crecimiento verde

La teoría del crecimiento verde es una alternativa hacia el desarrollo que se enfoca en reducir la explotación del ecosistema y de las emisiones de CO_2, con el fin de mantener bajos los niveles de daño ambiental (Arévalo Ruiz, 2021). Esta teoría busca reducir la contaminación a través de un crecimiento cualitativo que gestione eficientemente los recursos naturales, fomente la innovación y la inversión amigable con el ecosistema, que brinde oportunidades de trabajo y crecimiento económico. Además, propone una economía estacionaria enfocada en la calidad, implementando estrategias de producción más limpia y un uso racional de los recursos para lograr un ambiente libre de gases contaminantes (Ávila López & Pinkus Rendón, 2018). Por lo tanto, su objetivo es aumentar los beneficios mediante inversiones en procesos de producción más sostenibles para mitigar el impacto ambiental y al mismo tiempo garantizar empleo, desarrollo económico y la reducción de la pobreza (Gudiño, 2012).

Sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad ambiental implica mantener el equilibrio y la armonía a largo plazo entre el entorno natural y las acciones humanas. Se describe como la forma en que se utiliza y aprovecha de manera adecuada la tasa de recursos renovables para garantizar la continuidad de estos, buscando así preservar los recursos naturales y asegurar su disponibilidad para las generaciones futuras (Grijalbo Fernández, 2017). Por esa razón, el impulso de la sostenibilidad ambiental en las actividades económicas implica conservar la infraestructura natural, fomentar la economía circular en los mercados, desarrollar habilidades para gestionar y valorar los recursos naturales, y generar soluciones sostenibles y diversas para el desarrollo empresarial (Consejo Nacional de Competitividad y Formalización, 2024).

Emisiones de CO_2

Las emisiones de dióxido de carbono son gases dañinos que tienen un impacto significativo en la atmósfera. Estas emisiones son generadas por diversos factores, entre ellos se encuentra el consumo de combustibles fósiles en los procesos industriales de las empresas, lo cual resulta en la liberación de una gran cantidad de CO_2 al ambiente (Schuschny, 2007). Desde otra perspectiva, las emisiones de CO_2 se refiere a la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono equivalente generadas en un país como resultado de actividades humanas, como producción y consumo (Comunidad Andina, 2008). Este gas se origina a partir de diversas fuentes, principalmente como resultado de la actividad humana, como la quema de combustibles fósiles, emisiones provenientes de procesos industriales, operaciones intensivas de cría de ganado, entre otros (Energía y Sociedad, 2024). Las emisiones de dióxido de carbono se dividen en dos categorías: emisiones directas e indirectas. Las emisiones directas se originan a partir de fuentes que son propiedad o están bajo el control de la entidad que informa, como el consumo de electricidad, el uso de combustibles fósiles y el embalaje, etc. Por otro lado, las emisiones indirectas son el resultado de las actividades de la entidad, pero provienen de fuentes que no son propiedad ni están directamente controladas por ella, como el transporte y el uso o reciclaje del producto una vez que está en manos del consumidor (Frohmann & Olmos, 2013).

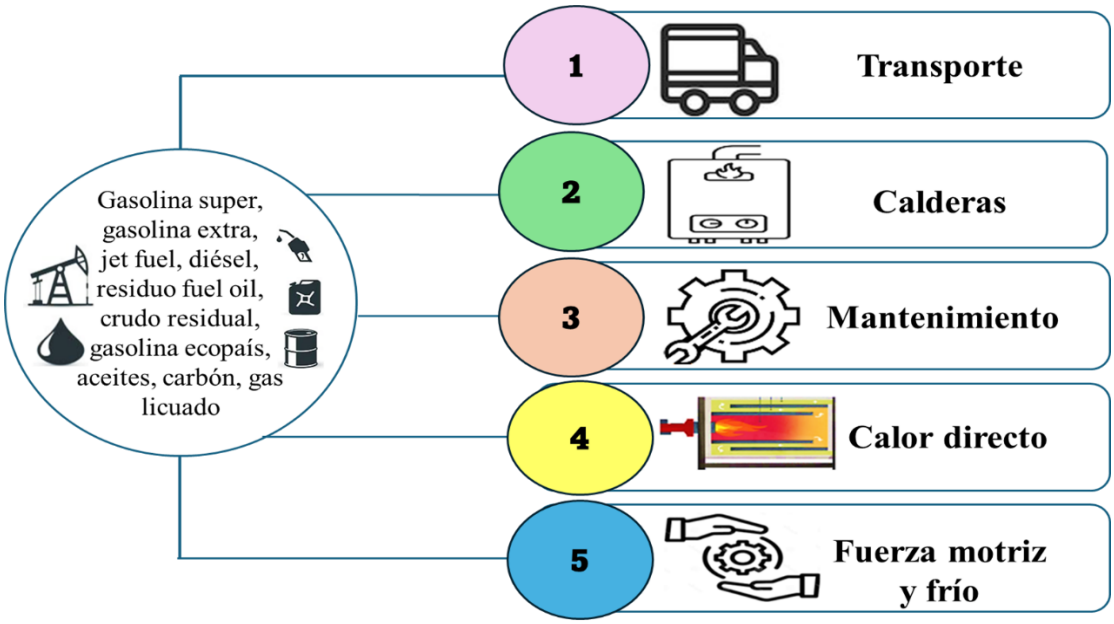
Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles representan una valiosa fuente de energía que se origina a partir de la lenta descomposición de materia orgánica de plantas, animales y microorganismos, un proceso que se extiende a lo largo de millones de años (BBVA, 2022). Estos combustibles tienen un amplio uso en maquinarias y equipos industriales, así como en la propulsión de vehículos y la generación de electricidad, entre otros, por lo cual, las emisiones y contaminantes liberados al aire varían según el tipo de combustible y el equipo utilizado, así como la composición química de los combustibles (figura 3 y tabla 1). Por tal razón, es importante destacar que las partículas emitidas son producto de una combustión incompleta (García Lozada, 2006). Por lo tanto, la combinación de los contaminantes generados por el uso de

combustibles líquidos con las partículas sólidas y líquidas presentes en el aire resulta perjudicial (Camacho García & Flamand, 2008). En consecuencia, el consumo continuo de combustibles fósiles en diversas actividades industriales afecta negativamente al medio ambiente.

Figura 3

Uso principal de los combustibles sólidos y líquidos, utilizados por las empresas.



Nota. Principales combustibles consumidos por las empresas. Fuente: elaboración propia con datos del INEC (2022b).

Tabla 1

Consumo de Combustibles, lubricantes líquidos y sólidos usados en las empresas, por tipo de combustible y según uso principal del mismo.

Combustibles y lubricantes líquidos	Uso principal de combustibles y lubricantes líquidos					
	Calderas (%)	Calor directo (%)	Fuerza motriz y frío (%)	Transporte (%)	Mantenimiento (%)	Otros usos* (%)
Gasolina Súper	8,5%	0,0%	0,5%	91,0%	0,0%	0,0%
Gasolina Extra	0,9%	0,0%	1,0%	98,1%	0,0%	0,0%
Jet Fuel	1,3%	0,0%	0,3%	98,2%	0,0%	0,2%
Diésel	12,1%	3,4%	28,6%	55,8%	0,0%	0,0%

Residuo Fuel Oil	14,2%	2,5%	79,7%	3,6%	0,0%	0,0%
Crudo residual	25,0%	1,6%	73,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Gasolina Ecopaís	0,0%	0,0%	0,6%	99,4%	0,0%	0,0%
Aceites	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
Gas Licuado (GLP)	22,8%	53,0%	9,4%	7,3%	0,0%	7,5%
Carbón	66,0%	33,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%

Nota. La tabla muestra el consumo de combustibles, lubricantes líquidos y sólidos usados en las empresas, por tipo de combustible y según uso principal del mismo. Fuente: Elaboración propia basada con los datos del INEC (2022b).

Actividades económicas que generan emisiones de CO_2

Según el INEC (2023), las actividades que presentan una mayor intensidad de emisiones de CO_2 (kg CO_2-eq10) son el sector de suministro de electricidad, gas y vapor, con un 60%, seguido del sector de transporte y almacenamiento, con un 58% de las emisiones, el sector de construcción con un 32%, y el sector de industria manufacturera con un 28%. Estas cifras reflejan la estrecha relación entre estas actividades y el uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía.

Conversión de combustibles y lubricantes líquidos a toneladas métricas de CO_2

Las emisiones de dióxido de carbono se calculan mediante el consumo de combustibles y lubricantes líquidos utilizados en los diversos procesos de producción de las industrias. Por lo cual, en la base de datos se registra la cantidad de combustibles en galones, kilogramos y millones de BTU, los cuales se emplean para convertirlos en kilogramos de CO_2, a través de un factor de conversión indicado en la tabla 2.

$$Generación\ de\ CO2 = coeficiente\ de\ conversión * cantidad\ de\ combustible \quad [1]$$

Tabla 2

Coeficiente de conversión de los combustibles y lubricantes líquidos a kg CO_2.

Combustibles y lubricantes líquidos	Coeficiente de conversión a kg de CO_2
Gasolina súper	9.026438
Gasolina extra	8.865755
Jet fuel	8.538392
Diésel	10.337088
Residuo fuel oíl	9.763329
Crudo residual	9.90528
Gasolina ecopaís	7.317974
Aceites	0.6526
Gas natural	50.063507
Gas licuado	3
Carbón	2.827

Nota. La tabla muestra los coeficientes de conversión de galones, kilogramos y millones de BTU a kg de CO_2 de los combustibles y lubricantes líquidos. Fuente: Elaboración propia con datos basados del INEC (2022a).

Industria manufacturera

De acuerdo con Abeles et al., (2017) ,la industria manufacturera desempeña un papel crucial al generar insumos como máquinas, productos químicos y biológicos, los cuales son fundamentales para la aplicación de técnicas y el aumento de la productividad en otros sectores. Los problemas ambientales derivados de la industria manufacturera se deben a deficiencias en las tecnologías, procesos y procedimientos utilizados en la obtención de materias primas, transformación y distribución del producto final. Además, el uso de tecnología está estrechamente vinculado al consumo de recursos energéticos, lo cual se relaciona con emisiones atmosféricas. En muchos casos, el procesamiento de la materia prima no es eficiente, lo que genera subproductos y residuos líquidos y sólidos (Hoof et al., 2018).

Por tal motivo, las causas de estos problemas están relacionadas con los diferentes procesos y tipos de materias primas utilizadas. Además, la problemática en el sector manufacturero varía según los subsectores específicos, como la fabricación de textiles,

industria maderera, industria del papel, alimentos, metalurgia, metalmecánica, manufacturas de cuero, industria cerámica e industria química.

Cadena productiva o cadena de valor

La cadena productiva es un conjunto de agentes económicos que están directamente involucrados en la producción, transformación y transporte de un mismo producto hacia el mercado (Tomta & Chiatchoua, 2009), es decir, son todas las etapas involucradas en la producción, distribución y comercialización de un bien o servicio, desde su elaboración hasta su consumo final. La cadena de valor se enfoca en las actividades requeridas para transformar la materia prima en productos terminados y llevarlos al mercado, y en el valor que se añade en cada paso de esta cadena (Pietrobelli & Rabellotti, 2005).

La cadena productiva tiene tres razones fundamentales de utilidad. En primer lugar, desplaza el enfoque de la fabricación hacia las demás etapas involucradas en el suministro de bienes y servicios a los consumidores. Se presta mayor atención a las etapas "intangibles", como la distribución y la comercialización, cuyos costos a menudo representan una parte significativa del precio final de un bien, incluso mayor que el costo de fabricación en sí. En segundo lugar, este tipo de análisis también considera los flujos de información, además de los flujos de bienes, entre las diferentes etapas de la cadena. Se destaca que las relaciones entre empresas a lo largo de la cadena no siempre son equitativas y suelen implicar competencias y conocimientos especializados, con grandes recompensas financieras en juego. Por último, comprender la apropiación total de los retornos de la producción radica en la capacidad de identificar las actividades de alto rendimiento dentro de la cadena productiva (Kaplinsky, 2000; Wood, 2001).

De acuerdo con el estudio de Cayeros Altamirano et al. (2016), la cadena productiva está conformada por 4 etapas (Figura 4) las cuales se detallará cada una de ellas:

- **Producción:** los productores se encargan de proveer los insumos necesarios, para llevar a cabo actividades de cosecha y realizar la extracción de productos básicos.
- **Transformación:** durante esta etapa también involucra a los productores, se

lleva a cabo el manejo postcosecha, la limpieza, clasificación y empaque de los productos. Además, dependiendo del tipo de producto que se obtenga, se agrega valor durante esta etapa.

- **Comercialización:** conjunto de actividades de mercado que se llevan a cabo desde la adquisición de los insumos necesarios para la producción, hasta la venta del producto a los consumidores.
- **Consumo:** es el lugar en el que se completa el proceso iniciado al generar productos, donde se realiza la expansión del capital y se reproduce la fuerza de trabajo (Barbosa & Campbell, 2006).

Figura 4

Esquema de la cadena productiva y sus actores principales.



Nota. Eslabones de la cadena productiva y sus actores principales. Fuente: Cayeros Altamirano et al. (2016).

Parámetros de optimización

Modelo de programación lineal

La Programación Lineal es un modelo matemático utilizado para resolver problemas de optimización en los que se busca maximizar o minimizar una función lineal, sujeta a un conjunto de restricciones también lineales (Hernández Ayuso, 2007). De acuerdo con la investigación de Piedrahita (1965), Saul Gass define al modelo de

programación lineal como “la optimización de una función lineal sujeta a restricciones lineales”, que puede ser simple en su estructura, pero potente en la adopción en diferentes áreas. Desde otra perspectiva en el mismo artículo Metzger define como “las técnicas usadas para encontrar la relación óptima entre un número de variables interdependientes, o un medio de obtener el mejor curso de acción cuando existen varios” (p. 43). Por consiguiente, la programación lineal es un método matemático que permite analizar y elegir la mejor alternativa que optimice el resultado ya sea minimizar o maximizar (Boirivant, 2009). El propósito de la optimización en el modelo de programación lineal es lograr un uso eficiente de los recursos y resolver problemas en diversas áreas, lo cual implica tomar decisiones óptimas, tanto tácticas como estratégicas, en los procesos productivos (Guédez Fernández, 2011).

Por lo tanto, la programación lineal se centra en la optimización de funciones lineales de múltiples variables, sujetas a restricciones lineales, ya sean en forma de igualdades o desigualdades. Su objetivo es encontrar la solución óptima que minimice o maximice la función objetivo dentro de las limitaciones establecidas (Mora Escobar, 1997).

De acuerdo Linares et al., (2001), los modelos de programación lineal están compuestos por 3 elementos:

- **Función objetivo:** se refiere a la medida cuantitativa del rendimiento del sistema que se busca optimizar, ya sea maximizando o minimizando. Por ejemplo: minimizar los costos de las variables de operación de un sistema eléctrico o maximizar los beneficios netos de venta de ciertos productos (p. 5).
- **Variables:** representan las decisiones que se toma con el fin de incidir en el valor de la función objetivo. Desde una perspectiva funcional, se pueden clasificar en variables independientes o principales, también conocidas como variables de control, y variables dependientes o auxiliares, también llamadas variables de estado. Sin embargo, desde el punto de vista matemático, todas las variables son iguales (p. 5).
- **Restricciones:** se refieren al conjunto de relaciones que determinadas variables deben cumplir, expresadas a través de ecuaciones e inecuaciones. Por ejemplo: la capacidad de producción, las dimensiones del material usado en la elaboración de un producto, entre otros (p. 5).

Variables de decisión para el modelo de optimización

Inversión

La inversión ambiental se refiere a los gastos en bienes y servicios de capital que una empresa adquiere con el propósito de proteger el medio ambiente o gestionar los recursos naturales en el proceso de producción. Estos bienes suelen generar beneficios a largo plazo, porque aumentan la capacidad para producir más bienes o productos, lo que a su vez genera riqueza a largo plazo (INEC, 2022a). Por lo tanto, la inversión en protección medioambiental se centra en acciones destinadas a reducir, prevenir y eliminar los impactos negativos de la producción en el medio ambiente. Estas inversiones pueden incluir la adquisición de equipos, edificios y terrenos. Además, cuando se combinan con la innovación y el desarrollo ambiental, estas inversiones pueden generar beneficios económicos al ser una herramienta para combatir la contaminación (Rahko, 2023).

Gasto Corriente

El gasto corriente se refiere al desembolso que realiza para cubrir los costos de contratar personal o adquirir bienes y servicios necesarios para llevar a cabo sus funciones administrativas, con el fin de prevenir, reducir y eliminar la contaminación que degradan al medio ambiente (Paz Collinao, 2015). Además, se considera como una solución de la sociedad a los problemas ambientales (CEPAL, 2014).

Valor Agregado Bruto (VAB)

El valor agregado bruto (VAB) se refiere al valor de la producción de una unidad de producción, industria o sector, descontando el valor del consumo intermedio. Es una medida que cuantifica la contribución al Producto Interno Bruto (PIB). Este saldo contable puede expresarse en términos brutos o netos, dependiendo de si incluye o no el consumo de capital fijo (INEC, 2022a).

2.2. Hipótesis (opcional) y/o preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las cantidades óptimas de emisiones de CO_2 que deben generar las industrias manufactureras?
- ¿Cuáles es el valor óptimo de gasto corriente que deberían destinar las industrias de manufactura para reducir las emisiones de CO_2?

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Recolección de la Información

Población

La población se refiere a un conjunto de elementos o unidades que comparten ciertas características similares y que son objeto de estudio (Gómez et al., 2016). En otras palabras, representa el conjunto completo de individuos que se desea investigar, los cuales comparten características comunes dentro de un periodo de tiempo y un espacio específico (Bernal Torres, 2010).

La población de estudio de la investigación comprende la industria manufacturera ecuatoriana, específicamente de la provincia de Tungurahua que está compuesta por 279 empresas de diferentes tamaños, distribuidas de la siguiente manera: 16 grandes empresas, 34 medianas empresas, 169 microempresas y 53 pequeñas empresas, según la información obtenida de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (2023).

Muestra

La muestra consiste es un subconjunto o porción seleccionada de la población, de la cual se obtiene la información necesaria para llevar a cabo la investigación, y en la cual se realizarán las mediciones y observaciones de las variables que son objeto de estudio (Bernal Torres, 2010). La muestra utilizada en la investigación está compuesta por tres sectores de la industria manufacturera, pertenecientes a la clasificación C de las actividades económicas. Estos sectores fueron seleccionados en base al Registro Estadístico de Empresas del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), considerando aquellos que presentaban un mayor volumen de ventas.

El muestreo no probabilístico, también conocido como muestreo por conveniencia, se basa en la selección de elementos de la población de forma no aleatoria. En este tipo de muestreo, no considera a todos los miembros de la población como opciones para

la selección, lo que implica que no es posible determinar con certeza qué elementos o unidades serán elegidos (López, 2004). Para la selección de las empresas, se optó por emplear un enfoque de muestreo no probabilístico. En total, se estudiaron 9 empresas, eligiendo tres de cada uno de los siguientes sectores: la fabricación de calzado (C1520), la fabricación de productos textiles (C13) y la fabricación de carrocerías (C292). Estos sectores fueron seleccionados en función de criterios relevantes y las condiciones del modelo utilizado, todas ubicadas en la provincia de Tungurahua.

Fuentes primarias

Las fuentes primarias, también conocidas como información de primera mano, son aquellas que proporcionan información directa, es decir, son el origen de la información. Este tipo de información se obtiene a través de la observación y el contacto directo con el objeto de estudio (Bernal Torres, 2010). Por lo tanto, para el desarrollo de la investigación se recolectaron datos primarios para obtener información sobre los parámetros de optimización. Para ello, se llevaron a cabo una entrevista semiestructurada dirigida a los sectores textiles, calzado y carroceros ubicados en la provincia de Tungurahua, seleccionando aquellas empresas que presentaran un alto nivel de producción y ventas.

Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias son aquellas que proporcionan información referente al tema de investigación, sin ser la fuente original de los hechos o situaciones estudiadas. Estas fuentes recopilan, analizan y presentan información previamente publicada por otras fuentes, que sirven como referencia para respaldar y completar la investigación (Bernal Torres, 2010). Para llevar a cabo esta investigación, se recurrió a fuentes secundarias de información, debido a que la revisión bibliográfica se realizó utilizando una variedad de fuentes tanto virtuales como físicas. Se consultaron portales bibliográficos reconocidos como Google Scholar, Scopus, Web of Science, Dialnet, Redalyc, Scielo, entre otros. Además de las fuentes académicas, se utilizaron informes, libros, portales y noticias relacionados con la gestión ambiental, la sostenibilidad, el impacto ambiental y la reducción de emisiones de CO_2. Estas fuentes complementarias brindaron un panorama más amplio y actualizado sobre el tema de estudio.

Técnicas

Entrevista semiestructurada

La entrevista semiestructurada se compone de un conjunto de preguntas diseñadas como guías, las cuales se formulan de manera abierta. Esta técnica permite recopilar información detallada y valiosa, ofreciendo una mayor diversidad de matices en las respuestas obtenidas, enriqueciendo la comprensión del fenómeno estudiado (Folgueiras Bertomeu, 2016).

Para este estudio, se utilizó información de tipo transversal obtenida a través de una entrevista semiestructurada. Está entrevista abordo los parámetros de optimización como inversión y gasto, gestión ambiental, cantidad de emisiones de CO_2 en función al uso de combustibles fósiles en actividades de producción y de transporte, y economía circular en las empresas dedicadas a la producción de calzado, textiles y carrocerías en la provincia de Tungurahua. El objetivo fue obtener información de primera mano y actualizada para llevar a cabo el proyecto de investigación.

Instrumentos

Cuestionario

Es una herramienta valiosa y eficiente para recolectar información de manera rápida. Está compuesta por un conjunto de preguntas o ítems que se pueden formular en forma de interrogación, enunciado, afirmación o negación, y ofrecen diversas opciones de respuesta (Casas Jiménez et al., 2006).

El cuestionario consta de treinta y cinco preguntas de naturaleza mixta, que abarcan preguntas dicotómicas, abiertas, cerradas y de tipo nominal. Esta variedad se ha diseñado con el propósito de recopilar tanto información cuantitativa como cualitativa. Por consiguiente, el cuestionario se estructura en cuatro bloques: el primero abarca preguntas informativas relacionadas con la actividad económica, volumen de producción, ingresos, inversión, gastos, entre otros aspectos relevantes; el segundo se centra en aspectos de gestión ambiental, incluyendo permisos, actividades, certificados y consultorías externas relacionadas con temas ambientales; el tercero se dedica

específicamente a las emisiones de CO_2, abordando el tipo y la cantidad de consumo de combustibles fósiles dentro de la cadena de suministros y por último, se incluyen preguntas sobre la economía circular, que se enfocan en actividades específicas, proveedores ecológicos y la minimización de impactos.

3.2 Tratamiento de la Información

Para el cumplimiento de los dos objetivos específicos acerca de los parámetros de optimización para mitigar las emisiones de CO_2 en el sector manufacturero, se realizó un análisis descriptivo y explicativo con el fin determinar las variables, su comportamiento y la validez del modelo de optimización en diferentes escenarios. En consecuencia, esta investigación se clasifica como un estudio de enfoque cuantitativo, con nivele un descriptivo y explicativo, respaldado por un riguroso trabajo de campo que se basó en la recopilación de datos primarios en el lugar de los hechos. En este caso, se visitó nueve empresas de la industria manufacturera, siendo 3 del sector textil, 3 del sector calzado y 3 del sector carrocero. La técnica utilizada para la recolección de datos fue la entrevista semiestructurada, apoyada en un banco de preguntas diseñado previamente, siendo los informantes clave los gerentes y los jefes de producción. La entrevista duro aproximadamente 2 horas hasta alcanzar la saturación de los conceptos. Dicha información fue procesada mediante matrices diseñadas en Microsoft Excel y posteriormente explicada mediante un modelo matemático de optimización utilizando el software Lingo ®.

Análisis Descriptivo

Para el cumplimiento del primer objetivo, se llevó a cabo un análisis descriptivo mediante el diseño, estructuración y aplicación de una entrevista semiestructurada a las empresas textiles, carroceras y de calzado ubicadas en la provincia de Tungurahua. Esta entrevista se utilizó para recopilar información relevante sobre los parámetros de optimización y el uso de combustibles en las actividades industriales. Posteriormente, se procedió a realizar la tabulación, depuración y codificación de los datos recolectados.

A continuación, se realizó un análisis exhaustivo de los datos utilizando tablas y gráficos, los cuales proporcionaron una representación detallada de la información

obtenida. Esto incluyó la codificación de las empresas participantes, así como un resumen informativo que abarcaba el tamaño, volumen, ingresos, inversión, gasto y actividades de gestión ambiental llevadas a cabo en cada una de las instalaciones. Además, se recopilaron datos sobre las cantidades de combustibles sólidos y líquidos empleados en las diferentes etapas de producción y transporte. También se exploraron aspectos relacionados con la implementación de prácticas de economía circular en el sector manufacturero.

Por último, se llevó a cabo la conversión de los volúmenes de combustibles líquidos y sólidos a kilogramos de CO_2, teniendo en cuenta la actividad en la que se utilizan dichos combustibles. Asimismo, se proporcionó una descripción detallada de las categorías que conformaron el modelo matemático utilizado en el estudio, lo cual permitió un entendimiento profundo de los parámetros, funciones, variables de decisión y restricciones empleadas en el modelo de optimización. Por lo tanto, a cada uno de los componentes, se le otorgo un código para distinguirlo y facilitar la manipulación de los datos.

Análisis explicativo

Software Lingo (versión WIN64 20.0.16)

Para llevar a cabo el análisis explicativo, se empleó el software Lingo en su versión WIN64 20.0.16. Lingo es una herramienta especializada en la resolución de ecuaciones y problemas con el objetivo de obtener los mejores resultados, ya sea maximizando beneficios o minimizando costos (Universidad de Cádiz, 2008).

De acuerdo con Baca López (2024), el modelo de optimización está compuesto de elementos fundamentales, los cuales son los siguientes:

- Función objetivo: ecuación que destalla exactamente lo que sea desea maximizar o minimizar.
- Variables: son aquellas cantidades que pueden ser cambiadas para generar el valor óptimo de la función objetivo.
- Restricciones: fórmulas que establecen los límites de los valores o cantidades de las variables (p. 7).

Para ello, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Determinar los parámetros.
2. Establecer las restricciones.
3. Formular la función objetivo.
4. Introducir el modelo en lingo.

Por lo tanto, tras obtener la información mediante el análisis descriptivo, se procedió a establecer la ecuación [1] correspondiente al modelo matemático de optimización:

$$Zmin = \sum_{i=1}^{\eta} \mathrm{T}_{m\eta} * W_{m\eta} + \sum_{i=1}^{\omega} \mathrm{U}_{m\omega} * R_{m\omega} \qquad [2]$$

Donde,

Zmin: gasto corriente.

W: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo por tipo de combustible.

T: Gasto corriente por tipo de combustible.

m: tipo de empresa ∀ (m1: grande; m2: mediana A; m3: mediana B).

η: tipo de combustible ∀ (η 1: g. super; η 2: g. extra; η 3: diésel; η 4: gs. licuado; η 5: aceites; η 6: residuo fuel oil).

U: gasto corriente por actividad.

R: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad.

ω: tipo de actividad ∀ (ω 1: transporte; ω 2: calderas, ω 3: mantenimiento; ω 4: fuerza motriz y frio).

Una vez ya estructurada la ecuación de Zmin, se procedió a aplicar la ecuación en el software Lingo para llevar a cabo los cálculos necesarios y obtener los resultados correspondientes.

3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 3

Variable independiente: Parámetros de optimización (Inversión, Gasto, Valor bruto Agregado).

Conceptualización	Dimensiones categóricas	Indicadores	Ítems	Técnica/Instrumento
Los parámetros de optimización en la gestión ambiental son aspectos fundamentales que ayudan a mejorar el desempeño en los procesos productivos, reducir emisiones de CO_2 y minimizar el impacto ambiental.	Parámetros de optimización	Inversión	¿Cuál es la cantidad en dólares que las empresas manufactureras invirtieren en actividades de gestión y control de emisiones de CO_2?	Entrevista semiestructurada/Cuestionario a tres sectores de la industria manufacturera de la provincia de Tungurahua.
		Gasto corriente	¿Cuál es la cantidad en dólares que gasta las empresas manufactureras para la protección ambiental y la mitigación de emisiones de CO_2?	
		Valor Agregado Bruto (VAB)		

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de optimización. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4

Variable dependiente: Emisiones de CO2 causado por el consumo de combustibles fósiles.

Conceptualización	Dimensiones categóricas	Indicadores	Ítems	Técnica/Instrumento
Las emisiones de dióxido de carbono (CO2) son partículas nocivas liberadas a la atmosfera, que son resultado del consumo de combustibles fósiles durante los procesos en las industrias manufactureras que provocan grandes impactos en el ecosistema, los cuales se pueden atenuar mediante la gestión ambiental en las empresas.	Emisiones de CO_2	Kilogramos de CO_2 de gasolina súper	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de gasolina súper en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?	Entrevista semiestructurada/Cuestionario a tres sectores de la industria manufacturera de la provincia de Tungurahua.
		Kilogramos de CO_2 de gasolina extra	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de gasolina extra en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?	
		Kilogramos de CO_2 de diésel	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de diésel en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?	

Kilogramos de CO_2 de Jet Fuel	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de Jet Fuel en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?
Kilogramos de CO_2 de residuos fuel oil.	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de residuos fuel oil en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?
Kilogramos de CO_2 de crudo residual	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de crudo residual en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?
Kilogramos de CO_2 de gasolina ecopaís	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de gasolina ecopaís en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?

Kilogramos de CO_2 de aceites	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de aceites en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?
Kilogramos de CO_2 de carbón	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de carbón en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?
Kilogramos de CO_2 de gas licuado	¿Cuántos kilogramos de CO_2 se generan por el consumo de gas licuado en actividades como: calderas, calor directo, fuerza motriz y frío, transporte, mantenimiento u otros usos?
Gestión Ambiental	¿La empresa realiza gestión ambiental?
	¿La empresa ha realizado la contratación de consultoras ambientales externas?
	¿La empresa cuenta con personas dedicadas a actividades ambientales?

	¿La empresa cuenta con certificación ambiental?
	¿La empresa cuenta con permiso ambiental?

Nota. La tabla muestra la clasificación de las emisiones de CO_2. Fuente: elaboración propia con datos del INEC (2021).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados y discusión

En el siguiente apartado se detallará, con precisión, el tratamiento de la información recopilada mediante una entrevista semiestructurada de las empresas de fabricación de textiles, calzado y carrocerías, correspondientes al sector manufacturero durante el periodo 2024, teniendo en cuenta aquellas empresas que no cuentan con tecnología avanzada, con el fin de conocer las medidas de gestión ambiental que emplean las empresas que no están tecnificadas, debido a que los recursos económicos son bajos, y por ende, su preocupación es menor en temas del medio ambiente.

Los resultados que se detallan a continuación dan cumplimiento a los dos objetivos específicos y a las preguntas planteadas al inicio de la investigación. En el primer objetivo, se describió mediante tablas y gráficas la información de las empresas como datos informativos y los parámetros de optimización como la inversión y el gasto que destinan las empresas del sector manufacturero para disminuir los contaminantes en el aire generados durante las actividades de producción y transporte. De la misma la cantidad combustibles fósiles y líquidos en galones y kilogramos que usan las industrias dentro de la cadena de suministros, además, de preguntas relacionadas con la economía circular, las cuales van acompañadas con sus respectivas interpretaciones y discusiones que se produjo mediante la comparación con los resultados de otras investigaciones.

Posterior a ello, se realizó la conversión de los galones de combustibles utilizados en actividades de transporte, caldera, mantenimiento y fuerza motriz, en kilogramos de CO_2, el cual se encuentra plasmado en una tabla con su respectivo análisis. Finalmente, se calculó el valor óptimo de gasto corriente y las cantidades óptimas que deben consumir las empresas para minimizar las emisiones de CO_2, por medio del software Lingo ® (versión 20.0.16)

Análisis descriptivito: Describir los parámetros de modelización para la optimización en las emisiones de CO_2 en el sector manufacturero.

Para cumplir con el objetivo descriptivo, se trabajó con 9 empresas pertenecientes al sector manufacturero, en virtud de la accesibilidad de información de las empresas, restricciones y condiciones del modelo. Entre las nueve empresas se encuentran micro, pequeñas y medianas. Los nombres de las entidades que fueron codificados, como se aprecia a continuación:

Tabla 5

Codificación del nombre de las empresas textiles, calzado y carroceras pertenecientes al sector manufacturero.

Sector	Empresas	Código
Textil	Produtexti.Cia. Ltda.	Ft_1
	MF97 Textiles	Ft_2
	JENMAR	Ft_3
Carrocero	Varma S.A.	Fmc_1
	Cepeda Cía. Ltda.	Fmc_2
	Pico Sánchez Cía. Ltda.	Fmc_3
Calzado	Rubbershoes Cía. Ltda.	Fc_1
	Calzado Liwi	Fc_2
	Botas SCATBACK	Fc_3

Nota. La tabla muestra la codificación del nombre de las empresas textiles, calzado y carroceras pertenecientes al sector manufacturero. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 5, a cada empresa se le ha asignado un código específico que está conformado por letras mayúsculas y minúsculas, números y símbolos, con la finalidad de facilitar la manipulación de la base de datos. Al contar con códigos, se logra una identificación única y clara de cada empresa, lo cual ayuda a evitar errores y confusiones. Además, brinda la posibilidad de realizar operaciones de manera más eficiente, debido a que los códigos son más fáciles de manipular en comparación con el uso del nombre, que pueden ser más complejo de procesar. Esto refleja una mayor flexibilidad al uso de la base de datos.

Tabla 6

Datos informativos de las empresas.

Empresa	Ft_1	Ft_2	Ft_3	Fmc_1	Fmc_2	Fmc_3	Fc_1	Fc_2	Fc_3
Tiempo de la creación de la empresa (años)	16	17	25	30	24	57	40	34	35
Tipo de empresa	Mediana	Pequeña	Pequeña	Mediana	Mediana	Mediana	Pequeña	Pequeña	Microempresa
Producto de mayor demanda	Lycra 100% algodón	Boxer de adulto-niño	Bermudas para caballeros	Carrocerías bus urbano	Interprovincial tipo C5	Carrocerías metálicas tipo Interprovincial	Calzado escolar	Calzado escolar	Botín horma española
Volumen de producción (unidades)	12000	20000	1000	16	4	8	3000	250	100
Departamento de salud, seguridad ocupacional y ambiente	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
Contratación de consultoras ambientales externas	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No

Personas dedicadas a actividades ambientales	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
Permiso ambiental	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Certificación ambiental	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si
Foco de afectación medioambiental	Aguas residuales, Elevado consumo de energía eléctrica	Elevado consumo de energía eléctrica	Elevado consumo de energía eléctrica	Aguas residuales	Residuos sólidos, Elevado consumo de energía eléctrica	Residuos sólidos	Elevado consumo de energía eléctrica	No aplica	Residuos sólidos
Inversión en gestión ambiental	Si	No	Si	Si	No	Si	Si	No	No
Valor anual ($ dólares)	3500	0	500	3000	0	19300	3000	0	
Gasto corriente en gestión ambiental	Si	No	Si	Si	No	No	Si	No	Si
Valor anual ($ dólares)	2120,5	0	400	3000	0	0	2000	0	300

Actividades de economía circular	No	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si
Servicio postventa de los productos	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Proveedores ecológicos	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si
Productos diseñados para minimizar los impactos medioambientales	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si

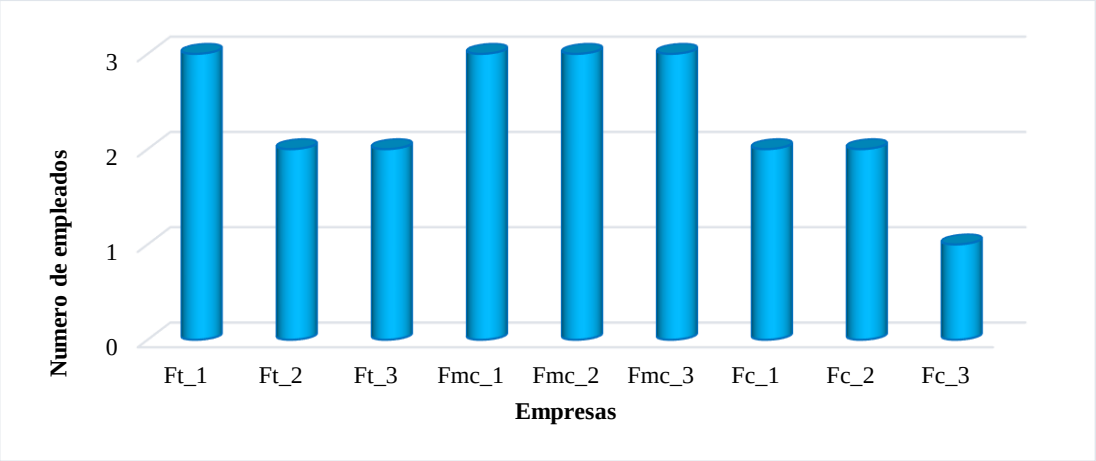
Nota. Resumen de los datos informativos de las industrias de manufactura obtenidas mediante la aplicación de la entrevista semiestructura.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se contempla que las empresas objeto de estudio cuentan con personal dedicado a actividades de gestión. Además, el 78% posee permisos ambientales, aunque no todas disponen de certificado ambiental, posiblemente debido al costo anual de mantenimiento y al sistema requerido para su gestión. Por otro lado, es notable que las empresas cuentan con proveedores ecológicos, lo cual representa un beneficio para el medio ambiente al contribuir significativamente a la protección del ecosistema.

Figura 5

Tamaño de las empresas por el número de empleados de las empresas textiles, carroceras y de calzado.



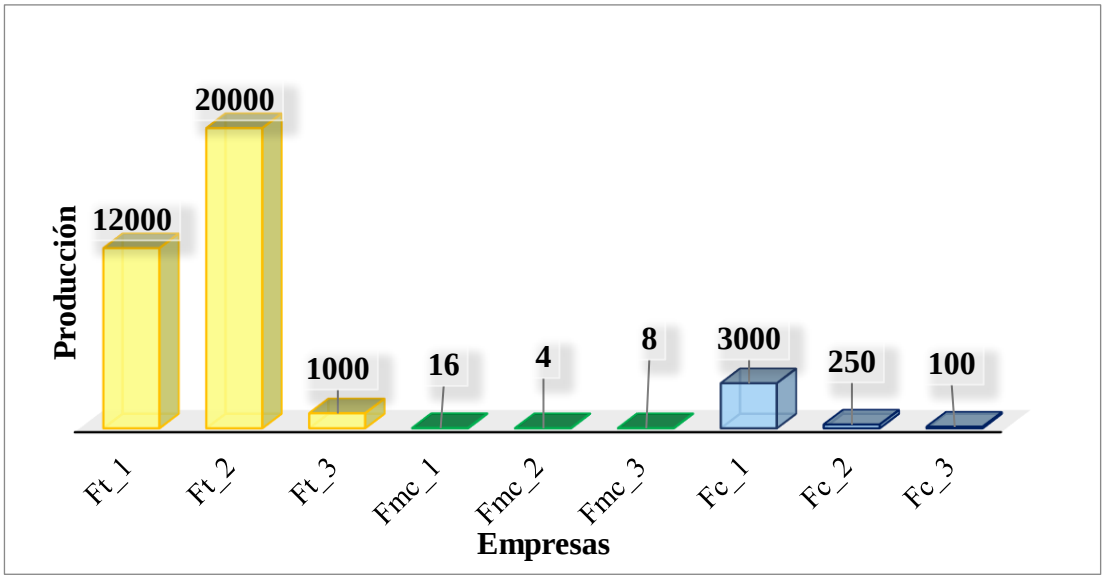
Nota. Las siguientes categorías corresponden a los valores del eje "y": 1. 1 a 9 empleados, 2. 10 a 49 empleados, 3. 50 a 99 empleados, 4. 100 a 199 empelados y 5. Más de 200 empleados. Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 muestra el tamaño relativo de las empresas en función al número de empleados, clasificándolas en micro, pequeñas y medianas empresas. Dentro del sector textil, se identificaron dos pequeñas empresas (Ft_2 y Ft_3) con una fuerza laboral de 10 a 49 empleados, y una mediana empresa con una plantilla de 50 a 99 empleados. En el sector de carrocerías, las tres empresas (Fmc_1, Fmc_2 y Fmc_3) se clasifican como medianas, debido a que tienen entre 50 y 99 empleados. En el sector del calzado, se encontraron dos pequeñas empresas (Fc_1 y Fc_2) con una fuerza laboral de 10 a 49 empleados, y una microempresa (Fc_3) con una plantilla de 1 a 9 empleados.

En resumen, de las nueve empresas analizadas, cuatro (Ft_1, Fmc_1, Fmc_2, Fmc_3) son medianas, cuatro son pequeñas (Ft_2, Ft_3, Fc_1, Fc_2) y una es una microempresa (Fc_3), abarcando distintos tamaños y estructuras en cada sector industrial.

Figura 6

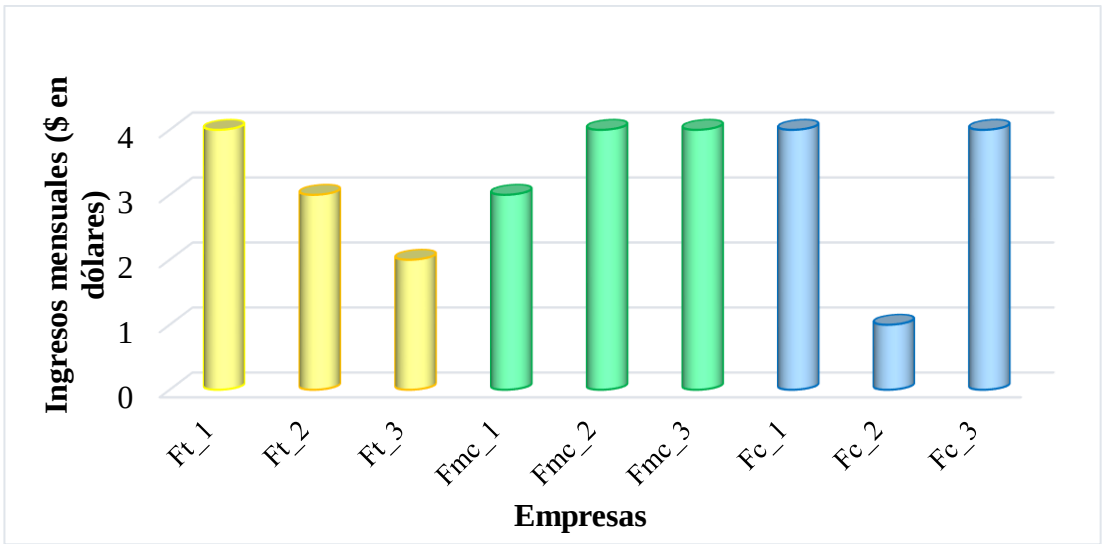
Volumen de producción mensual de las industrias textiles, carroceras y de calzado.



Nota. La figura muestra el volumen de producción de las industrias textiles, carroceras y de calzado. Fuente: elaboración propia.

Figura 7

Ingreso bruto por ventas mensuales ($ en dólares).



Nota. Los valores del eje "y" se encuentran representan las siguientes categorías: 1. Menos 1000 USD, 2. 2001 a 5000 USD, 3. 5001 a 10000 USD y 4. Más de 10000 USD. Fuente: Elaboración propia.

Los ingresos empresariales desempeñan un papel fundamental en la sostenibilidad y el crecimiento de las compañías, así como en la generación de empleo. Como se aprecia en la Figura 7, los ingresos mensuales de las nueve empresas presentan fluctuaciones, las cuales pueden atribuirse a diversos factores, como el volumen de producción, la calidad de los materiales, el precio y la competencia, entre otros.

En el sector textil, se visualiza que existe una relación inversamente proporcional entre el volumen de producción (Figura 6) y el nivel de ingresos (Figura 7) de las empresas Ft_1 y Ft_2. Esto se debe a que la empresa Ft_1 genera mayores ingresos a pesar de producir menos que la empresa Ft_2. De manera similar, la empresa Ft_3 muestra una relación inversa entre el volumen de producción y el nivel de ingresos, dado que obtiene menos ingresos de lo que produce al fabricar 1000 prendas. Esta situación puede estar influenciada por la calidad del producto, el precio o el tipo de productos ofrecidos.

Por otro lado, en el sector carrocero se evidencia una relación inversa en las empresas Fmc_1, Fmc_2 y Fmc_3. Las industrias Fmc_2 y Fmc_3 generan mayores ingresos a pesar de producir cantidades menores, a diferencia de Fmc_1, que produce más, pero obtiene ingresos inferiores. Esto puede ocurrir cuando una empresa cuenta con tecnología avanzada pero no logra captar una cuota de mercado significativa, o debido al precio al que se vende o distribuye el producto.

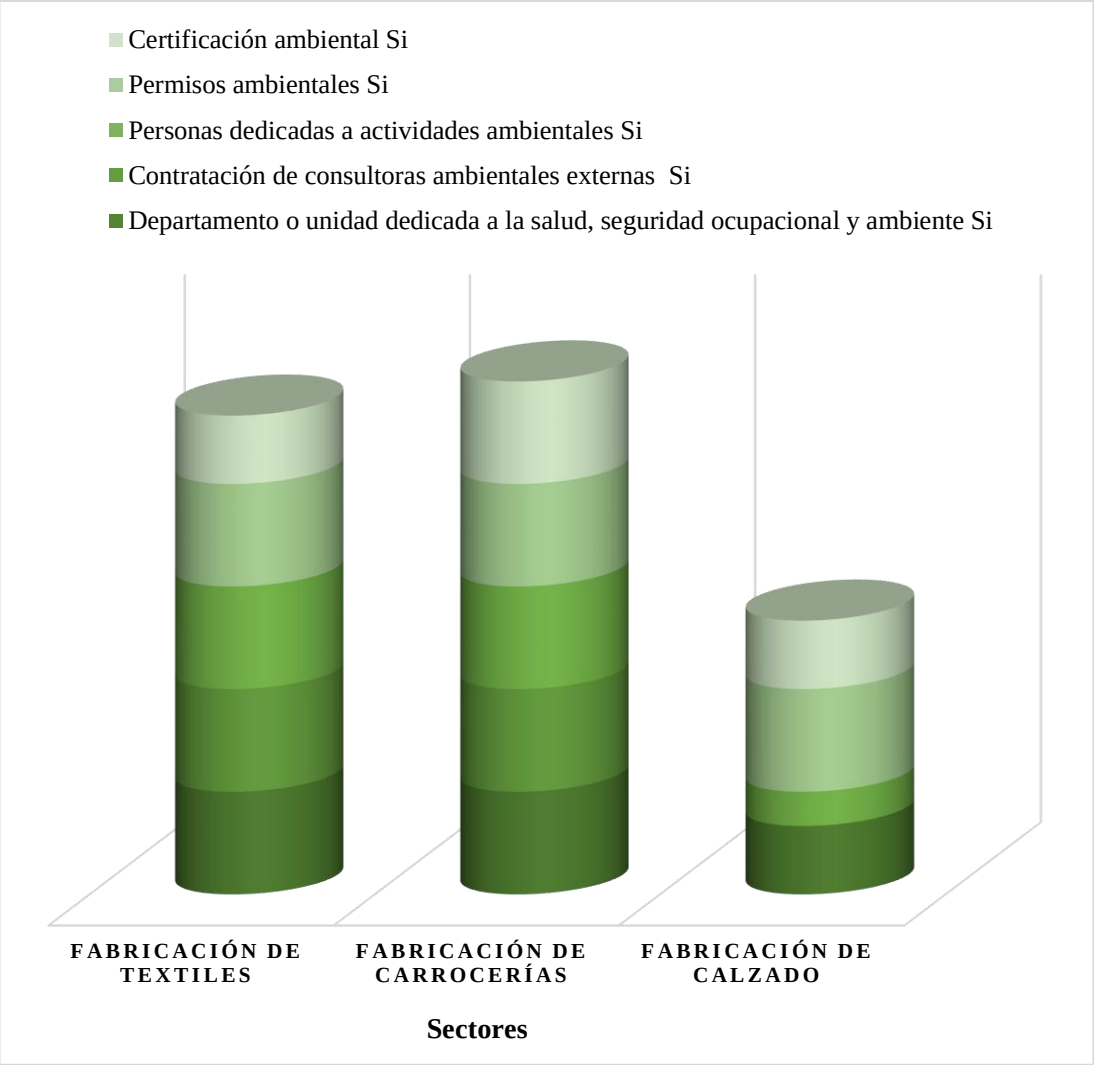
Finalmente, en el sector del calzado también se contempla una relación negativa entre las empresas Fc_2 y Fc_3. La entidad Ft_2, al producir 250 unidades, genera menos ingresos que la empresa Fc_3, que produce menos, pero obtiene mayores ganancias que Fc_2. De manera similar, se verifica una relación inversa entre el volumen de producción y los ingresos de la empresa Fc_1, puesto que esta empresa produce menos, pero genera más de 10,000 dólares en comparación con Fc_2 que genera menos de 1000 dólares. Esto sugiere que, en este sector, el nivel de ingresos puede variar debido al precio, la calidad de los materiales del producto o si se trata de productos personalizados.

En resumen, tanto en el sector textil, el carrocero como en el del calzado, se observa una relación inversa entre los niveles de ingresos y producción. Sin embargo, los

factores que influyen en esta relación pueden variar según cada sector, pero comparten similitudes en diferentes contextos.

Figura 8

Gestión ambiental.



Nota. Gestión ambiental que emplean las industrias de manufactura para mitigar efectos negativos en el medio ambiente. Fuente: elaboración propia.

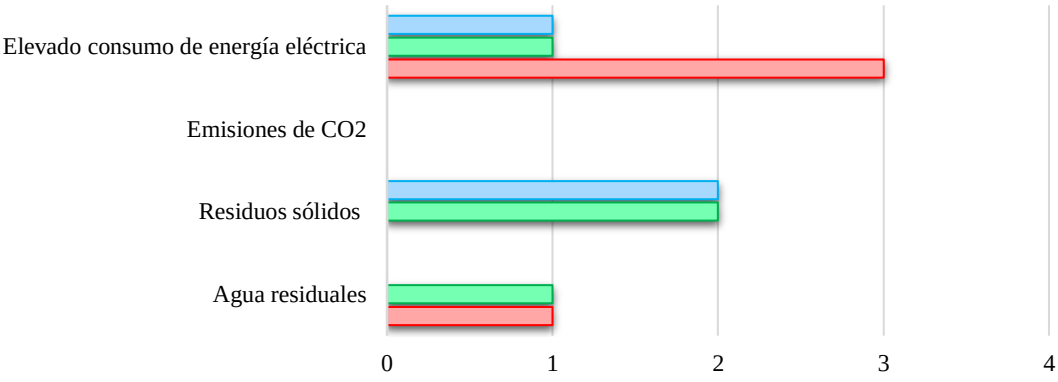
La figura 8 muestra que la mayoría de las industrias manufactureras han implementado prácticas de gestión ambiental en sus operaciones, lo que ha generado resultados positivos para contrarrestar los impactos negativos en el medio ambiente. Este hallazgo se respalda en una investigación realizada por Acuña et al. (2017), donde se demuestra que la adopción de un sistema de gestión ambiental beneficia a diversas áreas, como la gestión organizacional, comercial, financiera y el aprovechamiento de recursos.

En particular, se aprecia que el sector carrocero y textil sobresalen por su mayor adopción de medidas de gestión ambiental en sus instalaciones. Estas medidas incluyen la creación de departamentos, la contratación de personal especializado, la obtención de certificaciones y permisos ambientales, así como la contratación de consultoras externas para mitigar las emisiones contaminantes al aire. Esta mayor implementación puede atribuirse al hecho de que las empresas en el sector carrocero y textil suelen ser de mayor tamaño en comparación con las empresas del sector calzado. Además, las compañías en estos sectores suelen registrar ingresos un poco más elevados, lo que les brinda los recursos necesarios para emprender acciones de protección ambiental, cumplir con las regulaciones ambientales, satisfacer las demandas de los consumidores cada vez más comprometidos con la sostenibilidad y mejorar su imagen corporativa, así como avanzar hacia una economía más verde y responsable.

Sin embargo, es importante señalar que en el sector de calzado se observa una menor implementación de medidas de gestión ambiental en comparación con el sector carrocero. Esto puede deberse a la falta de interés, recursos limitados o al hecho de que el sector de calzado está compuesto en su mayoría por micro y pequeñas empresas que pueden enfrentar desafíos adicionales para implementar estas prácticas. A pesar de ello, es fundamental promover y apoyar la adopción de medidas de gestión ambiental en todas las empresas, independientemente de su tamaño, para garantizar un desarrollo sostenible y una protección efectiva del medio ambiente.

Figura 9

Foco de afectación medioambiental.



	Agua residuales	Residuos sólidos	Emisiones de CO2	Elevado consumo de energía eléctrica
Fabricación de calzado	0	2	0	1
Fabricación de carrocerías	1	2	0	1
Fabricación de textiles	1	0	0	3

Nota. La figura presenta el principal foco de afectación medioambiental que generan las empresas textiles, carroceras y de calzado. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9, se verifica una mayor afectación ambiental debido al consumo elevado de energía eléctrica en los tres sectores, destacándose especialmente en el sector textil. Esta situación puede atribuirse a los diversos procesos involucrados en la elaboración de productos textiles, como el corte, la confección, el teñido, los acabados, entre otros, que requieren un consumo significativo de energía eléctrica.

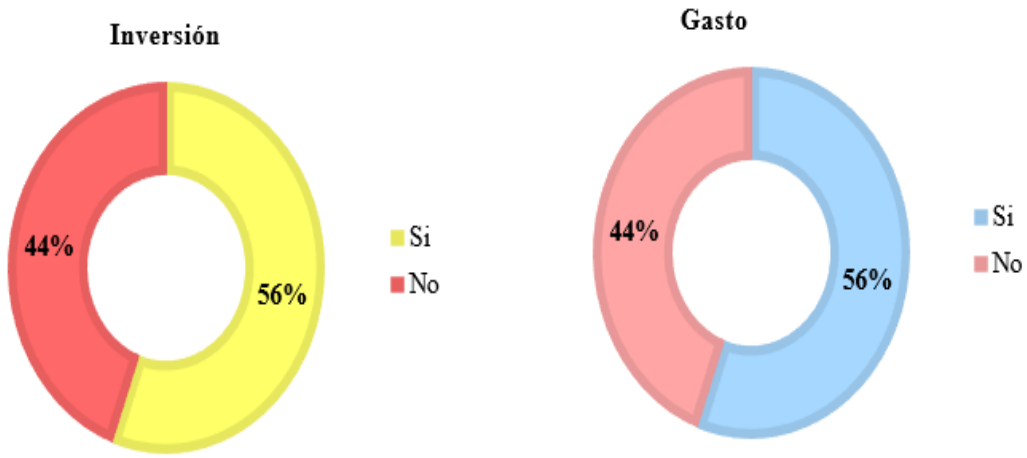
En relación con los residuos sólidos, se evidencia que las empresas del sector calzado y carrocero registran niveles altos de generación de residuos sólidos. Esto se debe a que estas empresas utilizan una amplia variedad de materiales y componentes en la fabricación de sus productos, lo que resulta en la generación de desperdicios sobrantes de cuero, tela, plástico, metal, entre otros. Estos desperdicios se generan durante los procesos de modelado, corte y ensamblaje, contribuyendo así a la acumulación de residuos sólidos.

Por último, se destaca que tanto el sector textil como el carrocero generan aguas residuales. Esto se debe a que estas empresas llevan a cabo procesos de lavado, teñido, limpieza y tratamiento de superficies, que implican el uso de diversos productos

químicos, como colorantes, químicos auxiliares, detergentes, solventes, desengrasantes, pinturas, entre otros productos más. Estos productos químicos se disuelven en el agua utilizada en estos procesos, lo que resulta en la generación de aguas residuales contaminadas.

Figura 10

Inversión y gasto corriente para mitigar los impactos ambientales.



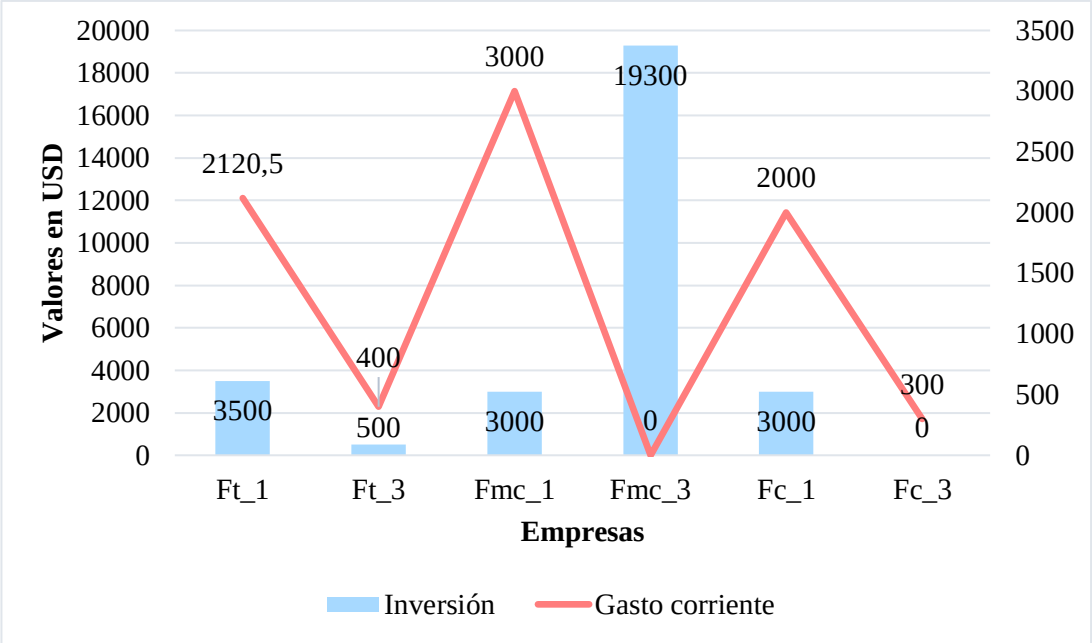
Nota. La figura presenta el porcentaje de inversión y gasto corriente que han realizado las empresas manufactureras durante los 3 últimos años. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 10, se observa que, en los últimos 3 años, las nueve industrias de manufactura han invertido y gastado un 56% de su presupuesto, lo cual indica un nivel alto de compromiso para contrarrestar los efectos negativos causados por sus empresas y su contribución a una economía más sostenible. Sin embargo, es importante destacar que aproximadamente el 44% de las empresas estudiadas no asignan recursos para mitigar los impactos ambientales causados por sus actividades.

Esta falta de inversión y gasto puede atribuirse a diferentes factores, como la presencia de actividades y departamentos de gestión ambiental en estas empresas, lo que sugiere que ya están implementando prácticas sostenibles y no requieren de una inversión o gasto adicional específico. Además, el tamaño de las empresas puede influir en su capacidad para destinar recursos financieros a la sostenibilidad ambiental.

Figura 11

Monto de inversión y gasto corriente (en $ dólares).



Nota. Nivel de inversión y gastos corriente que destinan las empresas para mitigar los impactos ambientales (en $ dólares). Fuente: Elaboración propia.

La figura 11 muestra que, de las nueve empresas analizadas, seis de ellas han realizado inversiones durante los últimos tres años. Destaca la empresa Fmc_3 del sector carrocero, que ha destinado $19.300 en inversiones. En contraste, las empresas del sector textil y de calzado revelan niveles significativos de inversión, lo que indica un claro interés en contribuir a la reducción de contaminantes a lo largo de su cadena de suministro.

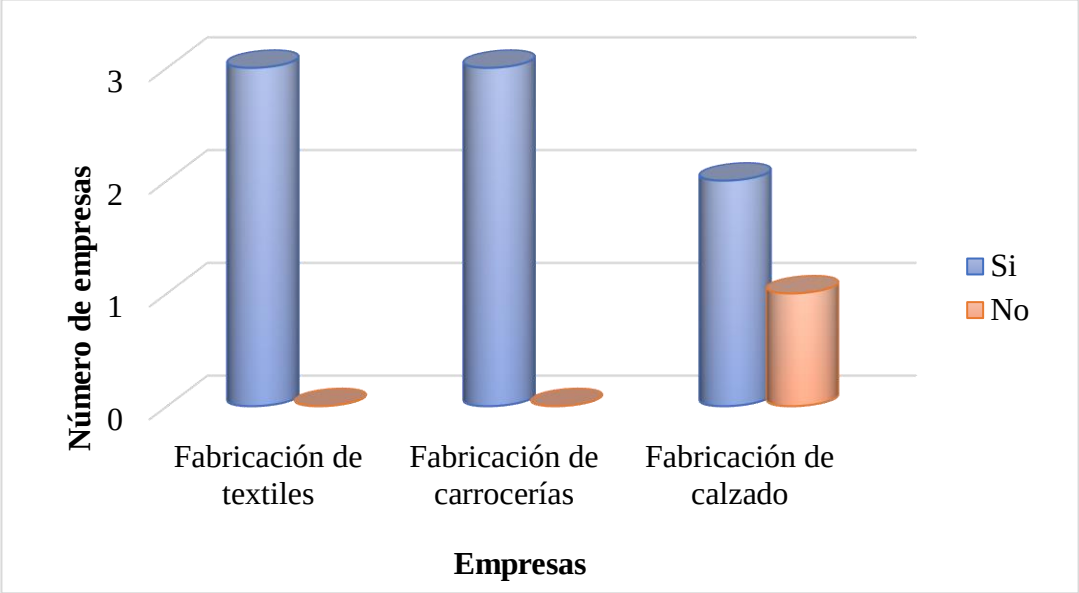
En cuanto al gasto corriente, se examina que el monto destinado es similar en las empresas que no realizan grandes inversiones (Ft_1, Ft_3, Fmc_1, Fc_1). Es importante tener en cuenta que la empresa Fc_3, que no destina recursos a la inversión, realiza un gasto de $300 para hacer frente a los efectos negativos generados por su actividad. Es destacable que, a pesar de ser una microempresa, Fc_3 destina un valor significativo para mitigar el impacto negativo, mostrando responsabilidad ambiental.

Por último, es relevante mencionar que la industria Fmc_3, que realiza mayores inversiones, no genera gastos corrientes adicionales. Un resultado similar se observó en el estudio llevado a cabo González Acolt et al. (2019), quienes determinaron que,

existe un bajo número de empresas que destinan recursos económicos para mitigar los impactos negativos generados por sus operaciones. Por lo tanto, es importante destacar que, aunque algunas empresas no destinan inversión en sostenibilidad ambiental, existen aquellas que sí gastan y realizan esfuerzos para contribuir al medio ambiente en la medida de sus posibilidades. Esto indica que, aunque no haya una inversión económica directa, se están implementando acciones o medidas para abordar los impactos ambientales generados por estas empresas.

Figura 12

Uso de combustibles sólidos y líquidos en actividades de producción y transporte.

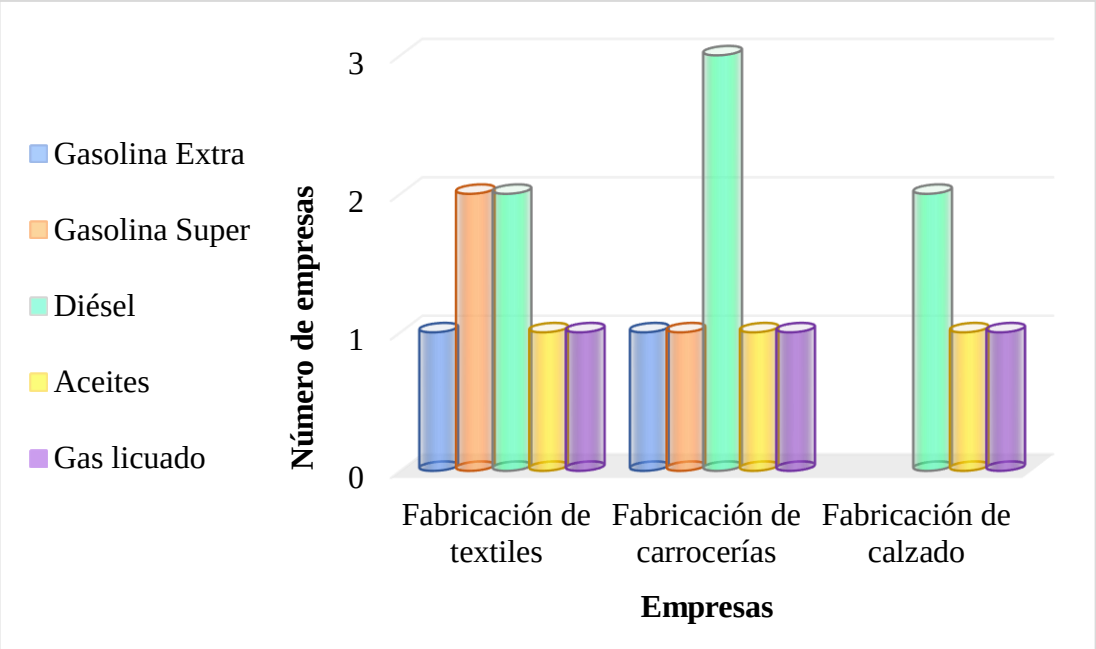


Nota. Empleo de combustibles fósiles y líquidos en actividades de producción y transporte dentro de la cadena de suministros de las empresas manufactureras. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12, se observa que las tres empresas de la industria manufacturera han utilizado combustibles fósiles y líquidos en sus actividades, lo que implica una mayor emisión de contaminantes de $CO_{2,}$ directa o indirectamente al ecosistema. Es importante destacar que solo una empresa del sector calzado (Fc_2) no hace uso de combustibles en su cadena de suministro, lo cual puede deberse a la sustitución o mejora de sus procesos en la fabricación de sus productos. Esto indica un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente en comparación con las otras empresas manufactureras.

Figura 13

Principales combustibles usados en las empresas manufactureras.



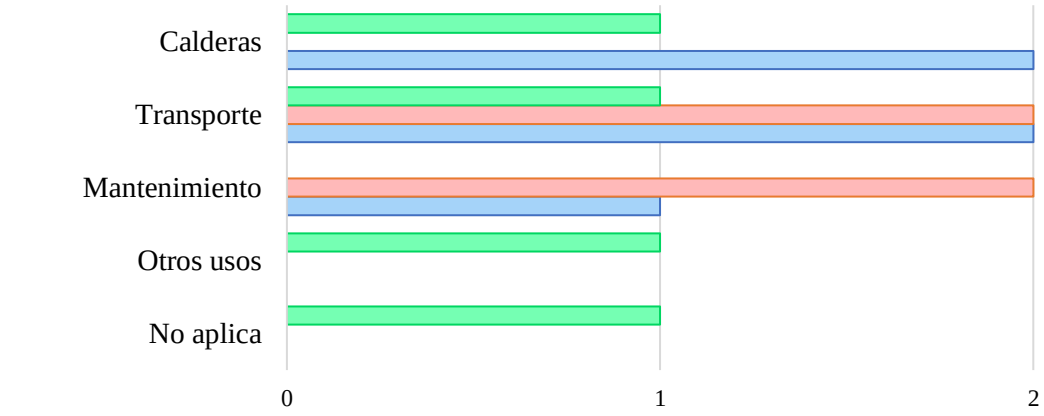
Nota. La figura muestra el principal combustible que utilizan las industrias de manufactura en actividades de producción y transporte. Fuente: Elaboración propia.

La figura 13 revela los principales combustibles utilizados por las empresas manufactureras en su cadena productiva. Se identifica que el combustible diésel es el más utilizado entre las tres empresas carroceras (Fmc_1, Fmc_2 y Fmc_3), las dos textiles (Ft_1 y Ft_3) y las dos de calzado (Fc_1 y Fc_3), el cual se emplean en actividades de transporte y otros usos. En segundo lugar, el gas licuado es utilizado por cada una de las industrias de calzado (Fmc_2), textil (Ft_1) y carrocera (Fc_3), siendo utilizando en calderas y procesos de soldadura o pintura.

Por otro lado, el uso de aceites es muy frecuente para actividades de manteamiento dentro de las empresas manufactureras (Ft_3, Fmc_2 y Fc_1). Finalmente, la gasolina super y extra, las cuales se emplean con frecuencia en actividades de transporte dentro de empresas textiles (Ft_1, Ft_2 y Ft_3) y empresa carrocera (Fmc_3), para impulsar vehículos y garantizar la movilidad en las operaciones de dichas empresas.

Figura 14

Principales actividades en las que se utiliza combustibles sólidos y líquidos.



	No aplica	Otros usos	Mantenimiento	Transporte	Calderas
Fabricación de calzado	1	1	0	1	1
Fabricación de carrocerías	0	0	2	2	0
Fabricación de textiles	0	0	1	2	2

Nota. Otros usos incluyen: Uso en laboratorios químicos (Jet fuel); Pintura (Diésel); Elaboración de asfalto, grasa o lubricantes (Aceites); Procesos de cianuración (Carbón). Fuente: Elaboración propia.

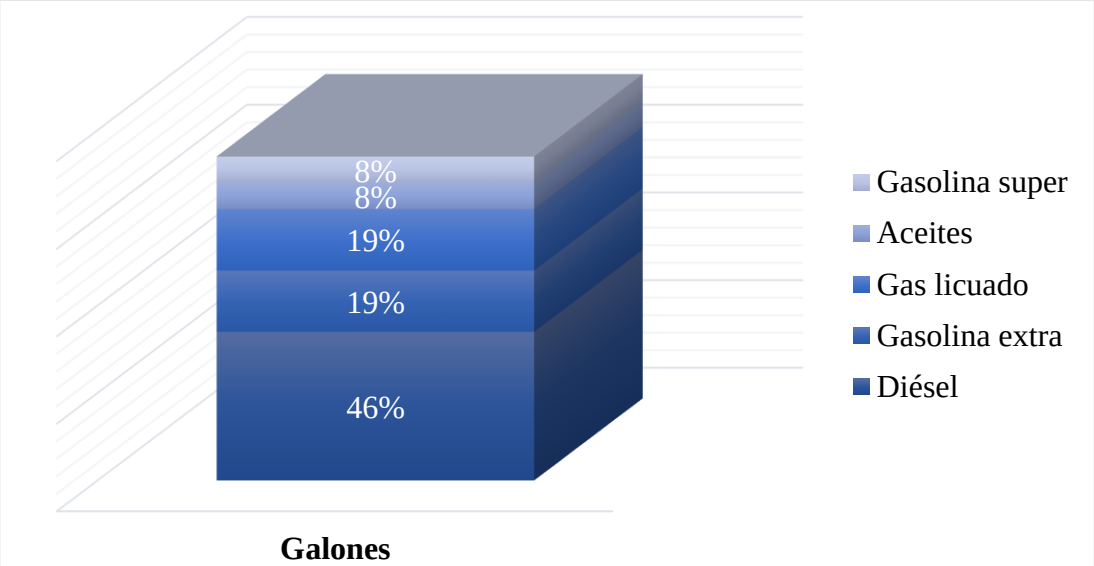
Como se aprecia, la figura 14 presenta las principales actividades en las que se utilizan combustibles dentro del sector manufacturero. Se observa que las empresas textiles y carroceras emplean la mayor parte de los combustibles en actividades de transporte, mantenimiento y calderas, que ayudan a movilizar vehículos, mantener equipos en funcionamiento y como fuente de energía para las máquinas utilizadas en los procesos de producción. Este hallazgo se respalda en el estudio realizado por Aldás Salazar et al. (2024), donde se demuestra que las calderas son las principales consumidoras de combustibles debido a los procesos de transformación que experimenta su producto.

En el caso del sector de calzado, se utiliza combustible en actividades como calderas, transporte y otros usos adicionales. Estos usos adicionales incluyen el empleo de combustibles en laboratorios químicos (Jet fuel), en procesos de pintura (Diésel), en la elaboración de asfalto, grasa o lubricantes (Aceites) y en procesos de cianuración (Carbón). Estas actividades forman parte de la cadena de suministro necesaria para la fabricación y distribución del producto. Por lo tanto, es importante destacar que una

empresa de calzado no utiliza combustibles en ninguna de las actividades mencionadas, lo cual puede indicar que ha implementado medidas alternativas o más sostenibles en su proceso productivo.

Figura 15

Porcentaje (%) de los principales combustibles sólidos y líquidos utilizados en las industrias de manufactura.



Nota. Porcentaje de los principales combustibles utilizados en las empresas de manufactura. Fuente: Elaboración propia.

La figura 15 proporciona información detallada sobre las fuentes de combustible utilizadas por las nueve empresas manufactureras que fueron objeto de análisis. Estos datos son relevantes para comprender el panorama productivo y las opciones de combustible preferidas en el sector industrial.

Según la figura, se identificó que el 46% de las empresas analizadas emplea diésel como fuente de combustible principal. Este dato revela una notable dependencia de este combustible fósil en el sector manufacturero. Un descubrimiento paralelo confirma que el diésel es ampliamente utilizado en diversos sectores y que es uno de los principales causantes de los problemas de contaminación ambiental a nivel mundial (Chow, 2011).

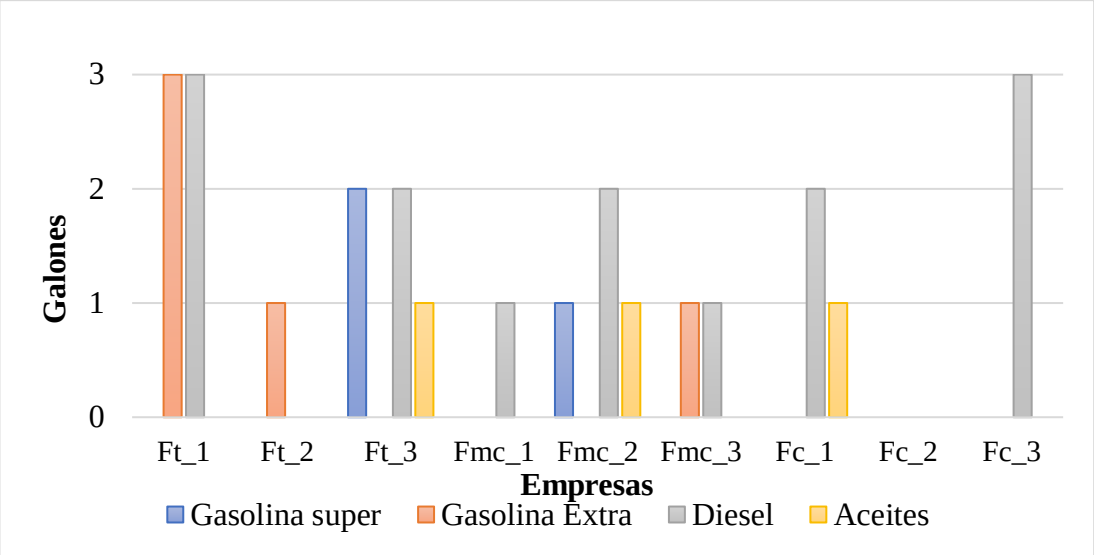
Además, el 19% de las empresas utiliza gasolina extra y el otro 19% se utiliza el gas licuado como parte de sus fuentes de combustible. Estos combustibles también son

derivados del petróleo y generan emisiones de CO_2 considerables, los cuales pueden estar relacionados con actividades específicas dentro de las empresas manufactureras, como, por ejemplo, en procesos de transporte o en equipos especializados.

Por otro lado, se identifica que el 8% de las empresas consumen aceites como fuente de combustible, mientras que otro 8% utiliza gasolina super. Estas cifras, aunque representan una proporción menor en comparación con el diésel y la gasolina extra, aún indican la presencia de prácticas de consumo de combustibles líquidos en el sector manufacturero, así como la contribución a generar gases contaminantes.

Figura 16

Uso principal de combustibles líquidos (en galones).



Nota. En la figura se excluyó el dato de los combustibles jet fuel, residuo fuel oíl, gasolina ecopaís y crudo residual debido a que ninguna empresa no utiliza estos tipos de combustibles dentro de sus actividades. Además, los números representan los galones consumidos, siendo 1. 1 a 10 galones, 2. 11 a 20 galones y 3. Más de 40 galones. Fuente: Elaboración propia.

Al examinar la figura 16, se destaca que, de las nueve empresas manufactureras analizadas, siete de ellas utilizan diésel en sus actividades productivas y de transporte. Las empresas Ft_1 y Fc_3 se destacan por su consumo mensual de más de 40 galones en su cadena de suministro, seguidas de las empresas Ft_3, Fmc_2 y Fc_1, que consumen entre 11 a 20 galones al mes. Por último, las empresas Fmc_1 y Fmc_3 que

consumen entre 1 a 10 galones mensuales, ya sea para la distribución de mercancías o para otros usos que son necesarios dentro de la elaboración del producto.

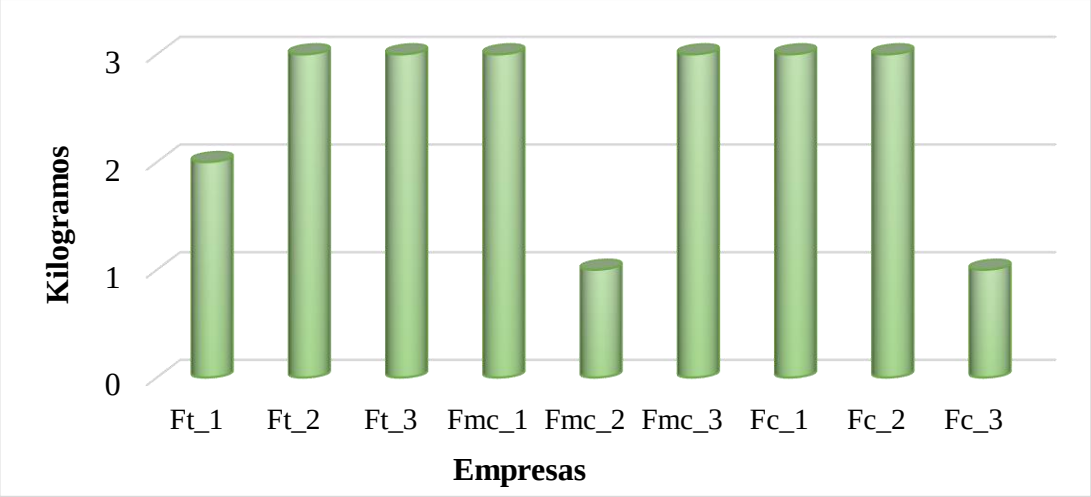
En cuanto al consumo de gasolina extra, se observa que la empresa Ft_1 ha consumido más de 40 galones. Le siguen las empresas Ft_2 y Fmc_3, que consumen entre 1 a 10 galones mensuales, lo cual significa que se usa exclusivamente para fines de transporte, dado que las cantidades consumidas son relativamente bajas en comparación con el consumo de diésel.

En relación con la gasolina super, las empresas Ft_3 y Fmc_2 consumen entre 1 a 10 galones al mes, posiblemente utilizados también para la movilización de vehículos más pequeños. Por último, las empresas Ft_3, Fmc_2 y Fc_1 demandan entre 1 a 10 galones mensuales de aceites, los cuales pueden ser utilizados cómo lubricantes para la maquinaria.

Es importante señalar que la empresa Fc_2 no consume combustibles fósiles, por lo tanto, no se registra ningún consumo en este sentido.

Figura 17

Uso de principal de combustibles sólidos (Gas licuado en kilogramos).



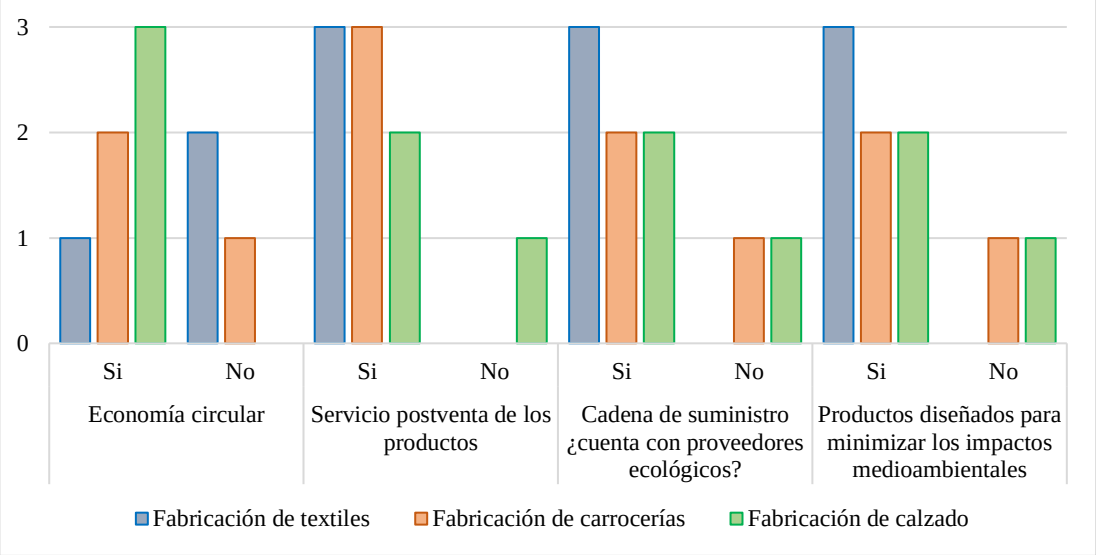
Nota. En la figura se excluyó el dato del carbón debido a que ninguna empresa no utiliza este combustible dentro de sus actividades. Además, los números representan los kilogramos consumidos, siendo 1. 1 a 10 kilogramos, 2. Más de 40 kilogramos y 3. No aplica. Fuente: Elaboración propia.

La figura 17 ilustra la demanda de kilogramos de gas licuado por parte de las industrias manufactureras. Se puede observar que la mayoría de las empresas dentro del sector manufacturero no utilizan grandes cantidades de gas licuado en su cadena de suministro. No obstante, se identificaron tres empresas que sí consumen este tipo de combustible líquido; la empresa Ft_1 destaca como la mayor consumidora, con una demanda de más de 40 kilogramos, en contraste con las empresas Fmc_2 y Fc_3, que consumen entre 1 a 10 kilogramos. Este consumo puede estar relacionado con las actividades específicas que realizan en sus respectivas cadenas de suministro y la cantidad de producción que generan.

Cabe recalcar que el gas licuado no es ampliamente utilizado en el sector manufacturero, puesto que otras fuentes de energía y combustibles son más comunes para las operaciones de estas empresas.

Figura 18

Economía Circular.



Nota. Actividades de economía circular dentro de los sectores de manufactura. Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 18, se destaca un nivel significativo de actividades de economía circular dentro de las empresas del sector manufacturero. Al analizar la gráfica, se evidencia que la mayoría de las empresas textiles, de calzado y carroceras están comprometidas con la implementación de prácticas de economía circular en sus

instalaciones. Estas empresas han adoptado estrategias como el servicio posventa, la creación de productos diseñados para mitigar los impactos ambientales y el establecimiento de relaciones con proveedores que siguen prácticas ecológicas. Estas acciones contribuyen a la protección ambiental y a la reducción del impacto negativo de sus operaciones.

No obstante, se identificó que algunas empresas que no cumplen con las actividades relacionadas con la economía circular. Esto puede deberse a diversos factores, como la falta de recursos financieros, la falta de conocimiento sobre las prácticas de economía circular y la falta de tecnificación en los procesos productivos, entre otros. Este hallazgo se encuentra respaldado en el estudio llevado a cabo por Garabiza et al. (2021), donde se descubrió que las industrias enfrentan limitaciones para la transición del modelo de producción lineal a la circular. Estas limitaciones requieren establecer vínculos y recibir apoyo para fomentar la capacidad de emprendimiento e innovación.

Es importante destacar que la implementación de la economía circular en el sector manufacturero es fundamental para lograr una producción más sostenible y reducir el impacto ambiental de las actividades industriales. Por lo tanto, las empresas que aún no han adoptado estas prácticas pueden beneficiarse al implementar medidas de economía circular en términos de eficiencia, reducción de costos y mejora de su imagen corporativa en relación con la protección ambiental.

Tabla 7

Emisiones de CO_2 (en kilogramos) por tipo de combustibles sólidos y líquidos.

Combustibles sólidos y líquidos	Fabricación de textiles	Fabricación de carrocerías	Fabricación de calzado
Gasolina súper	180,53	90,26	0,00
Gasolina extra	531,95	88,66	0,00
Jet fuel	0,00	0,00	0,00
Diésel	723,60	413,48	723,60
Residuo fuel oíl	0,00	0,00	0,00
Crudo residual	0,00	0,00	0,00
Gasolina ecopaís	0,00	0,00	0,00
Aceites	6,53	6,53	6,53
Gas natural	0,00	0,00	0,00
Gas licuado	150,00	30,00	30,00

Carbón	0,00	0,00	0,00

Nota. Emisiones de CO_2 en kg generados por diferentes combustibles, dentro de la industria de manufactura. Fuente: Elaboración propia con los coeficientes del INEC (2022a).

La tabla 7 ilustra la conversión de galones de combustibles sólidos y líquidos a kilogramos de dióxido de carbono (CO_2). En el contexto de las actividades de producción y transporte en los sectores textil, carrocero y de calzado, se destaca el uso predominante del Diesel como combustible, con emisiones de CO_2 de 723,60 (70 gal) y 413,48 (40 gal) kilogramos por galón empleado. A continuación, se encuentra la gasolina extra, que emite 531,95 (60 gal) y 88,66 (10 gal) kilogramos de CO_2. Asimismo, la gasolina super contribuye con 180,53 (20 gal) y 90,26 (10 gal) kilogramos de dióxido de carbono. Para los aceites, se registran emisiones de CO_2 de 6,53 (10 gal), mientras que el gas licuado genera 150,00 (50 kg) y 30,00 (10 kg) kilogramos de CO_2 en la cadena de producción de diversos productos dentro del sector manufacturero.

Tabla 8

Total de misiones de CO_2 en kg generados por el consumo de combustibles en diferentes actividades.

Empresas	Total, kilogramos de CO2
Textiles	1594,20
Carroceras	628,93
Calzado	760,12

Nota. La tabla muestra el total de kilogramos de CO_2 producidos por el consumo de combustibles en diferentes actividades dentro de las industrias manufactureras. Fuente: Elaboración propia con los coeficientes del INEC (2022a).

Las empresas manufactureras emiten gases contaminantes a lo largo de su cadena de suministro, y se verifica que los sectores textil y calzado son los principales generadores de emisiones de dióxido de carbono, superando los 1.000 kg de CO_2 (figura 8). El sector textil, en primer lugar, registra una emisión de 1.594,20 CO_2, lo cual puede atribuirse al elevado consumo de combustibles como gasolina súper, extra, diésel, aceites y gas licuado en actividades como el funcionamiento de calderas, el transporte y el mantenimiento. Un hallazgo similar revela la industria textil se destaca

como una de las principales generadoras de emisiones de CO_2 debido a su actividad económica (Garzón Martínez, 2021).

En segundo lugar, el sector calzado emite 760,12 kg de CO_2, lo cual se debe al uso de combustibles como diésel, aceites y gas licuado, así como a actividades relacionadas con el transporte y otros usos. Por último, se evidencia que el sector carrocero es el menos contaminante en comparación con los dos sectores mencionados anteriormente, generando 628,93 kg de CO_2 debido a un menor consumo de combustibles (gasolina súper, extra, diésel, aceites y gas licuado) en actividades relacionadas con el transporte y el mantenimiento de la empresa. Así mismo se demuestra en un estudio realizado en China, que este sector tiene un gran potencial para reducir las emisiones de CO_2, posiblemente debido a sus nivele de inversión y adopción de prácticas ambientales (Jia et al., 2019).

Análisis explicativo: Establecer escenarios considerando los parámetros de optimización en las emisiones de CO_2 en el sector manufacturero.

Para el cumplimento del segundo objetivo, se analizaron los datos del gasto corriente ($ en dólares) por tamaño de empresa, las cantidades de emisiones de CO_2 en kg por el consumo de combustibles (gasolina super, gasolina extra, diésel, gas licuado, aceites y residuo fuel oil) y por actividad (transporte, calderas, mantenimiento y fuerza motriz y frío), mediante el uso del software Lingo ®. Previo al tratamiento de los datos, se codifico cada una de las variables mencionadas, con la finalidad de que sea más manejable los datos en el programa y minimizar los errores en el cálculo. Esto se realizó para aplicar las respectivas ecuaciones utilizadas en el modelo matemático con el objetivo de determinar el valor óptimo que las empresas deberían producir y destinar para minimizar las cantidades de emisiones de dióxido de carbono en el medio ambiente.

Modelo Matemático

Modelo 1 Gasto corriente en función al tipo de combustible

Tabla 9

Coeficientes del modelo 1.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
		B	**Desv. Error**	**Beta**		
1	(Constante)	-0,126	0,342		-0,369	0,712
	Gasolina super (CO_2 en kg)	-0,022	0,028	-0,028	-0,801	0,001
	Gasolina extra (CO_2 en kg)	0,076	0,026	0,102	2,914	0,004
	Diésel (CO_2 en kg)	0,163	0,029	0,206	5,692	0
	Gas licuado (CO_2 en kg)	0,096	0,026	0,137	3,764	0
	Aceites (CO_2 en kg)	0,074	0,047	0,059	1,581	0
	Residuo fuel oil (CO_2 en kg)	0,172	0,031	0,2	5,531	0

Nota. La tabla muestra los coeficientes del modelo 1. Fuente: Datos obtenidos de Aldás Salazar et al. (2024).

Ecuación matemática del modelo 1

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + u \quad [3]$$

$$Y = -1{,}26 - 0{,}022X_1 + 0{,}076X_2 + 0{,}163X_3 + 0{,}096X_4 + 0{,}074X_5 + 0{,}172X_6 + 0{,}05$$

$$Gasto\ corriente = -1{,}26 - 0{,}022g.super + 0{,}076g.extra + 0{,}163diésel + 0{,}096gs.licuado + 0{,}074aceites + 0{,}172residuo\ fuel\ oil + 0{,}05$$

Donde,

***Y*:** gasto corriente

***X_1*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de gasolina super.

***X₂*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de gasolina extra.

***X₃*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de diésel.

***X₄*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de gas licuado.

X₅: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de aceites.

***X₆*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de residuo fuel oil.

***u*:** termino de error.

La Tabla 9 presenta los coeficientes correspondientes al Modelo 1, los cuales se utilizaron para establecer la función matemática correspondiente al gasto corriente como variable dependiente y las emisiones de CO_2 en kilogramos derivadas del consumo de seis tipos de combustibles sólidos y líquidos como variables independientes.

La formulación de la función se basó en los pesos de las betas de los coeficientes no estandarizados de cada tipo de combustible, que son los siguientes: gasolina extra (-0,022), gasolina super (0,076), diésel (0,163), gas licuado (0,096), aceites (0,074) y residuo fuel oil (0,172). Estos valores reflejan la contribución relativa de cada tipo de combustible en relación con los gastos corrientes y las emisiones de CO_2.

Modelo 2 Gasto corriente en función de las actividades

Tabla 10

Coeficientes del modelo 2.

		Coeficientes no estandarizados		**Coeficientes estandarizados**	**t**	**Sig.**
		B	Desv. Error	Beta		
2	(Constante)	-2,919	3,413		-0,855	0,431
	Transporte	0,351	0,212	0,316	1,651	0,001
	Calderas	0,205	0,175	0,269	1,17	0
	Mantenimiento	0,289	0,213	0,379	1,357	0

Fuerza motriz y frío	0,148	0,076	0,375	1,95	0,017

Nota. La tabla muestra los coeficientes del modelo 2. Fuente: Datos obtenidos de Aldás Salazar et al. (2024) .

Ecuación matemática del modelo 2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + u \quad [4]$$

$$Y = -2{,}919 + 0{,}351X_1 + 0{,}205X_2 + 0{,}289X_3 + 0{,}148X_4 + 0{,}05$$

$$Gasto\ corriente = -2{,}919 + 0{,}351transporte + 0{,}205calderas + 0{,}289mantenimiento + 0{,}148fuerza\ motrix\ y\ frío + 0{,}05$$

Donde,

***Y*:** gasto corriente

***X₁*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de combustibles en actividad de transporte.

***X₂*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de combustibles en actividad de calderas.

***X₃*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de combustibles en actividad de mantenimiento.

***X₄*:** cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de combustibles en actividad de fuerza motriz y frío.

***u*:** termino de error.

La tabla 10 presenta los coeficientes correspondientes al modelo 2, los cuales se utilizaron para establecer la función matemática correspondiente con el gasto corriente como variable dependiente y las emisiones de CO_2 en kilogramos derivadas del consumo de combustibles en diferentes actividades, tales como transporte, mantenimiento, calderas y fuerza motriz y frío, como variables independientes.

Para la formulación de la función, se tomó en cuenta los pesos de las betas de los coeficientes no estandarizados de cada actividad. Los coeficientes para cada actividad son los siguientes: transporte (0,351), calderas (0,205), mantenimiento (0,289) y fuerza

motriz y frío (0,148). Estos valores representan la contribución relativa de cada actividad en función con el gasto corriente.

Modelo 3 Emisiones de CO2 en función de la producción ($ dólares) y el tipo de combustibles

Tabla 11

Coeficientes del modelo 3.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
3	(Constante)	-271,357	187,084		-1,45	0,147
	VAB empresarial	3,94E-05	0	0,189	9,366	0
	Gasto corriente	0,427	0,027	0,532	15,932	0
	VC_jet_fuel	8.647,181	3.329,9	0,04	2,597	0,009
	VC_gas_natural	24.325,255	2.109,084	0,18	11,534	0
	VC_fuel_oil	5.309,059	726,712	0,119	7,306	0
	VC_crudo_residual	34.284,923	2.762,434	0,196	12,411	0
	VC_carbon	84.800,236	12.973,491	0,199	6,536	0
	VC_ecopais	994,624	435,494	0,036	2,284	0,023

Variable dependiente: Total de combustibles en Ton CO_2

Nota. La tabla muestra los coeficientes del modelo 3. Fuente: Datos obtenidos de Reyes Rubio (2024).

Ecuación matemática del modelo 3

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + \mu \quad [5]$$

$$Y = -271{,}357 + 0{,}0000394X_1 + 0{,}427X_2 + 8647{,}181X_3 + 24325{,}255X_4 + 5309{,}059X_5 + 34284{,}923X_6 + 84800{,}236X_7 + 994{,}624X_7 + 0{,}05$$

$$Emisiones\ de\ CO_2 = -271{,}357 + 0{,}0000394VAB + 0{,}427gasto\ corriente + 8647{,}181jet\ fuel + 24325{,}255gas\ natural + 5309{,}059fuel\ oil + 34284{,}923crudo\ residual + 84800{,}236carbón + 994{,}624gasolina\ ecopaís + 0{,}05$$

Donde,

***Y*:** emisiones de CO_2.

***X_1*:** producción ($ dólares) (VAB).

***X_2*:** gasto corriente.

Variables de control

***X_3*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de jet fuel.

***X_4*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de gas natural.

***X_5*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de fuel oil.

***X_6*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de crudo residual.

***X_7*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de carbón.

***X_8*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de ecopaís.

***u*:** termino de error.

La tabla 11 ilustra los coeficientes correspondientes al modelo 3, los cuales se utilizaron para establecer la función matemática correspondiente con las emisiones de CO_2 como variable dependiente y la producción, gasto corriente apoyadas de variables de control como los seis tipos de combustibles, como variables independientes.

Para la formulación de la función, se tomó en cuenta los pesos de las betas de los coeficientes no estandarizados. Los coeficientes utilizados son los siguientes: valor agregado bruto (VAB) (0,0000394), gasto corriente (0,427), jet fuel (8647,181), gas natural (24325,255), fuel oil (5309,059), crudo residual (34284,923), carbón (84800,236) y ecopaís (994,624). Es importante destacar que los últimos seis coeficientes mencionados son variables de control que pueden influir en la presencia o ausencia de algunos de los tipos de combustibles mencionados.

Tabla 12

Kilogramos de CO_2 en función de la producción ($ dólares) y el tipo de combustible empleado por sector.

Sector	Empresas (en código)	VAB ($ dólares)	Gasto corriente	Emisiones de CO_2
Textil	Ft_1	1.000	400	129,15
	Ft_2	5.000	1.000	729,32
	Ft_3	10.000	2.120,50	1850,01
Carrocero	Fmc_1	5.000	3.000	2729,32
	Fmc_2	7.000	5.000	4729,40
	Fmc_3	10.000	7.000	6729,51
Calzado	Fc_1	1.000	300	29,16
	Fc_2	6.000	950	679,36
	Fc_3	10.000	2.000	1729,51

Nota. Cantidad de emisiones de CO_2 en kg generadas por el uso de combustibles en función de la producción en dólares del sector textil, carrocero y de calzado. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 se muestran las emisiones de CO_2 en kg generadas por cada sector de la industria manufacturera en relación con su nivel de producción (expresado en dólares) y el tipo de combustible como gasolina super, extra, diésel, gas licuado, aceites y residuo fuel oil. Se destaca que el sector carrocero es uno de los principales emisores de contaminación ambiental, con emisiones que oscilan entre 2.729,32 y 6.729,51 kilogramos de gases de efecto invernadero al alcanzar niveles de producción entre 5.000 y 10.000 dólares.

Por otro lado, el sector textil y el de calzado presentan emisiones casi similares de CO_2, variando entre 29,1594 y 1.850,014 kilogramos. Es necesario mencionar que el nivel de producción se encuentra dentro de los mismos rangos, por lo que las diferencias en las emisiones de CO_2 pueden atribuirse al tamaño de la empresa, volumen de producción, tipo de combustibles utilizados y las particularidades de cada actividad industrial.

Modelo 4 Emisiones de CO_2 en función a la producción y el tipo de actividades

Tabla 13

Coeficientes del modelo 4.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
4	(Constante)	-1076,33	439,344		-2,45	0,014
	VAB empresarial	5,67E-05	0	0,271	14,684	0
	Gasto corriente	0,602	0,015	0,75	40,553	0
	VC_calderas	1.681,757	464,478	0,067	3,621	0
	VC_calor_directo	950,238	566,134	0,029	1,678	0,093
	VC_fuerza_motriz	1.575,784	475,851	0,057	3,312	0,001
	VC_transporte	761,834	438,723	0,032	1,736	0,083

a. Variable dependiente: Total de combustibles en Ton CO_2

Nota. La tabla muestra los coeficientes del modelo 4. Fuente: Datos obtenidos de Reyes Rubio (2024).

Ecuación matemática del modelo 4

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + \mu \quad [6]$$

$$Y = -1076{,}33 + 0{,}000057X_1 + 0{,}602X_2 + 1681{,}76X_3 + 950{,}24X_4 + 1575{,}78X_5 + 761{,}83X_6 + 0{,}05$$

$$Emisiones\ de\ CO_2 = -1076{,}33 + 0{,}000057VAB + 0{,}602 gasto\ corriente + 1681{,}76 calderas + 950{,}24 calor\ directo + 1575{,}78 fuerza\ motriz + 761{,}83 trasporte + 0{,}05$$

Donde,

***Y*:** emisiones de CO_2.

***X_1*:** producción (VAB).

***X_2*:** gasto corriente.

Variables de control

***X_3*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de combustibles en actividad de calderas.

***X_4*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de combustibles en actividad de calor directo.

***X_5*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de combustibles en actividad de fuerza motriz.

***X_6*:** cantidad de emisiones de CO_2 en Tn por consumo de combustibles en actividad de transporte.

***u*:** termino de error.

En la tabla 13, se presencia los coeficientes correspondientes al modelo 4, los cuales se utilizaron para establecer la función matemática correspondiente con las emisiones de CO_2 como variable dependiente y la producción, gasto corriente apoyadas de variables de control como las actividades en las que se emplean los combustibles, como variables independientes.

Para la formulación de la ecuación, se tomó en consideración los pesos de las betas de los coeficientes no estandarizados. Los coeficientes utilizados son los siguientes: valor agregado bruto (VAB) (0,000057), gasto corriente (0,602), calderas (1.681,76), calor directo (950,24), fuerza motriz (1.575,78) y transporte (761,83). Es necesario resaltar que los últimos cuatro coeficientes mencionados son variables de control que pueden influir en la presencia o ausencia de algunos de los tipos de combustibles mencionados.

Tabla 14

Kilogramos de CO_2 en función de la producción ($ en dólares) y la actividad empleada por sector.

Sector	Empresas (código)	VAB (S dólares)	Gato corriente	emisiones de CO_2
Textil	Ft_1	1.000	400	1.429.731,00
	Ft_2	5.000	1.000	1.430.092,42
	Ft_3	10.000	2.120,50	1.430.767,25
Carrocero	Fmc_1	5.000	3.000	373.291,21
	Fmc_2	7.000	5.000	374.495,33
	Fmc_3	10.000	7.000	375.699,50
Calzado	Fc_1	1.000	300	443.312,37
	Fc_2	6.000	950	443.703,95
	Fc_3	10.000	2.000	444.336,28

Nota. Cantidad de emisiones de CO_2 en kg generadas por el tipo de actividad en función de la producción en dólares del sector textil, carrocero y de calzado. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 14, los tres sectores de la industria manufacturera muestran niveles altos de emisiones de CO_2 en kilogramos, derivados de diferentes actividades como transporte, calderas, mantenimiento, fuerza motriz y frío.

Las fábricas textiles desatacan como uno de los mayores emisores, posiblemente debido al consumo de combustibles en actividades como calderas y transporte, que generan considerables cantidades de CO_2, afectando el entorno ambiental al alcanzar niveles entre 1.429.731,00 y 1.430.767,25 de kg de gases contaminantes.

Por otro lado, las fábricas de calzado se identifican como el segundo sector con mayores emisiones de dióxido de carbono al generar entre 443.312,365 y 444.336,278 kg de CO_2. Esto puede atribuirse a actividades similares como el uso de calderas, transporte y otros procesos, que también contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero.

En contraste, las empresas de carrocerías muestran niveles más bajos de emisiones de CO_2 en comparación con los sectores textil y de calzado. Al producir entre 5.000 y 10.000 dólares, generan de 373.291,211 a 375.699,496 kilogramos de CO_2, en

contraposición a 443.312,365 y 1.430.767,250 kilogramos pertenecientes a las empresas de textil y de calzado. Es importante señalar que las diferencias en los valores de producción entre las tres empresas no son significativas, y los altos niveles de emisiones pueden atribuirse a factores como el tipo de actividad económica, el tipo de combustible utilizado y otras características específicas de cada sector industrial.

Modelo matemático de Optimización

$$Zmin = \sum_{i=1}^{\eta} \mathrm{T}_{m\eta} * W_{m\eta} + \sum_{i=1}^{\omega} \mathrm{U}_{m\omega} * R_{m\omega} \quad [2]$$

Tabla 15

Codificación de los parámetros del modelo matemático de optimización.

Código	Definición
W	Cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de 6 tipos de combustibles
T	Gasto corriente por tipo de combustible
m	Tipo de empresa
m1	Grande
m2	Mediana A
m3	Mediana B
η	Tipo de combustible
$\eta 1$	Gasolina super
$\eta 2$	Gasolina extra
$\eta 3$	Diésel
$\eta 4$	Gas licuado
$\eta 5$	Aceites
$\eta 6$	Residuo fuel oil
U	Gasto corriente por actividad
R	Cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad
ω	Tipo de actividad
$\omega 1$	Transporte
$\omega 2$	Calderas
$\omega 3$	Mantenimiento
$\omega 4$	Fuerza motriz y frío

Nota. Codificación de los parámetros utilizados en el modelo de optimización. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

Codificación de las restricciones.

Variables de restricción del Modelo	Restricciones en Lingo	Definición
Wm1η1	X_1	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (grande) y el tipo de combustible (gasolina super).
Wm1η2	X_2	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (grande) y el tipo de combustible (gasolina extra).
Wm1η3	X_3	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (grande) y el tipo de combustible (diésel).
Wm1η4	X_4	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (grande) y el tipo de combustible (gas licuado).
Wm1η5	X_5	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (grande) y el tipo de combustible (aceites).
Wm1η6	X_6	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (grande) y el tipo de combustible (residuo fuel oil).
Wm2η1	X_7	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana A) y el tipo de combustible (gasolina super).
Wm2η2	X_8	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana A) y el tipo de combustible (gasolina extra).
Wm2η3	X_9	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana A) y el tipo de combustible (diésel).
Wm2η4	X_10	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana A) y el tipo de combustible (gas licuado).
Wm2η5	X_11	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana A) y el tipo de combustible (aceites).
Wm2η6	Eliminada (valor en 0.00)	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana A) y el tipo de combustible (residuo fuel oil).
Wm3η1	X_12	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana B) y el tipo de combustible (gasolina super).

Wm3η2	X_13	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana B) y el tipo de combustible (gasolina extra).
Wm3η3	X_14	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana B) y el tipo de combustible (diésel).
Wm3η4	X_15	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana B) y el tipo de combustible (gas licuado).
Wm3η5	X_16	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana B) y el tipo de combustible (aceites).
Wm3η6	X_17	Cantidad de emisiones de CO_2 en función del tamaño (mediana B) y el tipo de combustible (residuo fuel oil).
Rm1ω1	X_18	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (grande) y por actividad (transporte)
Rm1ω2	X_19	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (grande) y por actividad (calderas)
Rm1ω3	X_20	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (grande) y por actividad (mantenimiento)
Rm1ω4	X_21	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (grande) y por actividad (fuerza motriz y frío)
Rm2ω1	X_22	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana A) y por actividad (transporte)
Rm2ω2	X_23	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana A) y por actividad (calderas)
Rm2ω3	X_24	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana A) y por actividad (mantenimiento)
Rm2ω4	X_25	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana A) y por actividad (fuerza motriz y frío)
Rm3ω1	X_26	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana B) y por actividad (transporte)
Rm3ω2	X_27	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana B) y por actividad (calderas)
Rm3ω3	X_28	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana B) y por actividad (mantenimiento)

Rm3ω4	X_29	Cantidad de emisiones de CO_2 por tamaño de empresa (mediana B) y por actividad (fuerza motriz y frío)

Nota. La restricción Wm2η6 fue eliminada a causa de que contiene valores en cero. Fuente: Elaboración propia.

La tabla 15 y 16 detallan los componentes del modelo matemático de optimización utilizado para mitigar los efectos negativos en el medio ambiente. Para facilitar la manipulación de datos dentro del modelo, se asignó a los parámetros y restricciones un código único compuesto por letras mayúsculas, minúsculas, símbolos y números.

La tabla 15 describe los parámetros individuales empleados en la ecuación matemática del modelo de optimización (Mod-1), para identificar los 6 tipos de combustible, las 4 actividades donde se emplea, el tamaño de empresa, la cantidad de emisiones de CO_2 y el gasto corriente.

Por su parte, la tabla 16 detalla las restricciones del modelo, las cuales están vinculadas igualmente al tamaño de la empresa (grande, mediana A y mediana B), tipo de combustible (gasolina súper, extra, diésel, gas licuado, aceites y residuo fuel oil) y tipo de actividad (transporte, calderas, mantenimiento, fuerza motriz y frío). Sin embargo, los códigos de la columna 2 fueron utilizados en el software Lingo para realizar los cálculos respectivos.

A continuación, se muestra la ecuación que se utilizó dentro del modelo matemático de optimización.

Mod-1: Minimización del gasto corriente con respecto al tipo de combustible y tipo de actividad

Función objetivo

$$Zmin = \sum_{i=1}^{\eta} \mathrm{T}_{m\eta} * W_{m\eta} + \sum_{i=1}^{\omega} \mathrm{U}_{m\omega} * R_{m\omega} \quad [2]$$

Zmin: gasto corriente.

W: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de 6 tipos de combustible (variable).

T: Gasto corriente por tipo de combustible (constante -1,26).

m: tipo de empresa ∀ (m1: grande; m2: mediana A; m3: mediana B).

η: tipo de combustible ∀ (η 1: g. super; η 2: g. extra; η 3: diésel; η 4: gs. licuado; η 5: aceites; η 6: residuo fuel oil).

U: gasto corriente por actividad (constante -2,919).

R: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad (variable).

ω: tipo de actividad ∀ (ω 1: transporte; ω 2: calderas, ω 3: mantenimiento; ω 4: fuerza motriz y frio).

Ecuación del modelo 1

$$T = -0{,}022W_1 + 0{,}076W_2 + 0{,}163W_3 + 0{,}096W_4 + 0{,}074W_5 + 0{,}172W_6 \quad [3]$$

Donde,

W1: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de gasolina super.

W2: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de gasolina extra.

W3: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de diésel.

W4: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de gas licuado.

W5: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de aceites.

W6: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por consumo de residuo fuel oil.

Ecuación del modelo 2

$$U = 0{,}351R_1 + 0{,}205R_2 + 0{,}289R_3 + 0{,}148R_4 \quad [4]$$

Donde,

R1: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad (transporte).

R2: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad (calderas).

R3: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad (mantenimiento).

R4: cantidad de emisiones de CO_2 en kg por actividad (fuerza automotriz y frío).

Función objetivo del Mod-1

$$Z_{min} = -0.022 * \text{x_1} + 0.076 * x_2 + 0.163 * \text{x_3} + 0.096 * \text{x_4} + 0.074 * \text{x_5} + 0.172 * \text{x_6} + (-0.022 * \text{x_7}) + 0.076 * x_8 + 0.163 * \text{x_9} + 0.096 * \text{x_10} + 0.074 * x_11 + (-0.022 * x_12) + 0.076 * x_13 + 0.163 * \text{x_14} + 0.096 * \text{x_15} + 0.074 * \text{x_16} + 0.172 * \text{x_17} + 0.351 * x_18 + 0.205 * \text{x_19} + 0.289 * \text{x_20} + 0.148 * \text{x_21} + 0.351 * x_22 + 0.205 * \text{x_23} + 0.289 * \text{x_24} + 0.148 * \text{x_25} + 0.351 * x_26 + 0.205 * \text{x_27} + 0.289 * \text{x_28} + 0.148 * \text{x_29} \quad [7]$$

Restricciones

Tamaño de empresa

R1: Grande *x_1>=38798.2050*

x_1<=749271.35

R2: Grande *x_2>=57199.6877*

x_2<=7207140.31

R3: Grande *x_3>=1236352.2434*

x_3<=112067448.43

R4: Grande *x_4>=154463.2891*

x_4<=11037210.00

R5: Grande *x_5>=1260.1767*

x_5<=34020.00

R6: Grande *x_6>=1135627.7308*

x_6<=206133578.05

R7: Mediana A *x_7>=850.1163*

x_7<=31592.40

R8: Mediana A *x_8>=3692.8446*

x_8<=78727.42

R9: Mediana A *x_9>=41624.9161*

x_9<=263304.06

R10: Mediana A *x_10>=6305.4841*

x_10<=702750.00

R11: Mediana A *x_11>=213.2794*

x_11<=1700.00

R12: Mediana B *x_12>=6356.7817*

x_12<=57850.20

R13: Mediana B *x_13>=5134.4304*

x_13<=119110.68

R14: Mediana B *x_14>=36895.7005*

x_14<=1684931.00

R15: Mediana B *x_15>=10597.7033*

x_15<=288519.00

R16: Mediana B *x_16>=49.0535*

x_16<=1410.00

R17: Mediana B *x_17>=10532.6604*

x_17<=1581820.58

R18: Grande *x_18>=545520.8508*

x_18<=48466730.00

R19: Grande *x_19>=3572032.3504*

x_19<=127382750.00

R20: Grande *x_20>=1243.6578*

x_20<=34020.00

R21: Grande *x_21>=3887151.4493*

x_21<=206470320.00

R22: Mediana A *x_22>=38746.4391*

x_22<=342030.00

R23: Mediana A *x_23>=111155.6823*

x_23<=702750.00

R24: Mediana A *x_24>=213.2794*

x_24<=1700.00

R25: Mediana A *x_25>=134371.4175*

x_25<=261240.00

R26: Mediana B *x_26>=31470.0547*

x_26<=632410.00

R27: Mediana B *x_27>=160081.4053*

x_27<=1684930.00

R28: Mediana B *x_28>=57.9656*

x_28<=1410.00

R29: Mediana B *x_29>=36170.1670*

x_29<=1281790.00

Para la formulación de la función objetivo del modelo matemático Mod-1 [7], se partió de las ecuaciones del modelo 1 [3] y del modelo 2 [4] como bases, las cuales fueron cruciales para la estructuración de la función objetivo. Posteriormente, se establecieron dos restricciones para cada variable en función al tamaño de la empresa, tipo de combustibles utilizados y las actividades aplicables. La primera restricción establece que el límite superior (valor calculado) debe ser menor o igual (>=) al límite establecido, mientras que la segunda establece que el límite inferior (valor calculado) no debe ser mayor o igual (<=) al límite establecido. Esto define los niveles permitidos de emisión de CO_2 en kilogramos en relación con el gasto corriente de cada empresa.

Finalmente, los cálculos se llevaron a cabo utilizando el software Lingo® (WIN64 20.0.16). Cabe mencionar, que el software impone condiciones de no negatividad (x_n >= 0) para cada variable con el fin de asegurar la viabilidad física y económica de las soluciones.

A continuación, se presenta los resultados generados por el software Lingo ®.

```
LINGO/WIN64 20.0.16 (19 Apr 2023), LINDO API 14.0.5099.259

  Licensee info: LGPX2-205862 Universidad Técnica de Ambato


 Global optimal solution found.

  Objective value:                              2019564.

  Infeasibilities:                              0.000000

  Total, solver iterations:                            0

  Elapsed runtime seconds:                          0.07

  Model Class:                                        LP


  Total, variables:                    29

  Nonlinear variables:                  0

  Integer variables:                    0


  Total, constraints:                  88

  Nonlinear constraints:                0


  Total, nonzeros:                    116

  Nonlinear nonzeros:                   0


                Variable           Value        Reduced Cost
```

X_1	749271.3	0.000000
X_2	57199.69	0.000000
X_3	1236352.	0.000000
X_4	154463.3	0.000000
X_5	1260.177	0.000000
X_6	1135628.	0.000000
X_7	31592.40	0.000000
X_8	3692.845	0.000000
X_9	41624.92	0.000000
X_10	6305.484	0.000000
X_11	213.2794	0.000000
X_12	57850.20	0.000000
X_13	5134.430	0.000000
X_14	36895.70	0.000000
X_15	10597.70	0.000000
X_16	49.05350	0.000000
X_17	10532.66	0.000000
X_18	545520.9	0.000000
X_19	3572032.	0.000000
X_20	1243.658	0.000000
X_21	3887151.	0.000000
X_22	38746.44	0.000000
X_23	111155.7	0.000000
X_24	213.2794	0.000000
X_25	134371.4	0.000000
X_26	31470.05	0.000000

X_27	160081.4	0.000000
X_28	57.96560	0.000000
X_29	36170.17	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2019564.	-1.000000
2	710473.1	0.000000
3	0.000000	0.2200000E-01
4	0.000000	-0.7600000E-01
5	7149941.	0.000000
6	0.000000	-0.1630000
7	0.1108311E+09	0.000000
8	0.000000	-0.9600000E-01
9	0.1088275E+08	0.000000
10	0.000000	-0.7400000E-01
11	32759.82	0.000000
12	0.000000	-0.1720000
13	0.2049980E+09	0.000000
14	30742.28	0.000000
15	0.000000	0.2200000E-01
16	0.000000	-0.7600000E-01
17	75034.58	0.000000
18	0.000000	-0.1630000
19	221679.1	0.000000
20	0.000000	-0.9600000E-01
21	696444.5	0.000000

22	0.000000	-0.7400000E-01
23	1486.721	0.000000
24	51493.42	0.000000
25	0.000000	0.2200000E-01
26	0.000000	-0.7600000E-01
27	113976.2	0.000000
28	0.000000	-0.1630000
29	1648035.	0.000000
30	0.000000	-0.9600000E-01
31	277921.3	0.000000
32	0.000000	-0.7400000E-01
33	1360.947	0.000000
34	0.000000	-0.1720000
35	1571288.	0.000000
36	0.000000	-0.3510000
37	0.4792121E+08	0.000000
38	0.000000	-0.2050000
39	0.1238107E+09	0.000000
40	0.000000	-0.2890000
41	32776.34	0.000000
42	0.000000	-0.1480000
43	0.2025832E+09	0.000000
44	0.000000	-0.3510000
45	303283.6	0.000000
46	0.000000	-0.2050000
47	591594.3	0.000000

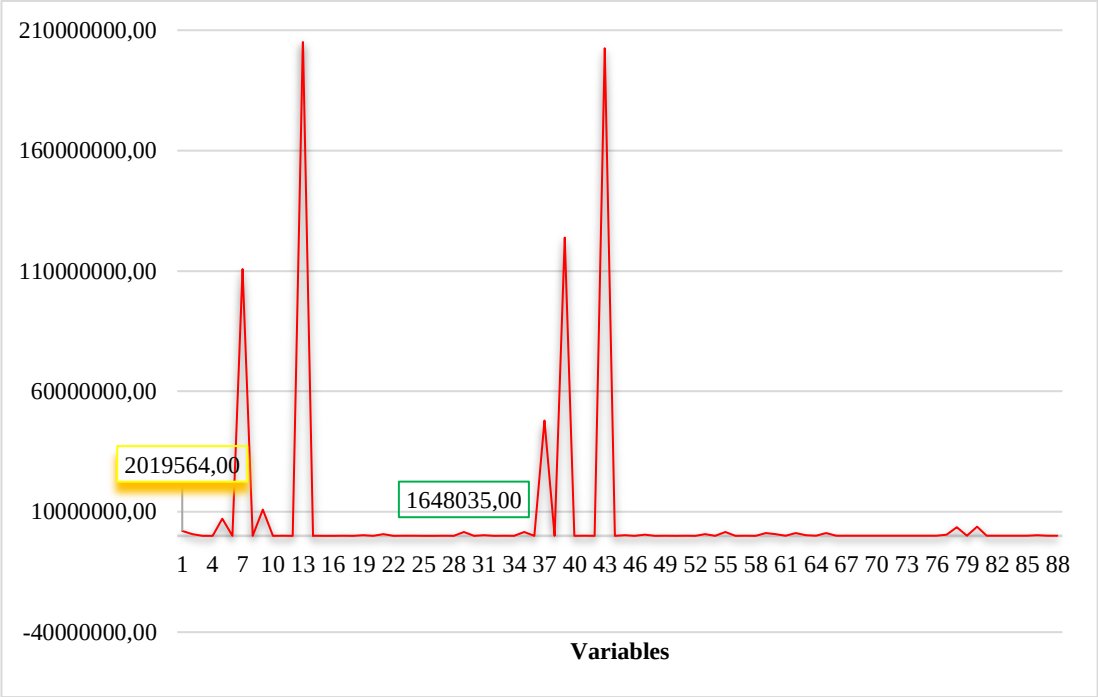
48	0.000000	-0.2890000
49	1486.721	0.000000
50	0.000000	-0.1480000
51	126868.6	0.000000
52	0.000000	-0.3510000
53	600939.9	0.000000
54	0.000000	-0.2050000
55	1524849.	0.000000
56	0.000000	-0.2890000
57	1352.034	0.000000
58	0.000000	-0.1480000
59	1245620.	0.000000
60	749271.3	0.000000
61	57199.69	0.000000
62	1236352.	0.000000
63	154463.3	0.000000
64	1260.177	0.000000
65	1135628.	0.000000
66	31592.40	0.000000
67	3692.845	0.000000
68	41624.92	0.000000
69	6305.484	0.000000
70	213.2794	0.000000
71	57850.20	0.000000
72	5134.430	0.000000
73	36895.70	0.000000

74	10597.70	0.000000
75	49.05350	0.000000
76	10532.66	0.000000
77	545520.9	0.000000
78	3572032.	0.000000
79	1243.658	0.000000
80	3887151.	0.000000
81	38746.44	0.000000
82	111155.7	0.000000
83	213.2794	0.000000
84	134371.4	0.000000
85	31470.05	0.000000
86	160081.4	0.000000
87	57.96560	0.000000
88	36170.17	0.000000

Es necesario destacar que los valores del Dual Price afectaran directamente a los Slack or Surplus, lo cual significa que si el Dual Price contiene valores positivos incidirán positivamente al valor óptimo en este caso 2.019.564,00, pero si contiene valores negativos este afecta negativamente, es decir disminuirá el valor óptimo.

Figura 19

Valor óptimo del gasto corriente.



Nota. Los valores en cero no se tomaron en cuenta para la elaboración de la figura debido a que su Dual Price determina que incidirían negativamente en el valor óptimo. Fuente: Elaboración propia.

Como se pude apreciar la figura 19, expresa los resultados obtenidos en relación con el gasto corriente, revelando el valor óptimo que las empresas pertenecientes a la industria manufacturera deberían destinar según su tamaño (grande, mediana y mediana), actividad (transporte, calderas, mantenimiento y fuerza motriz y frío) y tipo de combustible (gasolina super, extra, diésel, gas licuado, aceites y residuo fuel) en el periodo de un año. El valor óptimo identificado es de 2.019.564,00 dólares, el cual es necesario para contrarrestar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) producidas por las actividades económicas de las empresas pertenecientes a la industria manufacturera. Además, se identifica un valor cercano al óptimo de gasto corriente, que alcanza los 1.648.035,00 en dólares, que las empresas pueden destinar para contribuir a la mitigación de los gases contaminantes expulsado al aire.

Tabla 17

Cantidad óptima de kg de CO2 por consumo de combustibles sólidos y líquidos, en el sector textil, carrocero y de calzado.

Combustibles sólidos y líquidos	Sector			Cantidad óptima
	Textil	Carrocero	Calzado	
	Kilogramos de CO_2	Kilogramos de CO_2	Kilogramos de CO_2	
Gasolina súper	21.66,35	1.083,17	0	31.592,40
Gasolina extra	6.383,34	1.063,89	0	3.692,85
Diésel	8.683,15	4.961,80	8.683,15	41.624,92
Aceites	78,31	78,31	78,31	213,28
Gas licuado	1.800,00	360	360	6.305,48

Nota. Cantidad óptima de emisiones de CO_2 en kilogramos que deben generar las empresas del sector industrial. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 17, los sectores de la industria manufacturera analizados cumplen con los niveles óptimos de kilogramos de CO_2 procedentes del consumo de combustibles sólidos y líquidos en diferentes actividades. Este hecho es altamente favorable, puesto que, implica que estas empresas no generan una cantidad significativa de dióxido de carbono (CO_2) como subproducto de sus operaciones. Esta situación puede atribuirse a diversas prácticas de gestión ambiental implementadas, mejoras en la cadena de producción o la adopción de combustibles alternativos menos contaminantes.

Es importante mencionar que el sector de calzado no tiene datos disponibles sobre sus emisiones de CO_2 debido a que estas empresas no utilizan gasolina super ni extra en su cadena productiva.

4.2 Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación

¿Cuáles son las cantidades óptimas de emisiones de CO_2 en kilogramos que deben generar las industrias manufactureras?

Tipo de combustible

En cuanto al tipo de combustibles, para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente, se recomienda que las empresas pertenecientes a la industria manufacturera grande deben generar las siguientes cantidades óptimas: 749.271,3 kg de CO2 de gasolina super, 57.199,6 kg de CO_2 de gasolina extra, 1.236.352 kg de CO_2 de diésel, 154.463,3 kg de CO_2 de gas licuado, 1.260,18 kg de CO_2 de aceites y 1.135.628 kg de CO_2 de residuo fuel oil.

Para las empresas medianas de tipo A, las cantidades óptimas recomendadas para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente son las siguientes: 31.592,40 kg de CO_2 de gasolina super, 3.692,85 kg de CO_2 de gasolina extra, 41.624,92 kg de CO_2 de diésel, 6.305,48 kg de CO_2 de gas licuado y 213,28 kg de CO_2 de aceites.

Para las empresas medianas de tipo B, las cantidades óptimas aconsejadas para mitigar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente son las siguientes: 57.850,20 kg de CO_2 de gasolina super, 5.134,43 kg de CO_2 de gasolina extra, 36.895,70 kg de CO_2 de diésel, 10.597,70 kg de CO_2 de gas licuado, 49,05 kg de CO_2 de aceites y 10.532,66 kg de CO_2 de residuo fuel oil.

Actividad empleada

En relación con la actividad empleada, para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente, se sugiere que las empresas pertenecientes a la industria manufacturera grande realicen las siguientes cantidades óptimas: 545.520,9 kg de CO_2 en transporte, 3.572.032 kg de CO_2 en calderas, 1.243,66 kg de CO_2 en mantenimiento y 3.887.151 kg de CO_2 en fuerza motriz y frío.

Para las empresas mediana de tipo A, las cantidades óptimas establecidas para reducir los gases de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente son las siguientes: 38.746,44 kg de CO_2 en transporte, 111.155,7 kg de CO_2 en calderas, 213,28 kg de CO_2 en mantenimiento y 134.371,4 kg de CO_2 en fuerza motriz y frío.

Para las empresas medianas de tipo B, las cantidades óptimas para contrarrestar los gases de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente son las siguientes: 31.470,05 kg de CO_2 en transporte, 160.081,4 kg de CO_2 en calderas, 57,97 kg de CO_2 en mantenimiento y 36.170,17 kg de CO_2 en fuerza motriz y frío.

¿Cuáles es el valor óptimo de gasto corriente que deberían destinar las industrias de manufactura para reducir las emisiones de CO_2?

Los sectores de la industria manufacturera fabricante de tamaño grande, mediana A y mediana B deben asignar $2.019.564 dólares anuales como el valor óptimo para abordar las emisiones de dióxido de carbono generadas por las empresas en su cadena de suministro. Por lo tanto, las empresas objetas de estudio deben destinar un gasto corriente anual de $7.660,75 dólares para mitigar las emisiones de CO_2 asociadas a su cadena de producción.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

En conclusión, la industria manufacturera en Tungurahua enfrenta desafíos significativos en términos de emisiones de CO_2 generadas por el consumo de combustibles fósiles y líquidos. Por lo tanto, se han identificado los parámetros clave para la optimización de las emisiones de CO_2 en el sector manufacturero, centrándose en el tipo de combustible utilizado y las actividades específicas en las que se emplean, así como el gasto y la inversión que se destina para mitigar los gases contaminantes expulsados por las empresas.

En este contexto, se verifico que el sector textil se encuentra entre los mayores emisores de CO_2, con una emisión total de 1.592,61 kg de CO_2 anuales, lo cual se atribuye al alto consumo de galones de combustible en diferentes actividades. Cabe resaltar, que, aunque este sector muestre un nivel medio de inversión y que cuenta con actividades asociadas a la gestión ambiental, es el más contaminante en la provincia de Tungurahua.

Sin embargo, se determinó que los sectores de la industria manufacturera están operando dentro de límites óptimos de kg de CO_2. Entre las cantidades óptimas que deben generar las empresas objetas de estudio al año por tipo de combustible son: 31.592,40 kg de CO_2 para gasolina super, 5.134,43 kg de CO_2 para gasolina extra, 36.895,70 kg de CO_2 para de diésel, 10.597,70 kg de CO_2 para gas licuado, 49,05 kg de CO_2 para aceites y 10.532,66 kg de CO_2 por residuo fuel oil. En cuanto a las actividades específicas, las cantidades ideales son: 38.746,44 en transporte, 111.155,7 en calderas, 213,28 en mantenimiento y 134.371,4 en fuerza motriz y frío. Además, se determinó que el valor óptimo que las empresas pertenecientes a la industria de manufactura deben destinar al año es de $7.660,75 dólares, para reducir los efectos negativos producidos por sus operaciones dentro de la cadena de suministro.

Por otro lado, se identificó que el diésel es el principal combustible utilizado en las actividades de producción y transporte en las empresas textiles, de carrocerías y de

calzado, representando aproximadamente el 46% de la participación total de combustibles utilizados en las industrias manufactureras.

En cuanto a la inversión, se aprecia que el 56% de las empresas analizadas destina recursos para mitigar los impactos ambientales generados por sus actividades de producción. Por lo tanto, es importante seguir promoviendo la inversión en prácticas de gestión ambiental e implementación de tecnologías amigables con el medio ambiente.

Para concluir, se recomienda encarecidamente que las empresas que aún no están asignando recursos para mitigar las emisiones de CO_2 adopten actividades enfocadas al cuidado ambiental y se mantengan dentro los niveles óptimos para minimizar su impacto, para así fomentar un entorno con menos gases contaminantes.

5.2 Limitaciones del estudio

Durante el proceso de elaboración del estudio, se identificaron algunas limitaciones que influyeron en los resultados. Una de las principales limitaciones fue la accesibilidad y falta de cooperación que mostraron algunas de las empresas analizadas para obtener los datos necesarios para la ejecución del proyecto. Además, el tiempo de respuesta por parte de algunas empresas también fue un factor limitante, lo que generó retrasos en la obtención de los datos requeridos para el estudio.

Otra limitación fue la falta de coeficientes necesarios para estructurar la función objetivo utilizada en el modelo matemático. La ausencia de datos en ciertas variables limitó el análisis y precisión de los resultados obtenidos. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que los resultados del estudio pueden variar en función de las variables establecidas y la metodología utilizada.

5.3 Futuras temáticas de investigación

Basándonos en los resultados obtenidos, se proponen temas adicionales para investigaciones futuras relacionadas con el estudio. Se sugiere continuar investigando y desarrollando estudios sobre las emisiones de CO_2 en diversos sectores, incluyendo el sector metalúrgico, el sector alimentario, el sector de plásticos y productos químicos, el sector del transporte y el sector energético. Estos sectores son relevantes porque

también utilizan combustibles fósiles y líquidos en sus procesos de producción. Además, es fundamental destacar que este estudio proporciona una base y una línea de partida para futuras investigaciones, que empleen un modelo matemático de optimización para contrarrestar los impactos ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, M., & ElMaraghy, H. (2018). Synthesis and optimization of manufacturing systems configuration using co-platforming. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 20. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.09.006

Abeles, M., Cimoli, M., & Lavarello, P. (2017). Manufactura y cambio estructural: aportes para pensar la política industrial en la Argentina (Vol. 149). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). www.cepal.org/es/suscripciones

Acuña, N., Figueroa, L., & Wilches, M. J. (2017). Influencia de los Sistemas de Gestión Ambiental ISO 14001 en las organizaciones: caso estudio empresas manufactureras de Barranquilla. Ingeniare, 25(1), 143–153. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000100143

Afriansyah, A., & Bilqis, A. (2020). Paris Agreement: Respon Terhadap Pendekatan Prinsip Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities Dalam Kyoto Protocol. Jurnal Penelitian Hukum De Jure, 20(3). https://doi.org/10.30641/dejure.2020.v20.391-408

Ahmadi, M. H., Madvar, M. D., Sadeghzadeh, M., Rezaei, M. H., Herrera, M., & Shamshirband, S. (2019). Current status investigation and predicting carbon dioxide emission in Latin American countries by connectionist models. Energies, 12(10). https://doi.org/10.3390/en12101916

Aiblis, V., & Asuaga, C. (2021). Gestión ambiental en las organizaciones: una revisión de la literatura. Revista Del Instituto Internacional de Costos, 18, 84–122. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9115902.pdf

Akbostancı, E., Tunç, G. İ., & Türüt-Aşık, S. (2018). Drivers of fuel based carbon dioxide emissions: The case of Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2599–2608. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.066

Alcocer Quinteros, P., Knudsen González, J., Marrero Delgado, F., & Miranda Casanova, B. (2020). Modelo multicriterio para la gestión integral de residuos

sólidos urbanos en Quevedo - Ecuador. Revista de Ciencias Sociales, 26(4), 328–352. https://doi.org/https://doi.org/10.31876/rcs.v26i4.34666

Aldás Salazar, D. S., Lascano Aimacaña, N. R., Carrión Gavilanez Ángel Geovanny, & Montachana Cunachi Erika Gissela. (2024). Generación de emisiones de CO2 de la industria manufacturera ecuatoriana, un camino hacia la sostenibilidad. Revista Multidisciplinaria: Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial y Humanista, 6(1), 1–12. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9273811

Alzate Ibáñez, A., Ramírez Ríos, J., & Alzate Ibáñez, S. (2018). Modelo de Gestión Ambiental ISO 14001: Evolución y Aporte a la Sostenibilidad Organizacional. Revista Chilena de Economía y Sociedad, 12(1), 75–85. https://rches.utem.cl/wp-content/uploads/sites/8/2018/07/revista-CHES-vol12-n1-2018-A.Alzate-Iban%CC%83ez-Ramirez-S.Alzate-Iban%CC%83ez.pdf

Arévalo Ruiz, J. R. (2021). Análisis comparativo de discursos sobre el desarrollo: crecimiento verde y buen vivir. Ciencia Unisalle, 1–58. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2664&context=economia

Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. Reviste de Ecología y Medio Ambiente, 3, 1–6. www.aeet.org/ecosistemas/022/informe1.htm

Ashokan, A., Jaganathan, S., Rajendran, S., & Dhairiyasamy, R. (2024). Sustainable strategies for reducing environmental impact in concrete block manufacturing: a comprehensive life cycle assessment. International Journal of Green Energy, 21(1). https://doi.org/10.1080/15435075.2023.2281331

Ávila López, C. M., & Pinkus Rendón, M. J. (2018). Teorías económico-ambientales y su vínculo con la dimensión social de la sustentabilidad en Áreas Naturales Protegidas. CienciaUAT, 13(1), 108–122. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.960

Baca López, M. G. (2024, March 29). Introducción al Software Lingo. Catholic University of Santo Toribio de Mogrovejo. https://www.collegesidekick.com/study-docs/6489734

Barbosa, L., & Campbell, C. (2006). Cultura, consumo e identidade (Primera). FGV Editora.

BBVA. (2022, November 24). ¿Qué es el combustible fósil? La energía que se obtiene de la materia orgánica. Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA). https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-combustible-fosil-la-energia-que-se-obtiene-de-la-materia-organica/

Beheshtinia, M. A., & Fathi, M. (2023a). Energy-efficient and sustainable supply chain in the manufacturing industry. Energy Science and Engineering, 11(1), 357–382. https://doi.org/10.1002/ese3.1337

Beheshtinia, M. A., Feizollahy, P., & Fathi, M. (2021). Supply chain optimization considering sustainability aspects. Sustainability (Switzerland), 13(21). https://doi.org/10.3390/su132111873

Bernal Torres, C. A. (2010). Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales (Tercera). Pearson.

Boirivant, J. A. (2009). La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas. Reflexiones, 88(1), 89–105.

Bravo Calle, O. E., Osorio Rivera, M. A., & Loor Lalvay III, X. A. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional, 6(9), 153–167. https://doi.org/10.23857/pc.v6i9

Buenaño Hermosa, E. V. (2014). Sectores “clave” en las emisiones de CO2: Un análisis input-output para Ecuador. Revistas Digitales-UPEC, 4, 1–22. https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/comercionegocio/article/download/608/625/1918

Burgos Arredondo, J., & Leiva Villegas, A. (2019). Impuesto a las emisiones de carbono (CO2) como instrumento de gestión ambiental y cambio climático.

Revista de Estudios Tributarios, 22, 53–93. https://ultimadecada.uchile.cl/index.php/RET/article/view/55834/58804

Cafferatta, N. (2010). Los principios y reglas del Derecho ambiental. https://carec.com.pe/biblioteca/biblio/5/80/1.%20Principios%20y%20Reglas%20del%20Derecho%20Ambiental.pdf

Camacho García, O., & Flamand, L. (2008). Políticas intergubernamentales para controlar la contaminación del aire en ciudades mexicanas. Gestión y Política Pública, 17(2), 261–313. https://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v17n2/v17n2a1.pdf

Cárdenas, M., & Orozco, S. (2023). Los desafíos de la mitigación del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunas propuestas de acción. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-02/PNUDLAC-working-paper-40-climate-ES.pdf

Casas Jiménez, J., García Sánchez, J., & González Aguilar, F. (2006). Guía técnica para la construcción de cuestionarios. Odisea Revista Electrónica de Pedagogía, 3(6). https://www.odiseo.com.mx/2006/01/print/casas_garcia_gonzalez-guia.htm

Cayeros Altamirano, S. E., Robles Zepeda, F. J., & Soto Ceja, E. (2016). Cadenas Productivas y Cadenas de Valor Productive Chain and Value Chain Autores CORE View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk provided by Universidad Tecnocientífica del Pacífico: E-Journals. EDUCATECONCIENCIA, 10(11), 6–12. https://core.ac.uk/download/pdf/268579414.pdf

CEPAL. (2014). El gasto en protección ambiental en América Latina y el Caribe. Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL). Bases conceptualhttps://repositorio.cepal.org/bitstre am/handle/11362/37294/1/S1420778_es.pdf

Cerquera Losada, O. H., Clavijo Tovar, M. de L. Á., & Vega Cabrera, C. J. (2021). Incidencia del crecimiento económico sobre el deterioro ambiental en América Latina. Aglala, 12(1), 269–288. https://revistas.uninunez.edu.co/index.php/aglala/article/view/1835/1385

Colucci, G., Lerede, D., Nicoli, M., & Savoldi, L. (2023). A dynamic accounting method for CO2 emissions to assess the penetration of low-carbon fuels: application to the TEMOA-Italy energy system optimization model. Applied Energy, 352. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121951

Comunidad Andina. (2008). Manual de Estadísticas Ambientales Andinas. www.comunidadandina.org

Consejo Nacional de Competitividad y Formalización. (2024). Sostenibilidad Ambiental. Ministerio de Economía y Finanzas Perú. https://www.cnc.gob.pe/plan-de-competitividad/objetivos-prioritarios/sostenibilidad-ambiental

Cosme Casulo, J. (2018). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la academia. MEDISAN, 22(8), 838. http://scielo.sld.cu/pdf/san/v22n8/1029-3019-san-22-08-838.pdf

Costa, Y., Duarte, A., & Sarache, W. (2017). A decisional simulation-optimization framework for sustainable facility location of a biodiesel plant in Colombia. Journal of Cleaner Production, 167, 174–191. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.126

Cristóbal, J., Vázquez-Rowe, I., Margallo, M., Ita-Nagy, D., Ziegler-Rodriguez, K., Laso, J., Ruiz-Salmón, I., Kahhat, R., & Aldaco, R. (2022). Climate change mitigation potential of transitioning from open dumpsters in Peru: Evaluation of mitigation strategies in critical dumpsites. Science of the Total Environment, 846. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157295

Cruzatty Vera, J. A., Bazurto Solórzano, Y. A., Rivadeneira Zambrano, R. A., & Carrillo Anchundia, B. J. (2023). Análisis de los factores determinantes de las emisiones de CO2 en Ecuador. Publicaciones En Ciencias y Tecnología., 17(1), 4–18. https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10108784

De, A., Wang, J., & Tiwari, M. K. (2020). Hybridizing basic variable neighborhood search with particle swarm optimization for solving sustainable ship routing and bunker management problem. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 21(3). https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2900490

Dehaghi, B. F., & Khoshfetrat, A. (2020). AHP-GP approach by considering the leopold matrix for sustainable water reuse allocation: Najafabad case study, Iran. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 64(2), 485–499. https://doi.org/10.3311/PPci.14689

Denegri De Dios, F. M., Ley García, J., & Pérez Solorio, D. C. (2022). Geotecnologías en el Análisis de Riesgos. Industria manufacturera y emisiones indirectas de CO2 a nivel municipal. In Geotecnologías en el análisis de riesgos. Universidad Autónoma de Baja California. https://www.researchgate.net/publication/365186147

Di Battista, D., Fatigati, F., Di Bartolomeo, M., Vittorini, D., & Cipollone, R. (2021). Thermal Management Opportunity on Lubricant Oil to Reduce Fuel Consumption and Emissions of a Light-Duty Diesel Engine. E3S Web of Conferences, 312. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131207023

Dong, K., Hochman, G., & Timilsina, G. R. (2020). Do drivers of CO2 emission growth alter overtime and by the stage of economic development? Energy Policy, 140, 111420. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111420

Dulebenets, M. A. (2022). Multi-objective collaborative agreements amongst shipping lines and marine terminal operators for sustainable and environmental-friendly ship schedule design. Journal of Cleaner Production, 342. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130897

Energía y Sociedad. (2024, January 16). Las emisiones de CO2. Energía y Sociedad. https://www.energiaysociedad.es/emisiones-de-co2-que-son-y-como-se-pueden-controlar/

Farooq, U., Ashfaq, K., Rustamovna, R. D., & Al-Naimi, A. A. (2023). Impact of air pollution on corporate investment: New empirical evidence from BRICS. Borsa Istanbul Review, 23(4), 876–886. https://doi.org/10.1016/j.bir.2023.03.004

Flórez Ríos, Á. M., & Morales Sierra, M. E. (2019). Gestión contable ambiental en empresas manufactureras generadoras de residuos peligrosos. Revista Cientifica General Jose Maria Cordova, 17(27), 557–578. https://doi.org/10.21830/19006586.383

Folgueiras Bertomeu, P. (2016). La entrevista. https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/99003/1/entrevista%20pf.pdf

Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5e0a7d7c-98bf-4678-8136-6c34bc9e2ebf/content

Garabiza, B. R., Prudente, E. A., & Quinde, K. N. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. Espacios, 42(02), 222–237. https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n02p17

García Lozada, H. M. (2006). Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión. Estudio de caso: Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

García Salguero, G. B., & Merino Gavilanes, J. E. (2020). Diseño de un modelo de optimización para el problema de transporte en una piladora de arroz de la ciudad de Daule. Revista Científica Aristas, 2(1), 5–17. https://revistacientificaistjba.edu.ec/images/joomgallery/details/gallery_2/gallery_1_9/Edicion_Mayo_2020_COMPLETO-c.pdf#page=6

Garzón Martínez, S. C. (2021, April 5). Efecto del arbolado urbano en la distribución espacial del dióxido de carbono emitido en la zona industrial de Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28316/GarzonMartinezSoniaConstanza2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gasca Salas, J. (2005). Teoría, Ideología y Política del Desarrollo Sostenible. Mundo Siglo XXI Revista Del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales Del Instituto Politécnico Nacional, 2, 21–28. https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/7400/1/REXTN-MS02-03-Gasca.pdf

Gil, C. G. (2017). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global, 140, 107–118. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6312616.pdf

Gómez, J. A., Villasís Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. Revista Alergia México, 63(2), 201–206. https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf

Gómez López, I. (2020). Desarrollo Sostenible. Editorial Elearning S.L.

González Acolt, R., Castillo Rodríguez, J., & Ivanova Boncheva, A. (2019). Prácticas ambientales en empresas manufactureras de equipo de transporte en México. Revista Venezolana de Gerencia, 2, 210–222. https://www.redalyc.org/journal/290/29063446011/html/

González Ordóñez, A. I., Alaña Castillo, T. P., & Gonzaga Añazco, S. J. (2018). La Gestión Ambiental en la Competitividad de las Pymes del Ecuador. INNOVA Research Journal, 3(1), 108–120. https://doi.org/10.33890/innova.v3.n1.2018.385

Goodarzian, F., Shishebori, D., Bahrami, F., Abraham, A., & Appolloni, A. (2023). Hybrid meta-heuristic algorithms for optimising a sustainable agricultural supply chain network considering CO2 emissions and water consumption. International Journal of Systems Science: Operations and Logistics, 10(1). https://doi.org/10.1080/23302674.2021.2009932

Grijalbo Fernández, L. (2017). Determinación y comunicación del Sistema de Gestión Ambiental. UF1944. Editorial Tutor Formación.

Gudiño, D. (2012). Economía verde: la controvertida ruta hacia la sustentabilidad. La Tendencia, 13, 134–137. https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/4313/1/RFLACSO-LT13-26-Gudino.pdf

Guédez Fernández, C. (2011). Programación Lineal e Ingeniería Industrial: una Aproximación al Estado del Arte. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 11(6), 61–78. https://www.redalyc.org/pdf/2150/215021914005.pdf

Guillén de Romero, J., Calle García, J., Gavidia Pacheco, A. M., & Vélez Santana, A. G. (2020). Desarrollo sostenible: Desde la mirada de preservación del medio ambiente colombiano. Revista de Ciencias Sociales (Ve), 26(4), 293–305. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28065077023

Hadipoor, M., Keivanimehr, F., Baghban, A., Ganjali, M. R., & Habibzadeh, S. (2021). Chapter 24 - Carbon dioxide as a main source of air pollution: Prospective and current trends to control. Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution, 623–688. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00004-3

Harijani, A. M., Mansour, S., & Fatemi, S. (2023). Closed-loop supply network of electrical and electronic equipment under carbon tax policy. Environmental Science and Pollution Research, 30(32). https://doi.org/10.1007/s11356-023-27443-x

Hernández Ayuso, M. del C. (2007). Introducción a la programación lineal. UNAM.

Hidalgo Capitán, A. L., García Álvarez, S., Cubillo Guevara, A. P., & Medina Carranco, N. (2019). Los Objetivos del Buen Vivir Una propuesta alternativa a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Iberoamerican Journal of Development Studies, 8(1), 6–57. https://doi.org/10.26754/ojs_ried/ijds.354

Hoof, B. Van, Monroy, N., & Saer, A. (2018). Producción más limpia: Paradigma de gestión ambiental. (Primera). Alfaomega Colombiana.

Huang, M. T., & Zhai, P. M. (2021). Achieving Paris Agreement temperature goals requires carbon neutrality by middle century with far-reaching transitions in the whole society. Advances in Climate Change Research, 12(2). https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.03.004

INEC. (2020). Módulo Ambiental de la Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM) 2018. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2018/Boletin%20Tecnico-Modulo%20Ambiental%20ENESEM%202018.pdf

INEC. (2021). Formulario Encuesta Estructural Empresarial año 2021. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Estructural_Empresarial/2021/2021_ENESEM_Formulario.pdf

INEC. (2022a). Fichas metodológicas de los indicadores de la operación estadística. https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/943/download/19846

INEC. (2022b). Información Económica Ambiental en Empresas. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-informacion-ambiental-economica-en-empresas/

INEC. (2022c). Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas ENESEM 2020. https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/943/download/19850

INEC. (2023). Boletín Técnico Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas 2021. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2021/BOL_TEC_MOD_AMB_EMP_ENESEM_2021_04.pdf

Innovación y Cualificación, S. L. (2019). Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible (Segunda). IC Editorial.

Iqbal, S., Bilal, A. R., Nurunnabi, M., Iqbal, W., Alfakhri, Y., & Iqbal, N. (2021). It is time to control the worst: testing COVID-19 outbreak, energy consumption and CO2 emission. Environmental Science and Pollution Research, 28(15). https://doi.org/10.1007/s11356-020-11462-z

Ivanova, A., Kozack, J., Roldos, J., & Muñoz, S. (2021, October 18). Cambio climático en América Latina y el Caribe_ Retos y oportunidades. International Monetary Fund. https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2021/10/28/blog-climate-change-latin-america-the-caribbean-challenges-and-opportunities#:~:text=Las%20temperaturas%20m%C3%A1s%20altas%2C%20los,y%20el%20Caribe%20(ALC).

Jabarzadeh, Y., Reyhani Yamchi, H., Kumar, V., & Ghaffarinasab, N. (2020). A multi-objective mixed-integer linear model for sustainable fruit closed-loop supply chain network. Management of Environmental Quality: An International Journal, 31(5), 1351–1373. https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0276

Jia, N., Gao, X., Liu, D., Shi, J., & Jiang, M. (2019). Identification and evolution of critical betweenness sectors and transactions from the view of CO2 reduction in

supply chain network. Journal of Cleaner Production, 232, 163–173. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.346

Jian, T., Meng, L., & Li-Na, Y. (2019). Comparative study on optimum production decision of enterprise under the carbon quota mechanism based on historical emissions (An environmental perspective). Journal of Environmental Protection and Ecology, 20(3).

Jiang, J. J., Ye, B., Zeng, Z. Z., Liu, J. G., & Yang, X. (2022). Potential and roadmap of CO2 emission reduction in urban buildings: Case study of Shenzhen. Advances in Climate Change Research, 13(4), 587–599. https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.06.006

Kaplinsky, R. (2000). Spreading the Gains from Globalisation: What Can Be Learned from Value Chain Analysis?

Kiemel, S., Schäfer, S. F., Dokur, Y. D., Vangeloglou, M., Ballheimer, L., Miehe, R., & Sauer, A. (2023). Current State and Best Practices on the Way to Zero Emission in the Manufacturing Industry: An Empirical Survey in the Germany-Austria-Switzerland Region. Procedia CIRP, 116, 432–437. https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.073

Kim, Y. (2021). Technological Innovation, the Kyoto Protocol, and Open Innovation. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 7(3), 198. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/joitmc7030198

Kutlu, L. (2020). Greenhouse gas emission efficiencies of world countries. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(23). https://doi.org/10.3390/ijerph17238771

Li, Y., Xiong, J., Ma, W., Ma, H., & Farajallah, M. (2023). Decomposing manufacturing CO2 emission changes: An improved production-theoretical decomposition analysis based on industrial linkage theory. Journal of Environmental Management, 325, 116471. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116471

Lin, X., Zhu, X., Han, Y., Geng, Z., & Liu, L. (2020). Economy and carbon dioxide emissions effects of energy structures in the world: Evidence based on SBM-DEA

model. Science of The Total Environment, 729, 138947. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138947

Linares, P., Ramos, A., Sánchez, P., Sarabia, Á., & Vitoriano, B. (2001). Modelos Matemáticos de Optimización. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. www.doi.icai.upco.es

Liu, Z., Ciais, P., Deng, Z., Davis, S. J., Zheng, B., Wang, Y., Cui, D., Zhu, B., Dou, X., Ke, P., Sun, T., Guo, R., Zhong, H., Boucher, O., Bréon, F. M., Lu, C., Guo, R., Xue, J., Boucher, E., … Chevallier, F. (2020). Carbon Monitor, a near-real-time daily dataset of global CO2 emission from fossil fuel and cement production. Scientific Data, 7(1). https://doi.org/10.1038/s41597-020-00708-7

López Jara, A. A., Calle Samaniego, D. B., & Molina Benalcázar, A. M. (2017). Análisis del uso de las herramientas de gestión ambiental en las empresas comerciales del cantón Morona. Revista Killkana Sociales, 1(3), 45–52. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6297482.pdf

López, P. L. (2004). Población muestra y muestreo. Punto Cero, 9(8), 69–74. http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf

Lovato Torres, S. G., Hidalgo Hidalgo, W. A., Fienco Valencia, G. V., & Buñay Cantos, J. P. (2019). Incidencia del crecimiento económico del sector manufacturero sobre el Producto Interno Bruto en Ecuador. Revista Venezolana de Gerencia, 24(86), 563–573. https://www.redalyc.org/articulo.oa?

Mahjoub, N., & Sahebi, H. (2020). The water-energy nexus at the hybrid bioenergy supply chain: A sustainable network design model. Ecological Indicators, 119, 106799. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106799

Massolo, L. (2015). Introducción a las herramientas de gestión ambiental. Edulp Editorial de la Universidad de la Palta.

Meng, J., & Zhang, Z. X. (2022). Corporate environmental information disclosure and investor response: Evidence from China's capital market. Energy Economics, 108. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105886

Mitchell, D., Allen, M. R., Hall, J. W., Muller, B., Rajamani, L., & Le Quéré, C. (2018). The myriad challenges of the Paris Agreement. In Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Vol. 376, Issue 2119). Royal Society Publishing. https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0066

Mora Escobar, H. M. (1997). Programación lineal. Universidad Nacional de Colombia.

Muriel, R. D. (2006). Gestión Ambiental. Ide@ Sostenible, 3(13), 1–8. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1110/13_GestAmbientalRafaelMuriel_cast?sequence=1

Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.

Ochoa Jiménez, D., Armas Herrera, R., & Pereira, C. (2022). Manufacturas y crecimiento económico en Ecuador bajo una perspectiva regional. Un modelo de panel dinámico, 2007 -2020. ReVista Económica, 10(1), 31–44. https://doi.org/10.54753/rve.v10i1.1290

Oliveira, C., Baptista, J., & Cerveira, A. (2023). Self-Sustainability Assessment for a High Building Based on Linear Programming and Computational Fluid Dynamics. Algorithms, 16(2). https://doi.org/10.3390/a16020107

ONU. (2022, October 26). Los países son incapaces de doblegar la curva de las emisiones el CO2 y el metano marcan un récord histórico. Organización de Las Naciones Unidas. https://news.un.org/es/story/2022/10/1516392

Organización de las Naciones Unidas. (2022, May 24). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. ONU. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Ormaza Andrade, J., Ochoa Crespo, J., Ramírez Valarezo, F., & Quevedo Vázquez, J. (2020). Responsabilidad social empresarial en el Ecuador: Abordaje desde la Agenda 2030. Revista de Ciencias Sociales (Ve), 26(3), 1–18. https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28063519009

Pal, T. K., De, D., & Bharadwaj, P. K. (2020). Metal–organic frameworks for the chemical fixation of CO2 into cyclic carbonates. Coordination Chemistry Reviews, 408, 213173. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.213173

Paz Collinao, M. (2015). Gasto de Protección Ambiental. https://www.economianqn.gob.ar/contenido/file/4040

Piedrahita, G. (1965). Programación lineal. Revista Universidad EAFIT, 1(1), 41–62. https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/e5f84910-fc7f-4cd3-afb9-f1d5ed7b8e91/content

Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2005). Mejora de la competitividad en clusters y cadenas productivas en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo.

Prashar, A. (2019). Towards sustainable development in industrial small and Medium-sized Enterprises: An energy sustainability approach. Journal of Cleaner Production, 235. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.045

Rahko, J. (2023). The effects of environmental investments on the economic performance of industrial plants – Evidence from Finland. Journal of Cleaner Production, 394. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136142

Rajabloo, T., De Ceuninck, W., Van Wortswinkel, L., Rezakazemi, M., & Aminabhavi, T. (2022). Environmental management of industrial decarbonization with focus on chemical sectors: A review. In Journal of Environmental Management (Vol. 302). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114055

Rajak, S., Vimal, K. E. K., Arumugam, S., Parthiban, J., Sivaraman, S. K., Kandasamy, J., & Duque, A. A. (2022). Multi-objective mixed-integer linear optimization model for sustainable closed-loop supply chain network: a case study on remanufacturing steering column. Environment, Development and Sustainability, 24(5), 6481–6507. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01713-5

Raza, M. Y., & Hasan, M. M. (2022). Estimating the multiple impacts of technical progress on Bangladesh's manufacturing and industrial sector's CO2 emissions: A quantile regression approach. Energy Reports, 8. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.005

Rehman, A., Ma, H., Ozturk, I., Murshed, M., & Dagar, V. (2021). The dynamic impacts of CO2 emissions from different sources on Pakistan's economic progress: a roadmap to sustainable development. Environment, Development and Sustainability, 23(12). https://doi.org/10.1007/s10668-021-01418-9

Reyes Rubio, M. A. (2024). Emisiones de CO2 en la producción del sector manufacturero en el Ecuador [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/40784

Sachs, J. D. (2015). La era del desarrollo sostenible Nuestro futuro está en juego: incorporemos el desarrollo sostenible a la agenda política mundial (Primera). Ediciones Deusto.

Sánchez, A., & Gándara, A. (2011). Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable (Primera). INE-SEMARNAT.

Sarfraz, M., Ivascu, L., & Cioca, L. I. (2022). Environmental regulations and co2 mitigation for sustainability: Panel data analysis (pmg, ccemg) for brics nations. Sustainability (Switzerland), 14(1). https://doi.org/10.3390/su14010072

Sari, V. K. (2022). The impact of macroeconomic indicators on carbon emission in Indonesia. Jurnal Perspektif Pembiayaan Dan Pembangunan Daerah, 10(1), 53–62. https://doi.org/10.22437/ppd.v10i1.17532

Schuschny, A. R. (2007). El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe. CEPAL.

Sinkhonde, D. (2022). Generating response surface models for optimisation of CO2 emission and properties of concrete modified with waste materials. Cleaner Materials, 6, 100146. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100146

Sodiq, A., Abdullatif, Y., Aissa, B., Ostovar, A., Nassar, N., El-Naas, M., & Amhamed, A. (2023). A review on progress made in direct air capture of CO2. In Environmental Technology and Innovation (Vol. 29). https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102991

Su, S. B., He, C., Shu, Y., Chen, Q. L., & Zhang, B. J. (2023). Total site modeling and optimization for petrochemical low-carbon retrofits using multiple CO2 emission reduction methods. Journal of Cleaner Production, 383, 135450. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135450

Su, Y., Liu, X., Ji, J., & Ma, X. (2021). Role of economic structural change in the peaking of China's CO2 emissions: An input–output optimization model. Science of the Total Environment, 761. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143306

Suárez Tamayo, S., & Molina Esquivel, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 52(3), 357–363. http://scielo.sld.cu

Sun, R. S., Gao, X., Deng, L. C., & Wang, C. (2022). Is the Paris rulebook sufficient for effective implementation of Paris Agreement? Advances in Climate Change Research, 13(4). https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.05.003

Superintendencia de Bancos. (2022). Sistema de Banca Privada y Pública Informe del Sector Industrias Manufactureras. https://www.superbancos.gob.ec/estadisticas/portalestudios/wp-content/uploads/sites/4/2022/08/estudio-sectorial-manufactura-jun-22.pdf

Superintendencia de Compañías, V. y S. (2023). Empresas sujetas al control de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. https://appscvsmovil.supercias.gob.ec/ranking/reporte.html

Tobasura Acuña, I. (2006). La política ambiental en los planes de desarrollo en Colombia 1990-2006. Una visión crítica. Revista Luna Azul, 22, 8–19. https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727224002.pdf

Tomta, D., & Chiatchoua, C. (2009). Cadenas productivas y productividad de las Mipymes. Criterio Libre, 7(11), 145–164. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3227605

Torreblanca Fernández, E. (2017). Determinación y comunicación del sistema de gestión ambiental (SGA) (Primera). IC Editorial.

Udemba, E. N., Güngör, H., Bekun, F. V., & Kirikkaleli, D. (2021). Economic performance of India amidst high CO2 emissions. Sustainable Production and Consumption, 27, 52–60. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.024

Universidad de Cádiz. (2008, October 29). Lingo. Universidad de Cádiz. https://knuth.uca.es/io/doku.php?id=lingo

Valadéz Ramírez, A., & Landa Durán, P. (2003). Política y Gestión Ambiental. Características y lineamientos generales. Psicología y Ciencia Social, 5(2), 54–61. https://elibro-net.uta.lookproxy.com/es/ereader/uta/19167?page=2.

Vera Viera, R. A. (2022). Trampas de vapor para la mejora de la eficiencia energética en el sector industrial. Polo Del Conocimiento, 7(3), 1184–1199. https://doi.org/10.23857/pc.v7i3.3786

Vicente Domingo, E., & Gómez Campelo, E. (2021). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la ciudad de Burgos.

Wang, C. H., Ko, M. H., & Chen, W. J. (2019). Effects of Kyoto Protocol on CO2 emissions: A five-country rolling regression analysis. Sustainability (Switzerland), 11(3). https://doi.org/10.3390/su11030744

Wang, W., & Wang, J. (2021). Determinants investigation and peak prediction of CO2 emissions in China's transport sector utilizing bio-inspired extreme learning machine. Environmental Science and Pollution Research, 28(39). https://doi.org/10.1007/s11356-021-14852-z

Wood, A. (2001). Value chains: An economist's perspective. IDS Bulletin, 32(3), 41–45. https://doi.org/10.1111/j.1759-5436.2001.mp32003005.x

Wu, D., Zhou, D., Zhu, Q., & Wu, L. (2023). Industrial structure optimization under the rigid constraint of carbon peak in 2030: A perspective from industrial sectors. Environmental Impact Assessment Review, 101. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107140

Xu, B., & Lin, B. (2016). Reducing carbon dioxide emissions in China's manufacturing industry: a dynamic vector autoregression approach. Journal of

Cleaner Production, 131, 594–606. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.129

Xu, H., Pan, X., Guo, S., & Lu, Y. (2021). Forecasting Chinese CO2 emission using a non-linear multi-agent intertemporal optimization model and scenario analysis. Energy, 228. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120514

Yi Jinchao, H. Y., & Zhang, Z. Z. (2023). The impact of foreign direct investment (FDI) on China's manufacturing carbon emissions. Innovation and Green Development, 2(4), 100086. https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100086

ANEXOS

Modelo de la entrevista semiestructurada

Universidad Técnica de Ambato

Facultad de Contabilidad y Auditoria

Carrera de Economía

Modelo de cuestionario

Objetivo: Estudiar los parámetros de optimización en el contexto empresarial sobre las actividades de gestión de residuos sólidos para mejoras eficientes en aspectos económicos, operativos y medioambientales.

Entrevistador: Equipo investigador de la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Indicaciones: Marque según su criterio las respuestas que considere acordes a su caso.

DATOS DE LA ORGANIZACIÓN:

Nombre de la organización:

Nombre del encuestado:

Cargo: Tiempo en el cargo:

Preguntas informativas

1. ¿Cuál es la principal actividad económica de la empresa?

a) Fabricación de calzado

b) Fabricación de textiles

c) Fabricación de carrocerías

2. Indique el tiempo que tiene la empresa desde la creación.

---

3. ¿Cuál es el número aproximado de empleados que tiene la empresa?

a) 1 a 9

b) 10 a 49

c) 50 a 99

d) 100 a 199

e) Mas de 200 trabajadores

4. ¿Cuál es el producto que más se ha elaborado en el último año?

---

5. ¿Cuál es el volumen aproximado mensual de producción (del producto más elaborado)?

---

6. ¿Cuáles son los ingresos brutos por ventas mensuales, considerando todos los productos que ofrece?

a) Menos 1000 USD

b) 1001 a 2000 USD

c) 2001 a 5000 USD

d) 5001 a 10000 USD

e) Mas de 10000 USD

7. ¿La empresa cuenta actualmente con un departamento o unidad dedicada a la salud, seguridad ocupacional y ambiente?

a) Si

b) No

8. ¿La empresa ha realizado la contratación de consultoras ambientales externas en los 3 últimos años?

a) Si

b) No

9. ¿La empresa cuenta actualmente con personas dedicadas a actividades ambientales?

a) Si

b) No

10. ¿La empresa cuenta actualmente con permisos ambientales?

a) Si

b) No

11. ¿La empresa cuenta actualmente con certificación ambiental?

a) Si

b) No

12. ¿Cómo evalúan y gestionan el impacto ambiental que generan las actividades de la empresa?

_____

13. Las actividades de la empresa qué tipo de foco de afectación medioambiental principalmente pudiera generar:

a) Emisiones de CO2

b) Aguas residuales

c) Residuos sólidos

d) Elevado consumo de energía eléctrica

14. ¿La empresa considera en su presupuesto rubros destinados a la inversión para mitigar impactos ambientales?

a) Si

b) No

En caso de responder si, ¿Cuál sería el valor anual aproximado en dólares?

_____

15. ¿Durante el último año, la empresa ha realizado gasto corriente en gestión ambiental?

a) Si

b) No

En caso de responder si, ¿Cuál sería el valor anual aproximado en dólares?

Emisiones de CO2

16. ¿La empresa utiliza combustibles fósiles para actividades de producción y transporte?

a) Si

b) No

17. Si su respuesta fue si, ¿Cuál es el principal combustible usado en el transporte y/o producción?

a) Gasolina súper

b) Gasolina extra

c) Jet Fuel

d) Diésel

e) Residuo fuel oil

f) Crudo residual

g) Gasolina Ecopaís

h) Aceites

i) Carbón

j) Gas licuado

18. ¿En qué actividad principalmente utiliza la mayor cantidad de combustibles fósiles?

a) Transporte

b) Calderas

c) Calor directo

d) Fuerza motriz y frío

e) Mantenimiento

f) Otros usos

32. ¿Cuántos galones de gasolina super consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

19. ¿Cuántos galones de gasolina extra consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

20. ¿Cuántos galones de diésel consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

35. ¿Cuántos galones de jet fuel consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

21. ¿Cuántos galones de residuo fuel oil consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

22. ¿Cuántos galones de gasolina ecopaís consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

23. ¿Cuántos galones de aceites consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

24. ¿Cuántos galones de crudo residual consume al mes?

a) 1 a 10 galones

b) 11 a 20 galones

c) 21 a 30 galones

d) 31 a 40 galones

e) Más de 40 galones

f) No aplica

25. ¿Cuántos kilogramos de carbón consume al mes?

a) 1 a 10 kilogramos

b) 11 a 20 kilogramos

c) 21 a 30 kilogramos

d) 31 a 40 kilogramos

e) Más de 40 kilogramos

f) No aplica

26. ¿Cuántos kilogramos de gas licuado consume al mes?

a) 1 a 10 kilogramos

b) 11 a 20 kilogramos

c) 21 a 30 kilogramos

d) 31 a 40 kilogramos

e) Más de kilogramos

f) No aplica

Economía Circular

27. ¿La empresa realiza actividades que involucran economía circular?

a) Si

b) No

28. ¿La empresa ofrece servicio postventa de los productos?

a) Sí

b) No

29. La empresa, en su cadena de suministro ¿cuenta con proveedores ecológicos?

a) Si

b) No

31. ¿Sus productos son diseñados para minimizar los impactos medioambientales?

a) Si

b) No

Oficios

UTA | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

Ambato, 21 de mayo de 2024

Sr. Luis Calixto Peñaloza Apolo

Gerente RUBBERSHOES INDUSTRIAL CIA.LTDA.

Presente. -

De mi consideración:

Con un cordial saludo y deseándole éxitos en sus funciones dentro de tan prestigiosa empresa, la presente es para solicitarle de la manera más comedida, se autorice y facilite recabar información a través de una entrevista que durará no más de 30 min sobre aspectos de gestión ambiental aplicados en su empresa.

Esta información es de carácter estrictamente académica y permitirá aportar a un proyecto de investigación denominado "Optimización en la gestión de residuos sólidos y en las emisiones de CO2 en la industria manufacturera del Ecuador", el cual está siendo desarrollado por las estudiantes Kathy Velásquez y Dennise Lalaleo, bajo la tutoría del Ing. Darwin Aldás, docente de la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Seguros de contar con su gentil colaboración, considerando la importancia de vincular la academia con la industria, quedamos a la espera de su respuesta y que nos asigne día y hora para poder realizar dicha entrevista.

Atentamente,

DARWIN SANTIAGO ALDAS SALAZAR

Ing. Mg. Darwin Aldás

DOCENTE FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA – UTA

Adj. Cuestionario para la entrevista
Telf: 0980904195
Email: darwinsaldas@uta.edu.ec

UTA | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

Ambato, 21 de mayo de 2024

Sr. William Arias

Gerente CALZADO LIWI

Presente. -

De mi consideración:

Con un cordial saludo y deseándole éxitos en sus funciones dentro de tan prestigiosa empresa, la presente es para solicitarle de la manera más comedida, se autorice y facilite recabar información a través de una entrevista que durará no más de 30 min sobre aspectos de gestión ambiental aplicados en su empresa.

Esta información es de carácter estrictamente académica y permitirá aportar a un proyecto de investigación denominado "Optimización en la gestión de residuos sólidos y en las emisiones de CO2 en la industria manufacturera del Ecuador", el cual está siendo desarrollado por las estudiantes Kathy Velásquez y Dennise Lalaleo, bajo la tutoría del Ing. Darwin Aldás, docente de la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Seguros de contar con su gentil colaboración, considerando la importancia de vincular la academia con la industria, quedamos a la espera de su respuesta y que nos asigne día y hora para poder realizar dicha entrevista.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DARWIN SANTIAGO
ALDAS SALAZAR

Ing. Mg. Darwin Aldás

DOCENTE FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA – UTA

Adj. Cuestionario para la entrevista

Telf: 0980904195
Email: darwinsaldas@uta.edu.ec

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

Ambato, 21 de mayo de 2024

Econ. Jimmy Palan

Gerente Carrocerías PICOSA S.A

Presente. -

De mi consideración:

Con un cordial saludo y deseándole éxitos en sus funciones dentro de tan prestigiosa empresa, la presente es para solicitarle de la manera más comedida, se autorice y facilite recabar información a través de una entrevista que durará no más de 30 min sobre aspectos de gestión ambiental aplicados en su empresa.

Esta información es de carácter estrictamente académica y permitirá aportar a un proyecto de investigación denominado "Optimización en la gestión de residuos sólidos y en las emisiones de CO2 en la industria manufacturera del Ecuador", el cual está siendo desarrollado por las estudiantes Kathy Velásquez y Dennise Lalaleo, bajo la tutoría del Ing. Darwin Aldás, docente de la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Seguros de contar con su gentil colaboración, considerando la importancia de vincular la academia con la industria, quedamos a la espera de su respuesta y que nos asigne día y hora para poder realizar dicha entrevista.

Atentamente,

DARWIN SANTIAGO ALDAS SALAZAR

Ing. Mg. Darwin Aldás

DOCENTE FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA – UTA

Adj. Cuestionario para la entrevista
Telf: 0980904195
Email: darwinsaldas@uta.edu.ec

Recibido 30/05/24

UTA | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

Ambato, 21 de mayo de 2024

Ing. Tania Cepeda

Gerente general CARROCERIAS CEPEDA

Presente. -

De mi consideración:

Con un cordial saludo y deseándole éxitos en sus funciones dentro de tan prestigiosa empresa, la presente es para solicitarle de la manera más comedida, se autorice y facilite recabar información a través de una entrevista que durará no más de 30 min sobre aspectos de gestión ambiental aplicados en su empresa.

Esta información es de carácter estrictamente académica y permitirá aportar a un proyecto de investigación denominado "Optimización en la gestión de residuos sólidos y en las emisiones de CO2 en la industria manufacturera del Ecuador", el cual está siendo desarrollado por las estudiantes Kathy Velásquez y Dennise Lalaleo, bajo la tutoría del Ing. Darwin Aldás, docente de la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Seguros de contar con su gentil colaboración, considerando la importancia de vincular la academia con la industria, quedamos a la espera de su respuesta y que nos asigne día y hora para poder realizar dicha entrevista.

Atentamente,

Ing. Mg. Darwin Aldás

DOCENTE FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA – UTA

Adj. Cuestionario para la entrevista
Telf: 0980904195
Email: darwinsaldas@uta.edu.ec

23- Mayo - 2024

CEPEDA company limited

UTA | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FCA | FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

Ambato, 21 de mayo de 2024

Ing. Santiago Vargas

Gerente general CARROCERIAS VARMA S.A.

Presente. -

De mi consideración:

Con un cordial saludo y deseándole éxitos en sus funciones dentro de tan prestigiosa empresa, la presente es para solicitarle de la manera más comedida, se autorice y facilite recabar información a través de una entrevista que durará no más de 30 min sobre aspectos de gestión ambiental aplicados en su empresa.

Esta información es de carácter estrictamente académica y permitirá aportar a un proyecto de investigación denominado "Optimización en la gestión de residuos sólidos y en las emisiones de CO2 en la industria manufacturera del Ecuador", el cual está siendo desarrollado por las estudiantes Kathy Velásquez y Dennise Lalaleo, bajo la tutoría del Ing. Darwin Aldás, docente de la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Seguros de contar con su gentil colaboración, considerando la importancia de vincular la academia con la industria, quedamos a la espera de su respuesta y que nos asigne día y hora para poder realizar dicha entrevista.

Atentamente,

Ing. Mg. Darwin Aldás

DOCENTE FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA – UTA

Adj. Cuestionario para la entrevista
Telf: 0980904195
Email: darwinsaldas@uta.edu.ec

Varma
21 Mayo-2024

Los cuatro oficios faltantes se enviaron por medio del correo.

Modelo matemático de Optimización (Mod-1) en el software Lingo

