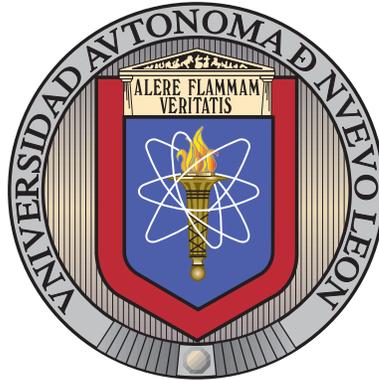


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



REDUCCIÓN DE CO_2 EN LA RED DE
TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

POR

SARAHÍ BERENICE CARRANZA GARRIDO

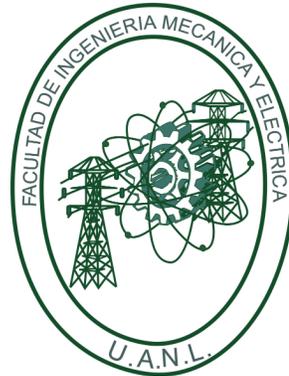
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

DICIEMBRE 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



REDUCCIÓN DE CO_2 EN LA RED DE
TRANSPORTE DE UNA EMPRESA DE LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

POR

SARAHÍ BERENICE CARRANZA GARRIDO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

DICIEMBRE 2018

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Reducción de CO_2 en la red de transporte de una empresa de la industria automotriz», realizada por el alumno Sarahi Berenice Carranza Garrido, con número de matrícula 1445900, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dra. Jania Astrid Martínez Saucedo

Asesor



Dr. Miguel Mata Pérez

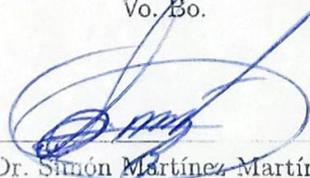
Revisor



MLyCS Elizabeth Mendoza González

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirección de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, diciembre 2018

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por brindarme sabiduría y paciencia para terminar este proyecto. A mis padres por su apoyo incondicional. A mi tutora, la Dra. Jania Astrid Martínez Saucedo, por su paciencia, tiempo y esfuerzo. A mis revisores, por su tiempo y apoyo. A mis compañeros por hacer de esta aventura un viaje más ameno.

RESUMEN

Sarahi Berenice Carranza Garrido.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: REDUCCIÓN DE CO_2 EN LA RED DE TRANSPORTE DE UNA
EMPRESA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Número de páginas: ??.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Propone un modelo matemático como herramienta que determine la ruta óptima mediante la selección de transporte que emita la menor cantidad posible de CO_2 , que a su vez reduzca costos y considere los tiempos de tránsito requeridos para satisfacer la demanda de producción de la compañía.

Mediante el uso de modelos matemáticos se busca optimizar la ruta mediante la selección de transporte para abastecimiento de material prima de una empresa automotriz. Si bien existen modelos que toman en cuenta la reducción de costos de transporte, las emisiones de transporte y otros que consideren la reducción de tiempo, no existe alguno que tome en cuenta la reducción de éstos tres parámetros y se adapte a la problemática de la compañía en el caso de estudio.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Con este modelo se propone reducir el transporte carretero y optar por un transporte férreo para reducir costos de transporte y costos por emisiones hasta en un 44 por ciento. Este modelo puede ser utilizado y adaptado a las necesidades de otras compañías.

Firma del asesor: _____

Dra. Jania Astrid Martínez Saucedo

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la población está creciendo en gran medida. De acuerdo a cifras del Banco Mundial, en 1999 la población mundial era de 6000 millones y se esperaba que para 2015 la población aumentara a 7,000 millones pero en realidad alcanzó una cifra de 7,300 millones de personas (véase figura 1.1). Se estima que la población siga aumentando, por lo que la ONU (Organización de las Naciones Unidas) pronosticó una cifra de 9,600 millones de personas para el año 2050. El acelerado crecimiento de la población está creando una latente preocupación por una mejor administración de los recursos naturales que se pueden poner en peligro de escasez en un futuro.

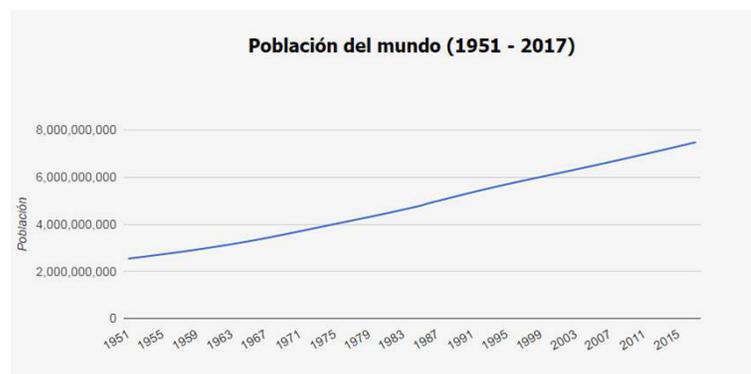


Figura 1.1: Población mundial

En el mundo empresarial, las organizaciones se habían enfocado en la creación de valor por medio del cumplimiento de las características de una logística tradicional

como tiempo, costo, eficiencia y calidad, tomando en cuenta sólo la parte económica. ? lo llama *devil's quadrangle* (véase figura 1.2), pero debido a que cada vez más empresas se han unido a la consternación por el futuro de nuestro planeta y de la propia organización, se ha considerado el surgimiento de la sustentabilidad como parte importante del desempeño organizacional, así no sólo se toma en cuenta el aspecto económico sino también lo ambiental y el impacto social.

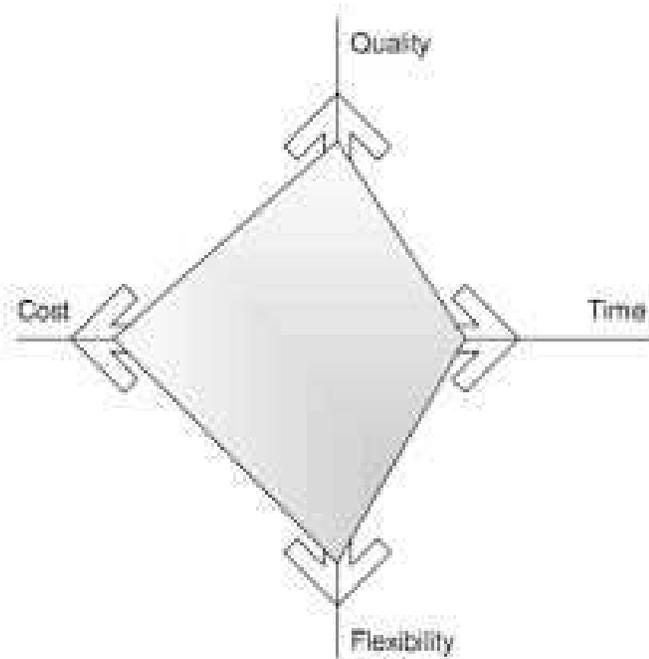


Figura 1.2: *Devil's quadrangle*

En la representación de ? el cuadrángulo se convierte en pentágono (ver figura 1.3), al incluir la sustentabilidad como una importante dimensión en la administración del negocio. En este caso, el desafío en las empresas es cómo promover la sustentabilidad por medio de sus procesos, establecer indicadores como la huella de carbono, el consumo de energía renovable o el desperdicio en producción, con el objetivo de llegar a ser una empresa sustentable.

Según ? una empresa sustentable contribuye al impacto social, económico y

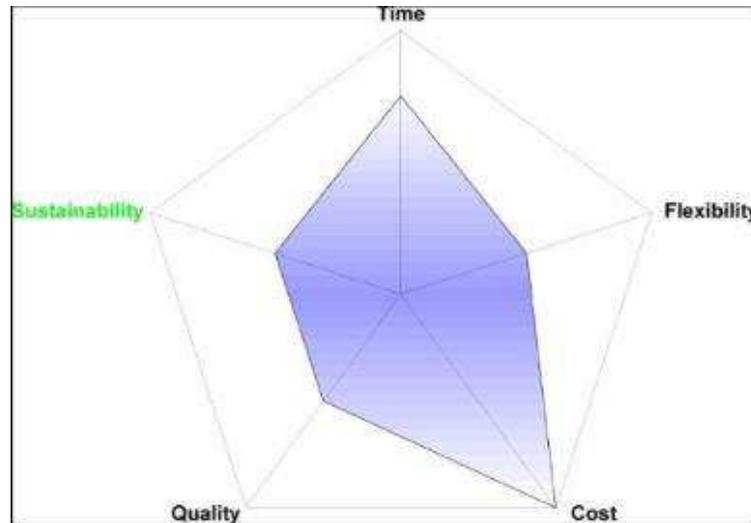


Figura 1.3: *Devil's pentágono*

ambiental por medio de sus procesos, así que entiende, documenta, modela, analiza, simula y ejecuta continuamente sus procesos con la finalidad de considerar las consecuencias ambientales que conllevan el modo de operación de sus procesos.

En las empresas ha quedado atrás la idea de sacrificar utilidades para lograr una logística sustentable, por el contrario, pueden hacer una gran inversión que le genere un aumento en las utilidades a largo plazo o reducir costos de manera directa e incrementar la eficiencia de su cadena de suministro.

Existen tres principales causas que pueden influir en la decisión de las empresas de implementar una cadena de suministro verde dentro de su organización: presiones normativas, son las que impone el cliente como requisito; presiones coercitivas, son las que ejercen influencia política y buscan legitimidad; presiones miméticas, que son la respuesta estándar a la incertidumbre por medio de la innovación ?.

La cadena de suministro ha dejado de ser uno de los eslabones menos fuertes para convertirse en algo fundamental para la creación de valor de una empresa y la sustentabilidad aplicada a la cadena de suministro es una gran oportunidad pero que aún no está lo suficientemente explorada y de la que se pueden sacar muchos beneficios, como un mejor posicionamiento en el mercado y también generar más

ingresos en las empresas logísticas.

En las empresas es necesario crear conciencia a los empleados y gerentes, y lograr una mayor colaboración entre los distintos agentes implicados: proveedores, distribuidores, transportistas, servicio técnico, etc. para que el reto se pueda conseguir.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El objeto de estudio se centrará en una empresa de la industria automotriz de origen sueco que se encarga de producir ajustadores de frenos, suspensiones, válvulas y cámaras de freno de disco de aire utilizados en el transporte pesado.

Uno de los indicadores de la empresa (KPI) es la medición de emisiones de CO_2 que genera en sus operaciones, donde la planta situada en Monterrey se encuentra por encima de la meta establecida por la organización (ver figura 1.4).

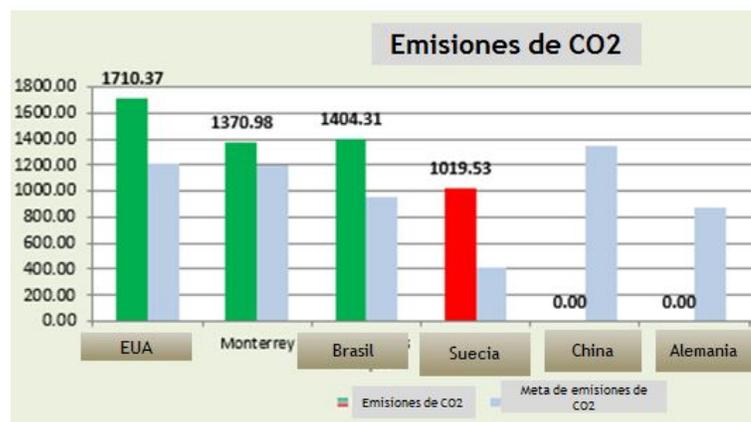


Figura 1.4: Emisiones meta

De acuerdo a la siguiente gráfica, el transporte es un factor predominante dentro de los causantes de emisiones de CO_2 en la compañía (ver figura 1.5).

Esta empresa está buscando minimizar y controlar los impactos ambientales en sus operaciones para de esta manera cumplir con las normas de sustentabilidad

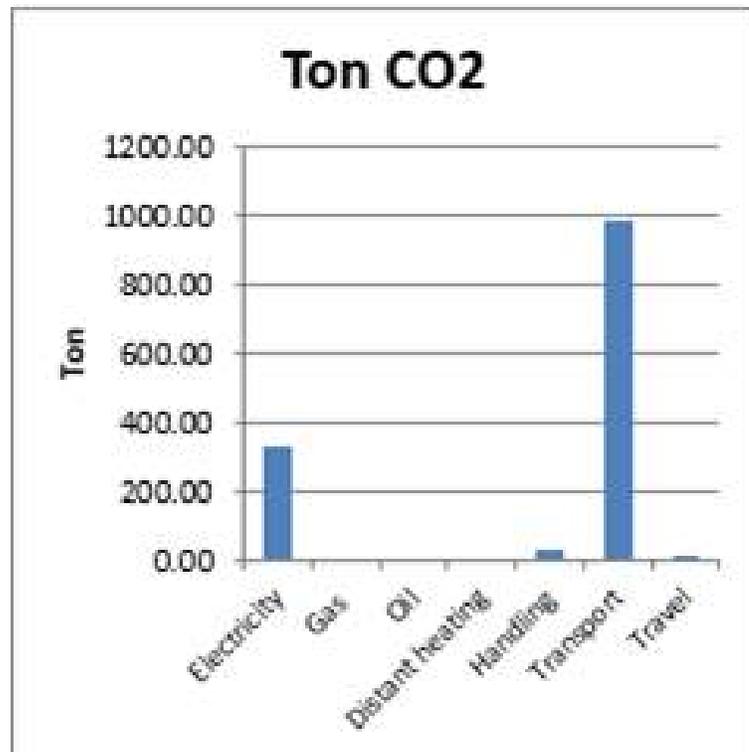


Figura 1.5: Emisiones transporte

basadas en la normativa europea EURO6 y mejorar sus estándares de acuerdo a su política ambiental. Anteriormente se han implementado proyectos para reducir el impacto ambiental en sus procesos de manufactura, por ejemplo: reducción de ruido en las celdas de producción y en la compra de tarimas nuevas para impulsar la reutilización de tarimas de madera y también en la disposición de sus recursos como la reducción de generación de agua contaminada; es por eso que observa en el área de la logística una oportunidad de contribuir en preservación del medio ambiente mediante la reducción de emisiones en su red de transporte (ver figura 1.6).

1.1.1 LOGÍSTICA DE LA EMPRESA

De acuerdo a sus cláusulas de contratos con proveedores y clientes, esta empresa se hace responsable de los costos de transporte y sus maniobras desde la fábrica de proveedor hasta su llegada a México. Sus principales proveedores se encuentran en

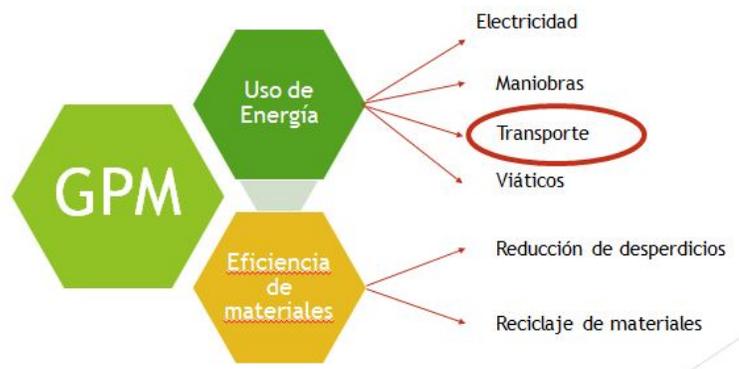


Figura 1.6: Green project management

Asia (China e India), Europa y Estados Unidos. En el aprovisionamiento y distribución de producto, el modo de transporte que se utiliza es marítimo, terrestre, férreo y aéreo sólo en expedición. Dependiendo del tamaño de la carga el producto puede ser embarcado como FTL (por sus siglas en inglés *Full Trailer Load*) o LTL (por sus siglas en inglés *Less Trailer Load*). De acuerdo a datos de la compañía se genera una mayor emisión de CO_2 en los vehículos que transportan los productos de materia prima hacia la planta que los vehículos que distribuyen el producto terminado hacia los clientes (ver figura 1.7).

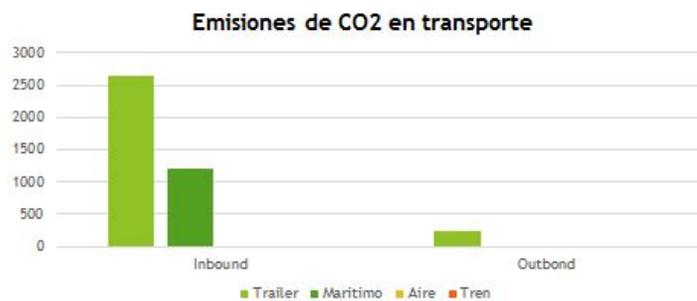


Figura 1.7: Transporte inbound

Se busca hacer un estudio sobre el modo de transporte óptimo para el aprovisionamiento de productos con el fin de contribuir en el impacto ambiental, por medio de la reducción de contaminantes. Los requisitos a considerar en la selección de proveedores de logística además del costo y su tiempo de tránsito sería la cantidad

de emisiones de CO_2 que generan sus vehículos.

1.2 OBJETIVO

Minimizar la emisión de CO_2 utilizando un modelo matemático como herramienta que determine la ruta óptima mediante la selección de transporte que emita la menor cantidad posible de CO_2 , que a su vez reduzca costos y considere los tiempos de tránsito requeridos para satisfacer la demanda de producción de la compañía.

1.3 HIPÓTESIS

Mediante la creación de un modelo matemático que toma en cuenta el transporte intermodal, los costos de transporte y las emisiones de CO_2 por vehículo, se encontraría una ruta óptima sustentable que considere una reducción de costos y emisiones de CO_2 de la compañía, cumpliendo con los tiempos de tránsito indispensables para satisfacer la demanda de producción de la compañía.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Algunos científicos consideran que los humanos están generando emisiones dentro de la atmósfera que eventualmente tendrían un catastrófico impacto en el cambio climático. Algunos creen que éstos ya comenzaron con las altas temperaturas a nivel global y el aumento considerable del nivel del mar. El aumento en las emisiones de lo que llamamos gases invernadero pueden provocar el efecto invernadero, el cual en condiciones normales protege al planeta de un sobrecalentamiento global. Más específicamente, el incremento en el uso de combustibles fósiles libera una considerable cantidad de dióxido de carbono, gases invernadero en la atmósfera, dando como

resultado altas temperaturas a nivel global ?.

Los gases invernadero se conforman principalmente por dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido de azufre (SO_2), metano (CH_4) y óxidos de nitrógeno (NO_2), (NO_x), (NO) donde la fuente principal del (CO) son los humos procedentes del escape de los vehículos a motor y el (CO_2) es uno de los principales contaminantes responsables del efecto invernadero ?.

En una escala global, el principal gas de efecto invernadero provocado por actividad humana es el dióxido de carbono (CO_2) generado por los combustibles fósiles y los procesos industriales (ver figura 1.8) y el transporte representa un 14 por ciento en la escala de los sectores económicos que emiten mayor cantidad de gases invernadero (ver figura 1.9)?



Figura 1.8: Principal contaminante

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud ?, se prevé que entre 2030 y 2050 las consecuencias del cambio climático provocado por los gases invernadero serían:

- 250,000 defunciones adicionales cada año, debido a: -Mal nutrición -paludismo -diarrea -estrés calórico - Enfermedades cardiovasculares y respiratorias, sobre todo en personas de edad avanzada.

Además, las políticas de ésta empresa están altamente relacionadas con la se-

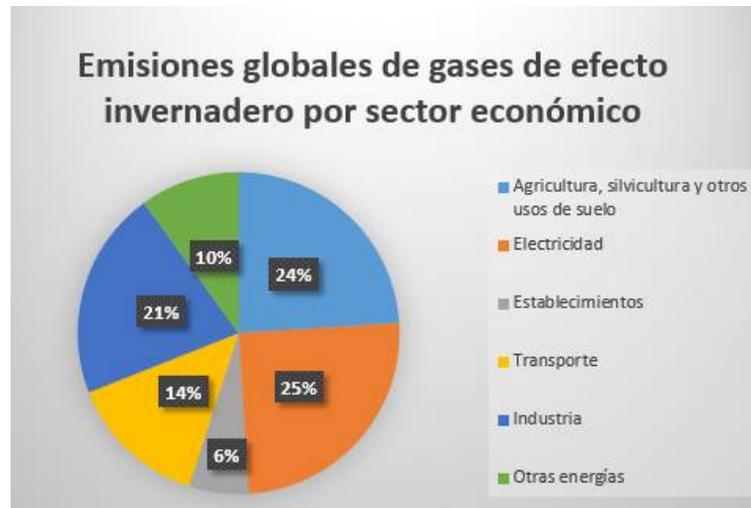


Figura 1.9: Emisiones por sector económico

guridad y la sustentabilidad en la industria global de vehículos comerciales, tomando como compromiso el promover y mejorar continuamente la cultura ecológica y prevenir la contaminación al medio ambiente, cumpliendo con las leyes y reglamentos aplicables.

Por último, este trabajo permitiría que cada vez más empresas adopten medidas preventivas de emisión de contaminantes por medio de su red de transporte y como sociedad se siga contribuyendo en virtud al ecosistema donde las actividades operativas reducen el impacto ambiental en nuestro planeta.

1.5 METODOLOGÍA

Se busca diseñar una ruta óptima en la red de transporte de una empresa de la industria automotriz mediante un modelo matemático. Al día de hoy existen modelos para la optimización de transporte, pero no existe un modelo matemático que optimice costos, emisiones de CO_2 y a su vez tenga en su consideración el tiempo de ruta, por lo cual esta investigación toma como base el modelo propuesto por ? adaptándolo a las características de la empresa e incluyendo una variable más la cual

es el tiempo.

La metodología a seguir se muestra en la siguiente estructura:



Figura 1.10: Metodología

1.6 ESTRUCTURA DE TESIS

Este primer capítulo contiene la introducción al tema, la descripción del problema, el objetivo de este trabajo, su justificación, lo que se espera de este trabajo expresado en la hipótesis y la metodología a utilizar para brindar una solución al problema planteado en esta investigación.

En el segundo capítulo se presenta la definición de logística y cadena de suministro, el concepto de sustentabilidad, la sustentabilidad en la logística y las características del transporte sustentable. Además de la revisión de literatura, así como casos aplicados y la relación entre la aplicación de dichos casos con este trabajo en particular.

En el tercer capítulo se presentan pruebas de experimentación basados en datos de la empresa para encontrar una solución al problema planteado

En el cuarto capítulo se podrán observar los resultados y análisis de dicha experimentación y por último, en el quinto capítulo se presentarán las conclusiones de este trabajo, así también, sus contribuciones a la cadena de suministro.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

En este capítulo se revisará la literatura que nos ayudará a comprender las bases de este caso de estudio. En la primera parte se define el concepto de logística y cadena de suministro, después se desarrollaran conceptos de sustentabilidad, así como su desarrollo en la logística y la importancia del transporte sustentable en estos días.

2.1 LOGÍSTICA

El concepto de logística es muy antiguo, existe un pasaje publicado por ? donde se explica las decisiones sobre el uso transporte por tierra y por agua para el intercambio de bienes, mencionando que aunque el transporte por tierra era más confiable, más rápido y sujeto a pérdidas menores, su costo era mayor que el transporte por mar y aunque el transporte por mar conlleve a la adquisición de almacenes para contrarrestar la lentitud del transporte, el comerciante siempre le dará ventaja a aquella opción que sirva como un ahorro.

? define el concepto de logística como el proceso de administrar estratégicamente el llevar un producto, ya sea material, partes o producto terminado, de un lugar a otro, así como su adquisición y almacenamiento a través de canales de co-

mercialización, de tal manera que las utilidades se incrementen cuando el producto sea entregado a los clientes. Esto quiere decir que un producto adquiere valor cuando se encuentra en las manos del cliente.

? también define la logística como un proceso de planeación, instrumentación y control eficiente y efectivo en el costo del flujo y almacenamiento tanto de materias primas como los inventarios de productos en proceso y terminados, así como del flujo de la información de un punto a otro, el fin de cumplir con los requerimientos del cliente. Esta definición me parece muy acertada ya que la logística es el proceso mediante el cual el flujo de información, de productos y económicos se llevan cabo desde un punto a otro. Estos procesos por lo general incluyen la transportación, almacenaje, inventarios.

La combinación de transporte, almacenamiento, inventarios, y manejo de materiales por toda una red también es conocida como logística integrada ya que sirve para vincular y sincronizar la cadena de suministros completamente. El transporte es un elemento importante en la logística que sirve para lograr algunos de los objetivos clave de la logística como el ahorro de costos y el servicio al cliente. En mi proyecto también se utilizará el transporte como medio para la reducción de costos así como la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de la demanda.

2.1.1 CADENA DE SUMINISTRO

? mencionan que la administración de la cadena de suministro consiste en la integración de empresas que trabajan en colaboración para lograr un posicionamiento estratégico en común y mejorar su eficiencia operativa.

También de acuerdo a ? la administración de la cadena de suministro abarca todas las actividades que conllevan al flujo y transformación de bienes hasta que llegan al usuario final, así como su flujo de información. La integración de todas las actividades mediante el mejoramiento de las relaciones entre sus integrantes lleva

a alcanzar una ventaja competitiva sustentable en el mercado. La cadena de suministro son todos aquellos integrantes que participan en colaboración para posicionar un producto en el mercado, no sólo transporte y almacenamiento sino también proveedores y los proveedores de los proveedores, así sucesivamente, desde la material prima hasta llegar al cliente final.

Un reto de la cadena de suministro todos sus integrantes se comuniquen y trabajen buscando un objetivo en común, creando relaciones a largo plazo y viendo la cadena como un todo y buscando la oportunidad de crear valor mediante la cadena de suministro. Como en el caso de este proyecto, el estar en contacto con los proveedores logísticos para llegar a cumplir los objetivos de la empresa es de suma importancia, además de que se suman a la responsabilidad social de contribuir a crear un menos impacto en el ambiente por medio del transporte.

2.2 SUSTENTABILIDAD

Antes de mencionar el papel del transporte en la sociedad, hay que recordar que hoy en día la sustentabilidad es un tema que está consternando a los ciudadanos del mundo y es conocida como aquél equilibrio entre el ser humano y el medio ambiente con el fin de satisfacer sus necesidades.

? presentó un informe titulado «Nuestro futuro común» donde se definió que el desarrollo sustentable satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer las suyas.

? mencionan que para que haya una mejora en términos de sustentabilidad, ésta tiene que ser medida, y el indicador clave que se utiliza para medir la sustentabilidad es el CO_2 .

La calidad del aire es determinada principalmente por las fuentes de emisión de contaminantes. De acuerdo con ? se clasifican en: primarias, que son aquellas que

se emiten por medio de la naturaleza; y secundarias, son aquellas emitidas por las actividades humanas, por ejemplo, la industria o el transporte. En las industrias, tienen un control operacional sobre sus emisiones y pueden implementar políticas de operación en sus procesos y principalmente sus fuentes de emisión tienen tres alcances: el primero, se refiere a emisiones directas de la empresa, donde puede controlar directamente las emisiones. El alcance 2, son emisiones indirectas relacionadas con la electricidad. Y el tercero, son emisiones indirectas relacionadas con el transporte de la empresa o el consumo del papel. En el caso de este proyecto, el alcance de la industria es del tipo 3, ya que se va a reducir la emisión de contaminantes por medio del transporte de la empresa.

2.2.1 SUSTENTABILIDAD EN LA LOGÍSTICA

La logística es responsable de una variedad de impactos negativos, incluida la contaminación atmosférica por gases de efecto invernadero, el ruido, los accidentes, las vibraciones, etc; ésta tiene un papel clave en la reducción de las emisiones gases de efecto invernadero, al contrarrestar la dependencia de nuestra economía de las fuentes de energía no renovable ?

Una de las maneras de observar la sustentabilidad en la logística es mediante la llamada «logística verde». ? mencionan que la logística verde se basa en la mejora del uso de los materiales logísticos, para impulsar un desarrollo de la economía concentrada en materias primera, almacenamiento, procesos y transporte que sean amigables con el medio ambiente. Anteriormente, habíamos incluido en la definición de la logística que uno de sus principales objetivos es la reducción de costos, sin embargo, en la logística verde no sólo es eso, sino que mediante el almacenamiento, el transporte, la distribución, la carga y la descarga se logre mitigar los impactos ambientales.

2.2.2 TRANSPORTE SUSTENTABLE

El transporte requiere de gran cantidad de combustibles fósiles para su distribución. La quema de estos combustibles fósiles causa emisiones de CO_2 que tienen un impacto muy negativo en nuestro medio ambiente y salud. Para asegurarse de que no se sigan agregando más emisiones de CO_2 los administradores de cadenas de suministro y gerentes de logística deben tomar buenas decisiones sobre el modo de transporte a utilizar para distribuir sus productos ?.

De acuerdo con ? el transporte sustentable es "aquél que provee transporte y movilidad con recursos renovables, minimizando emisiones al ambiente global y local, previniendo muertes, enfermedades y tráfico innecesario". Es por eso, que, entre los impactos que genera el uso del transporte no sólo se encuentra lo ambiental; sino que, afecta a los tres pilares de la sustentabilidad. En lo ambiental, se toma en cuenta el impacto en la contaminación del aire, el cambio climático, la contaminación por ruido. En lo social, impacta en el número de accidentes ocasionados por el transporte, así como problemas de salud de los humanos causada por la contaminación en el aire proveniente del transporte. Por último, en lo económico, se toma en cuenta el impacto en los costos de transportación a clientes o consumidores, costo por las localidades en el transporte.

? dicen que no puede haber sustentabilidad sin un transporte sustentable ya que el transporte contribuye substancialmente a los problemas ambientales, así que la calidad en el ambiente de una nación sólo puede ser sustentable si se percibe al transporte en una manera sustentable también.

? define al sistema de transporte sustentable como aquél que permite el acceso a las necesidades básicas de la sociedad de una manera consciente con el ecosistema, opera eficientemente, ofrece varios tipos de medios de transporte, limita emisiones y desperdicio, minimiza el consumo de recursos no renovables, rehúsa y recicla sus componentes y minimiza el uso de la tierra y la producción de ruido.

? mencionan que una manera de promover la sustentabilidad es mediante el transporte. De una manera, las empresas pueden adquirir vehículos nuevos para minimizar las emisiones de contaminantes que genera el transporte pero la desventaja es que muchas empresas prefieren no invertir en ello por representar un alto costo y con resultados a largo plazo. Otra manera que utilizan las empresas para reducir las emisiones de contaminantes es mediante la selección de transporte, es decir, elegir aquellos que emitan la menor cantidad de gases GHG, por ejemplo el ferrocarril o el barco. También mencionan que el transporte intermodal es aquél que utiliza más de un medio de transporte para llevar la carga hacia un destino y que puede ser una buena opción ya que se puede repartir la ruta entre un medio de transporte que no emita tanta cantidad de contaminantes con uno que sí, por ejemplo, vía terrestre o aérea.

2.3 REVISIÓN DE LA LITERATURA

En esta sección se hablará sobre la investigación de operaciones como solución a problemas organizacionales, el problema de transporte y de transbordo como base a la aplicación del caso presentado en este trabajo y por último, se mencionan estudios que han propuesto soluciones a la reducción de emisiones de CO_2 mediante la utilización de transporte intermodal.

2.3.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

A raíz de la revolución industrial nació una nueva división de trabajo, se formaron compañías que con el paso del tiempo han ido creciendo en tamaño, haciendo inevitable la separación de actividades dentro de éstas y creando áreas autónomas en de sus operaciones. Con esto ha aumentado el nivel de complejidad para seguir objetivo común, ya que no es fácil la asignación de recursos de manera eficaz para

una organización que funciona como un todo.

La investigación de operaciones se utiliza en las empresas para el análisis de problemas llevando a cabo un método científico, cuya formación comprende de la observación y formulación del problema, la recolección de datos, la construcción de un modelo científico y las conclusiones.

En ocasiones, el modelo científico se basa en un modelo matemático, pero ? recomienda que se trate de encontrar una solución al problema de modo empírico antes de optar por un modelo matemático, porque hay problemas cuya solución no requiere de la complejidad de un modelo. En mi caso, se tienen diferentes metas a cumplir en el objetivo del problema que no pueden ser resueltas de manera empírica ya que la opción que me resuelve una parte objetivo, no cumple con otra parte del mismo.

La construcción de un modelo matemático se basa en una abstracción de características que se ajusten al problema real ya que esto permitirá que las conclusiones que se obtengan sean válidas también para el problema real. Se empieza definiendo el objetivo del problema, qué es lo que se busca lograr, se plasman los supuestos que son aquéllas características clave con los que la solución del problema será efectiva, las variables, que son los datos que estoy buscando conocer por medio del modelo, con estos datos se forma el modelo. Se llevan a cabo experimentos para probar la hipótesis, y se puede modificar el modelo si es necesario, a esta etapa se le conoce como validación del modelo. Una vez que se obtengan los resultados se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para interpretar los datos arrojados por el modelo. Una característica esencial de la investigación de operaciones es que se desea encontrar la solución óptima, es decir, la mejor solución.

Los modelos se pueden clasificar según su grado de abstracción en modelos abstractos (no físicos) los cuales se basan en una serie de datos para definir la estructura ideal indicando las relaciones funcionales entre sus elementos y en modelos concretos (físicos) que son problemas ya existentes. En ocasiones cuando se tiene un problema

en una empresa, se busca un modelo ya existente y se ajustan las características del modelo al problema planteado.

Los modelos matemáticos pueden ser dinámicos, determinísticos y estocásticos. Los modelos determinísticos se resuelven con programación lineal o no lineal. Los modelos híbridos toman en cuenta dos o más métodos de solución como inventarios, simulación, PERT y CPM y heurísticos. Y por último, los modelos estocásticos se basan en la probabilidad para resolver el problema, tal como la teoría de colas, y la teoría de decisiones y juego. Dentro de la programación lineal se encuentran los problemas de transporte y asignación así como los de redes.

2.3.2 PROBLEMA DE TRANSPORTE

El problema de transporte (véase figura 1.3) surge en la planeación de la distribución de productos y servicios desde varios sitios de suministro hacia varios sitios de demanda. En este modelo la capacidad de productos a llevar de un punto a otro por lo general es limitada y la cantidad de productos necesarios en los puntos de demanda es un dato conocido. El objetivo de este problema es minimizar el costo de transporte ?.

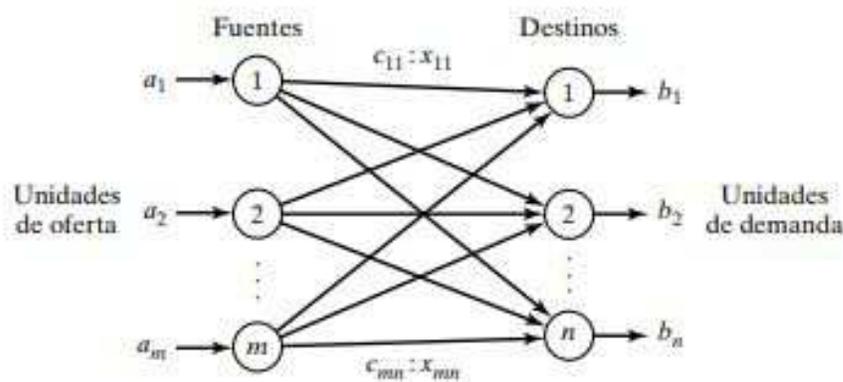


Figura 2.1: Problema de transporte

2.3.3 PROBLEMA DEL TRANSBORDO

En el problema de transbordo (véase figura 1.4) el flujo de la carga pasa por nodos intermedios o transitorios antes de llegar al destino final. Este modelo es más general que el problema de transporte ya que sólo se permiten envíos directos entre una fuente y un destino. ?.

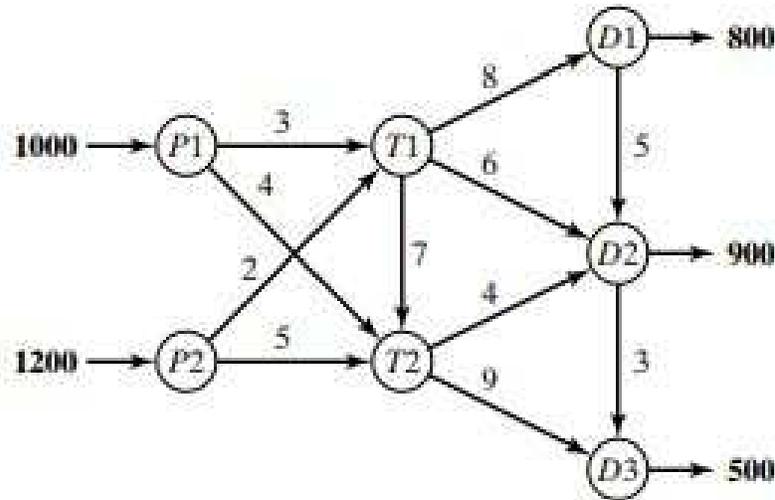


Figura 2.2: Problema de transbordo

2.3.4 REDUCCIÓN DE EMISIONES MEDIANTE TRANSPORTE INTERMODAL

El nivel de emisiones de contaminantes del transporte depende indirectamente de las decisiones logísticas tomadas por los propietarios del transporte (compañías que embarcan) por medio del flujo de material, por ejemplo, la ubicación de sus plantas de producción, sus almacenes, el diseño del empaque de sus productos; y depende directamente de las decisiones tomadas por el proveedor de transporte, éste por medio del flujo de transporte, la elección de los vehículos y el plan de ruta ?

Para reducir la intensidad de emisiones de CO_2 , las compañías deben re-

estructurar su cadena de suministro a distancias más cortas de transporte o reducir la energía utilizada por vehículo ?, esto puede ser mediante la implementación de soluciones de tráfico basados en tecnologías de la información como el GPS, el uso de transportes ecológicos que operen de una manera eficiente con energía o combustible alternativo o también la intensidad de energía emitida por transporte puede ser reducida por medio del transporte intermodal, es decir, utilizar aquellos modos de transporte que emitan menor cantidad de contaminantes combinando dos o más medios de transporte.

Se han realizado varios estudios para minimizar las emisiones del transporte. Uno de ellos es el de ?, donde menciona que anteriormente se buscaba reducir costos mediante una ruta óptima, pero que eso no era todo, también se podía reducir el impacto ambiental. Otra manera de reducir este impacto, era mediante la selección del modo de transporte. Entonces lo que este autor hace en su investigación es crear un modelo matemático donde reduzca costos de transportación y por emisiones de contaminantes, tomando en cuenta el uso de transporte intermodal.

? plantean que las actividades del transporte están impactando al medio ambiente, pero al contrario de los beneficios, los costos que genera por sus efectos en el medio ambiente no son reflejados en las cuentas de los usuarios de transporte y los usuarios no toman en cuenta el impacto ambiental en la toma de decisiones sobre transporte, es por eso que los costos por el impacto en el medio ambiente los define como costos externos. Algunos autores ? se enfocan en la internalización de estos costos externos en la toma de decisiones, que se ven reflejados en la selección de los tipos de vehículos, la programación de entregas, la consolidación de cargas y la selección del tipo de combustible, considerando que los costos internos y externos pueden ayudar a reducir el impacto sin perder competitividad entre las compañías de transporte. Los costos externos se enfocan en emisiones de gases del efecto invernadero. La idea principal del artículo es diseñar rutas que contemplen los costos de transporte, así como los costos por emisión, tomando en cuenta la distancia entre cada punto, la carga y el combustible consumido para cada ruta. Para ello, toma

como herramienta un modelo matemático basado en VRP ya que ayuda a minimizar las distancias y el total de vehículos asignados al mismo tiempo que satisface los requerimientos de transporte sustentable, reduciendo la cantidad de combustible utilizado y, en consecuencia, reduciendo la cantidad de CO_2 del transporte terrestre. El tipo de problema VRP (por sus siglas en inglés, *Vehicle Routing Problem*) que utiliza es capacitado, es decir, tiene un límite en el número de vehículos, y maneja ventanas de tiempo, donde si el vehículo no llega dentro de su ventana de tiempo incurre en una penalización. También incluye en su modelo que maneja una flota heterogénea de vehículos, es decir, que tiene vehículos de diferentes capacidades y su objetivo es obtener el ruteo óptimo minimizando el total de la distancia de viaje, los costos internos (de transporte) y externos (costos por emisiones). Esta información fue incorporada en un modelo de programación lineal entera mixta.

? se enfoca en la selección de una ruta para una red de transporte de carga intermodal internacional considerando los siguientes objetivos: la minimización del tiempo de viaje y el costo del viaje. El estudio ayuda a formular un modelo de programación lineal entera mixta y desarrollar un algoritmo heurístico que apoye en la toma de decisiones. El modelo incluye como restricciones la conservación del flujo, que se elija al menos un proveedor de servicio en cada línea, la compatibilidad entre el flujo y las variables y toma en cuenta el tiempo, que es lo que estoy buscando en mi proyecto. A diferencia de mi proyecto y de los artículos anteriores, este artículo no toma en cuenta la sustentabilidad, pero tiene similitud en mi proyecto en que toma en cuenta los tiempos de cada nodo para lograr un cumplimiento en la demanda en tiempo.

? en su trabajo da una solución bi-objetivo para reducir costos logísticos y costos por emisiones tomando en cuenta tres medios de transporte (carretero, férreo y marítimo) y también resalta el interés de reducir distancias utilizando transporte intermodal ya que argumenta que la planeación de transporte ahora está alineada con objetivos ambientales debido a las consecuencias del cambio climático que se están viviendo hoy en día y que el transporte intermodal es una de las soluciones

para reducir el impacto ambiental, tomando las decisiones correctas sobre los medios de transporte a utilizar en determinada red de transporte.

? crea un modelo matemático bi-objetivo para reducir emisiones y disturbios mediante el transporte. Toma como base el modelo del agente viajero considerando que para minimizar emisiones es necesario reducir las distancias de viaje, así como la carga y la velocidad de los vehículos. En cuanto a la función objetivo de los disturbios, desean medir y reducir el ruido, contaminación, riesgo, vibraciones de los habitantes urbanos afectados por el transporte.

? Investigan la solución a un problema de ruteo considerando ventanas de tiempo y las capacidades del transporte. En sus conclusiones mencionan los beneficios económicos y ambientales que obtienen dependiendo de las características de la red y los horarios de los choferes.

? propone un algoritmo de planeación que resuelve problemas de recolección y entrega utilizando transporte intermodal con el objetivo de reducir costos de transporte y emisiones de CO_2 para una empresa logística 3PL que recolecta carga LTL a distintos clientes, los coloca en contenedores y entrega en diferentes puntos.

? menciona que un plan de transporte intermodal puede ser optimizado de acuerdo a diferentes objetivos incluyendo costos, tiempo y emisiones de CO_2 y su trabajo muestra una solución híbrida donde mediante un modelo de optimización les arrojará una solución tomando en cuenta un tiempo considerable de ruta que junto con un problema de simulación resolverán aquéllos casos en que la ruta tiene variaciones en sus tiempos.

? propone un modelo que minimice los costos de transporte y el número de contaminantes mediante la selección de la ruta óptima y del transporte intermodal que genere la menor cantidad de contaminantes. En este caso no se utilizan ventanas de tiempo y se toma en cuenta la demanda de cada cliente, la capacidad del vehículo, los niveles de CO_2 que se pueden expedir, pero a diferencia del proyecto que realizaré, se toma en cuenta ciclos cerrados y no se consideran los tiempos del transporte.

Para mi caso, tomaré como modelo base éste modelo, debido a las características y objetivos parecidos a mi problema pero haciendo ajustes a mi modelo como ventanas de tiempo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Una empresa internacional busca optimizar los recursos originados por el transporte en aquellas rutas donde sus proveedores se encuentran en Asia y el producto tiene que llegar en tiempo a la planta de producción para evitar paros de línea y no interfiera con el cumplimiento de la entrega de órdenes a clientes. De esta manera la selección del modo de transporte, así como de los puntos intermedios a visitar, los costos de transportes, las emisiones de los vehículos y el tiempo del transporte crean una combinación de datos que sería muy complejo resolver por medio de una solución cualitativa y en realidad en la revisión de literatura no se encontraron casos de estudio similares que se hayan resuelto con métodos cualitativos.

A continuación se ha propuesto el siguiente modelo base para la solución del problema:

Supuestos:

- Se conoce la demanda del cliente
- Se conoce la distancia entre clientes
- Costo por kilómetro recorrido
- Costo por transbordo, el cual es el mismo para cualquier transbordo

- Total de emisiones permitidas
- Emisiones por tipo de vehículo
- El tiempo de transbordo así como el tiempo total de viaje son datos conocidos

Conjuntos

I : Clientes ($i, j \in I$)

K : Vehículos ($k, j \in K$)

Parametros

c_{ijk} Costo de trasladar i hasta j en un vehículo k

d_{ijk} Distancia entre i y j en un vehículo k

b_{ki} Costo de transbordo en un punto i para un vehículo k

h_k Emisiones de un vehículo k

e_i Demanda por cliente i

u_k Costo de emisiones por cada tipo de vehículo k

q_k Capacidad del vehículo k

a Total de emisiones

g_{ijk} Matriz de incidencia de transferencia

f_{ijk} Matriz de incidencia de ruta por vehículo k

tt_{ijk} Tiempo de viaje desde un punto i hasta j utilizando un vehículo k

st_{ijk} Tiempo de servicio en un punto i utilizando un vehículo k

T Tiempo máximo de ruta permitida

$\lambda_1 \lambda_2$ Ponderaciones

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Si un vehículo } k \text{ toma la ruta desde } i \text{ hasta } j \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

x_{ijk} Cantidad enviada desde i hasta j en un vehículo k

Modelo:

$$\min \quad \lambda_1 \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} c_{ijk} x_{ijk} + b_{ijk} y_{ijk} \sum_{(i \in I)} \sum_{k \in K} \right] + \quad (3.1)$$

$$\lambda_2 \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} d_{ijk} y_{ijk} u_k h_k \right] \quad (3.2)$$

$$s.a : \quad x_{kij} \leq M1y_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in I, k \in K \quad (3.3)$$

$$y_{kij} \leq g_{ijk} x_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in I, k \in K \quad (3.4)$$

$$y_{kij} \leq f_{ijk} x_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in I, k \in K \quad (3.5)$$

$$\sum_{i,k} x_{ijk} - \sum_{i,k} x_{jik} = e_i \quad \forall j \in I \quad (3.6)$$

$$\sum_{i,j} x_{ijk} \leq q_k \quad \forall k \in K \quad (3.7)$$

$$\sum_{k \ln K} h_k d_{i,j,k} y_{i,j,k} \leq a \quad \forall i \in I, j \in I \quad (3.8)$$

$$\sum_{i,j,k} st_{ijk} + tt_{ijk} y_{ijk} \leq T \quad \forall k \in K \quad (3.9)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in I, k \in K \quad (3.10)$$

$$x_{ijk} \in Z_0^+ \quad \forall i \in I, k \in K, \quad (3.11)$$

donde ?? es la función objetivo que busca minimizar los costos de transporte y de transbordo así como el total de las emisiones totales consumidas, las restricciones ?? y ?? permiten que exista una relación entre la variable x_{kij} y las variables y_{kij} y w_{ki} . La restricción (3.4) asegura que se cumpla la demanda del cliente, la (3.5) se refiere a la capacidad del vehículo, la (3.6) hace referencia a que se pueda utilizar una ruta desde un punto i hasta un punto j con el vehículo k sólo si existe, así como la (3.7) asegura que si existe la posibilidad de hacer un transbordo en el punto i entonces podría tomar el valor de 1. La restricción (3.8) se encarga de eliminar subciclos que pudieran formarse en la red, la (3.9) limita las emisiones de CO_2 que pueden expedir

los vehículos, (3.10) asegura que la mercancía llegue a tiempo y (3.11), (3.12) y (3.13) son las restricciones lógicas.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se realizará una prueba experimental del modelo para comprobar su correcto funcionamiento y además se mostrará la aplicación del modelo en un caso real.

La empresa parte del supuesto que tiene 4 proveedores en China ubicados en ciudades diferentes y que cada proveedor envía un tipo de producto diferente. Cada proveedor envía su producto en contenedores de 40 con números de parte y cantidades ya establecidos por la empresa para el proveedor, así que el detalle del producto que lleva cada contenedor quedaría fuera del alcance de este proyecto y la demanda se tomará como contenedores con producto a pedir a proveedor. Los contenedores con el producto se deben enviar a un puerto de China, para éste caso se tomaron 11 puertos en China que pueden ser transportados vía terrestre ya sea por tráiler o tren. Después se debe elegir a qué puerto en América arribar, las opciones son Long beach, CA, EUA, Manzanillo, Col, México o Lázaro Cárdenas, México., se consideraron éstas tres opciones porque son los puertos con los que ya tiene operaciones la empresa, entonces podría ser de fácil adaptación al momento de tomar una decisión de un cambio al ya estar establecida la operación, así como contratos con proveedores de logística y agentes aduanales en esas zonas. Si un contenedor llega al puerto de Long beach, CA, USA, éste tiene que ser transportado al Centro de distribución de la empresa establecido en Laredo, TX, USA. y puede ser transportado vía férrea o por

medio de tráiler, para después ser movido por éstos mismos medios de transporte a Monterrey, N.L. México. Si un contenedor llega a un puerto mexicano, también debe ser transportado a Monterrey por tráiler o tren.

En resumen, se consideraron 4 proveedores en China, 11 puertos en China, 1 puerto en Estados Unidos, 1 centro de distribución en Estados Unidos, 2 puertos en México y 1 planta que para este ejercicio es el punto final del producto en México.

Se toman en cuenta un total de 14 vehículos (12 tráilers, 1 tren y 1 barco), cada uno con una capacidad expresada a continuación . Los envíos por expeditación vía aérea quedan fuera del alcance de este proyecto.

Tipo de Transporte	Capacidad (Contenedores)
Trailer	1
Tren	20
Barco	40

Tabla 4.1: Capacidad por tipo de transporte

A continuación se presentan las distancias entre cada uno de los puntos consideradas para este caso:

Distancia entre ciudades por tipo de transporte			
Ciudad origen- destino	Trailer(km)	Tren(km)	Barco(km)
Chongqing-Qingdao	1854,95	1854,95	2093,83
Chongqing-Shanghai	1676,81	1676,81	1578,02
Chongqing-Ningbo	1761,69	1761,69	1437,24
Chongqing-Xiamen	1761,69	1685,93	2008,59
Chongqing-Yantai	2039,82	2039,82	4002,19
Chongqing-Guangzhou	1319,47	1319,47	N/A

Sigue en la página siguiente.

Distancia entre ciudades por tipo de transporte

Chongqing-Shenzhen	1450,5	1450,5	1459,66
Dongguan-Qingdao	1953,14	1953,14	2093,83
Dongguan-Shanghai	1456,58	1456,58	1578,02
Dongguan-Ningbo	1366,82	1366,82	1437,24
Dongguan-Xiamen	608,75	608,75	615,76
Dongguan-Yantai	2138	2138	2422,96
Dongguan-Guangzhou	66,84	113,74	N/A
Dongguan-Shenzhen	73,24	100,65	134,83
Zhejiang-Qingdao	558,55	558,55	858,24
Zhejiang-Shanghai	314,82	461	1404,39
Zhejiang-Ningbo	381,74	542,83	N/A
Zhejiang-Xiamen	817,49	817,49	3385,16
Zhejiang-Yantai	1169,52	1246,6	1077,58
Yuyao-Guangzhou	1373,28	1471,12	1437,24
Yuyao-Shenzhen	1379,2	1323,02	1515,87
Yuyao-Qingdao	904,8	1433,8	747,27
Yuyao-Shanghai	215,58	326,2	1470,89
Yuyao-Ningbo	0	0	N/A
Yuyao-Xiamen	824,86	842,84	N/A
Yuyao-Yantai	1089,67	1089,67	N/A
Yuyao-Guangzhou	1226	1471,12	1515,1
Yuyao-Shenzhen	1379,2	1323,02	1404,39
Qingdao-Longbeach	N/A	N/A	11680,13
Qingdao-Manzanillo	N/A	N/A	12820,35
Qingdao-Lazaro Cardenas	N/A	N/A	13106,08
Shanghai-Long beach	N/A	N/A	11680,13
Shanghai-Manzanillo	N/A	N/A	12700
Shanghai-Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	12985,73

Sigue en la página siguiente.

Distancia entre ciudades por tipo de transporte			
Ningbo-Long beach	N/A	N/A	10672,96
Ningbo-Manzanillo	N/A	N/A	12731,22
Ningbo- Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	13016,95
Xiamen-Long beach	N/A	N/A	11299,93
Xiamen-Manzanillo	N/A	N/A	13456,8
Xiamen-Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	13719,46
Yantai-Long beach	N/A	N/A	11761,84
Yantai-Manzanillo	N/A	N/A	13916,89
Yantai-Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	14177,52
Guangzhou-Long beach	N/A	N/A	11820,17
Guangzhou-Manzanillo	N/A	N/A	13975,22
Guangzhou-Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	14235,84
Shenzhen-Long beach	N/A	N/A	11830,53
Shenzhen-Manzanillo	N/A	N/A	13985,58
Shenzhen-Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	14246,21
Long beach-Laredo	2275,51	2465,87	8836,3
Laredo-Monterrey	226,09	226,09	N/A
Manzanillo-Monterrey	1087,9	1087,9	N/A
Lázaro Cárdenas-Monterrey	1136,18	1136,18	6607

Tabla 4.2: Distancia entre ciudades por tipo de transporte

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de CO_2 se basan en un factor de emisión ya establecido por la empresa, en el cual se basa en la normas europeas y se presenta en la siguiente tabla:

El tiempo estimado de traslado, así como el de transbordo, se definió de acuerdo a las operaciones de la empresa con su respectivo proveedor de logística dependiendo de la ciudad de origen, ciudad destino y el medio de transporte a utilizar.

Tipo de Transporte	Factor de emisión (T.CO2-eq/pkm)	Norma	Costo por emisión (USD)
Trailer	0.0000675	IVL 2016	0.02
Tren	0.0000295	IVL 2016	0.02
Barco	0.0000253	Ecoinvent 2014	0.02

Tabla 4.3: Factor de emisión y costo por emisión por tipo de transporte

Tiempo de tránsito por tipo de transporte			
	(Días)		
Ciudad origen-destino	Tráiler	Tren	Barco
Chongqing-Qingdao	2	4	12
Chongqing-Shanghai	2	4	11
Chongqing-Ningbo	2	4	11
Chongqing-Xiamen	2	4	10
Chongqing-Yantai	2	5	15
Chongqing-Guangzhou	2	3	N/A
Chongqing-Shenzhen	2	3	9
Dongguan-Qingdao	2	5	10
Dongguan-Shanghai	2	3	10
Dongguan-Ningbo	2	3	9
Dongguan-Xiamen	0.7	1	8
Dongguan-Yantai	3	5	13
Dongguan-Guangzhou	0.08	0.25	N/A
Dongguan-Shenzhen	0.08	0.25	7
Zhejiang-Qingdao	0.66	1	11
Zhejiang-Shanghai	0.29	0.58	6

Sigue en la página siguiente.

Tiempo de tránsito por tipo de transporte			
Zhejiang-Ningbo	0.45	1	N/A
Zhejiang-Xiamen	1	3	7
Zhejiang-Yantai	0.875	3	4
Yuyao-Guangzhou	2	5	5
Yuyao-Shenzhen	2	3	5
Yuyao-Qingdao	1	3	4
Yuyao-Shanghai	0.25	0.79	4
Yuyao-Ningbo	0.08	0.02	N/A
Yuyao-Xiamen	1	2	N/A
Yuyao-Yantai	1	3	N/A
Yuyao-Guangzhou	2	4	5
Yuyao-Shenzhen	2	3	4
Qingdao-Longbeach	N/A	N/A	14
Qingdao-Manzanillo	N/A	N/A	24
Qingdao-Lazaro Cardenas	N/A	N/A	25
Shanghai-Long beach	N/A	N/A	14
Shanghai-Manzanillo	N/A	N/A	26
Shanghai-Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	27
Ningbo-Long beach	N/A	N/A	23
Ningbo-Manzanillo	N/A	N/A	27
Ningbo- Lázaro Cárdenas	N/A	N/A	27
Xiamen-Long beach	N/A	N/A	24

Con los datos anteriormente mencionados se ejecutó el modelo dando como resultado los datos expresados en la siguiente tabla donde se muestra una comparación de los costos arrojados por las variaciones de lambda 1 y lambda 2, así como

las variaciones en la ruta, el tipo de transporte a utilizar, las emisiones y el tiempo de la ruta.

En esta tabla se puede observar que a partir de $\lambda_1 = 0.45$ y $\lambda_2 = 0.55$ las emisiones utilizadas y el tiempo total ya no sufre ningún cambio debido a que la ruta sería la misma para el resto de las variaciones de λ hasta llegar a $\lambda_1 = 1$ y $\lambda_2 = 0$, sólo la diferencia se puede notar en que a medida que se empieza a considerar los costos logísticos por encima de los costos por emisiones, los primeros van disminuyendo.

A continuación se van a presentar cuatro escenarios del caso real dependiendo del grado de importancia otorgado a los costos logísticos y de emisiones.

4.1 ESCENARIO 1: SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente, la empresa utiliza el tráiler como medio de transporte para mover la mercancía de sus proveedores en China a los puertos en Asia. Dos de los cuatro proveedores envían producto al puerto de Shanghai y dos de ellos al puerto de Xiamen. El producto que se mueve al puerto de Shanghai, llega al puerto de Long beach, California en América, se hace el transbordo a tráiler hacia un almacén situado en Laredo, Texas, donde se prepara su documentación para importación a México, donde finalmente se transborda y se envía el contenedor vía tráiler de Laredo hacia la Planta de Mty. (Véase figura 1.5) Utilizando esta ruta y éstos medios de transporte la empresa tiene un costo total de \$84, 120 usd como costos logísticos y \$615.011 como costos de emisión de CO_2

Lambda 1	Lambda 2	Costos	Emisiones	Tiempo
0	1	24207,086	254,811	39,5
0,05	0,95	24488,431	254,811	39,5
0,1	0,9	24951,037	257,069	39
0,15	0,85	24578,639	260,156	40
0,2	0,8	24507,304	264,822	40
0,25	0,75	23980,976	288,442	40
0,3	0,7	23296,778	288,442	40
0,35	0,65	22612,579	288,442	40
0,4	0,6	21928,381	288,442	40
0,45	0,55	21236,033	290,08	40
0,5	0,5	20534,394	290,08	40
0,55	0,45	19832,754	290,08	40
0,6	0,4	19131,115	290,08	40
0,65	0,35	18429,475	290,08	40
0,7	0,3	17727,836	290,08	40
0,75	0,25	17026,197	290,08	40
0,8	0,2	16324,557	290,08	40
0,85	0,15	15622,918	290,08	40
0,9	0,1	14921,279	290,08	40
0,95	0,5	14219,639	290,08	40
1	0	13518	290,08	40

Tabla 4.5: Prueba con variación de lambda

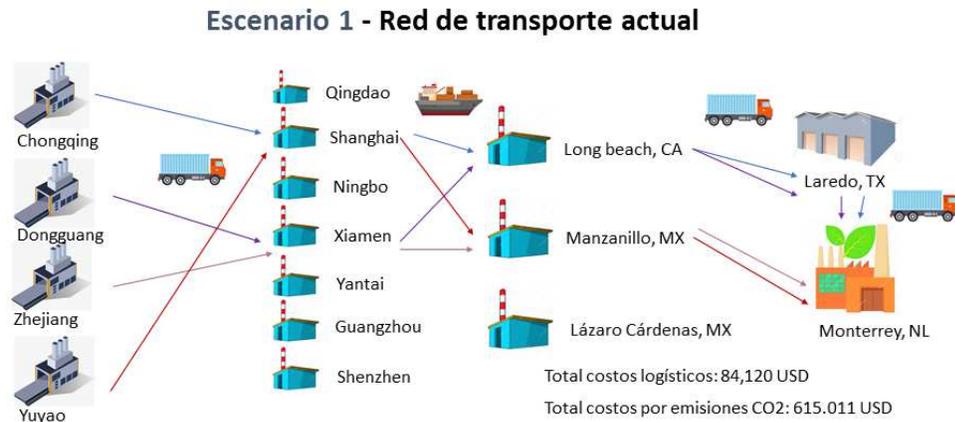


Figura 4.1: Escenario 1: Situación actual

4.2 ESCENARIO 2: MINIMIZACIÓN DE COSTOS LOGÍSTICOS

Cómo segundo escenario se efectuó el modelo dándole una ponderación mayor a los costos logísticos que a los costos por emisiones de CO_2 , esto quiere decir, que el modelo consideró una ruta para minimizar los costos logísticos sin importar los costos de emisiones de CO_2 , dando como resultado que la mercancía que dos de los proveedores muevan el producto al puerto de Guangzhou vía tráiler y los otros dos proveedores envíen los contenedores al puerto de Shanghai y Ningbo, respectivamente, vía férrea. De acuerdo a ésta ruta proporcionada por el modelo, todos los contenedores deben llegar a Manzanillo, México como puerto destino en América y que el producto se envíe directamente a Monterrey por tren. Esto da como resultado un total de 37, 379 USD como costos logísticos y 132.11 USD como costos por emisiones de CO_2 . (Véase figura 1.6)

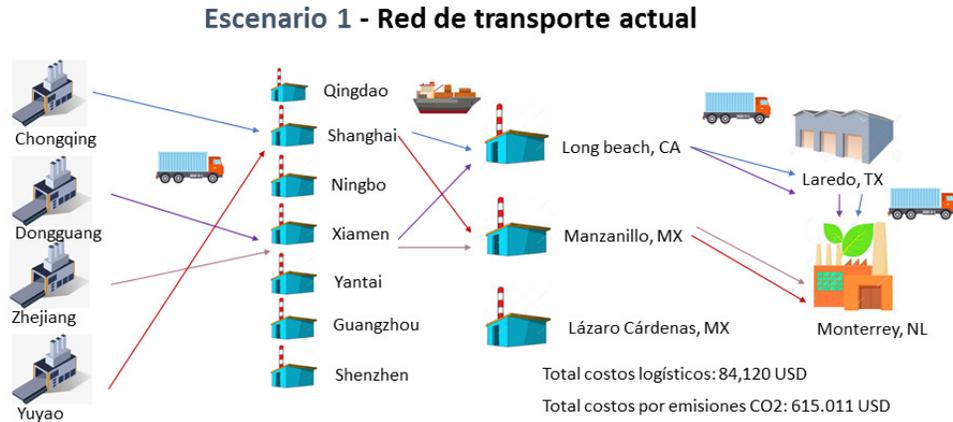


Figura 4.2: Escenario 2: Minimización de costos logísticos

4.3 ESCENARIO 3: MINIMIZACIÓN DE COSTOS POR EMISIÓN DE CO_2

En el tercer escenario, se le otorga una ponderación mayor al costo por emisiones de CO_2 que a los costos logísticos y de transbordo, es decir, el modelo indica la ruta en el que se emite menor cantidad de CO_2 . La ruta proporcionada recomienda que todos los proveedores envíen su producto al puerto de Ningbo por tren, donde se va a mover vía marítima al puerto de Long beach, California, en ese puerto se realiza el transbordo para moverse vía férrea hacia el almacén de Laredo y de Laredo a Monterrey también solicita se envíen los contenedores por tren. Esto da un costo logístico de 89, 511 USD y un costo por emisión de 72.57 USD. (Véase figura 1.7)

4.4 ESCENARIO 4: MINIMIZACIÓN DE COSTOS LOGÍSTICOS Y POR EMISIÓN DE CO_2

Como último escenario se ponderaron de igual manera los costos logísticos y de emisiones de CO_2 . Este escenario dio como resultado la misma ruta y costos del

Escenario 3 - Minimización en costos por emisiones de CO2

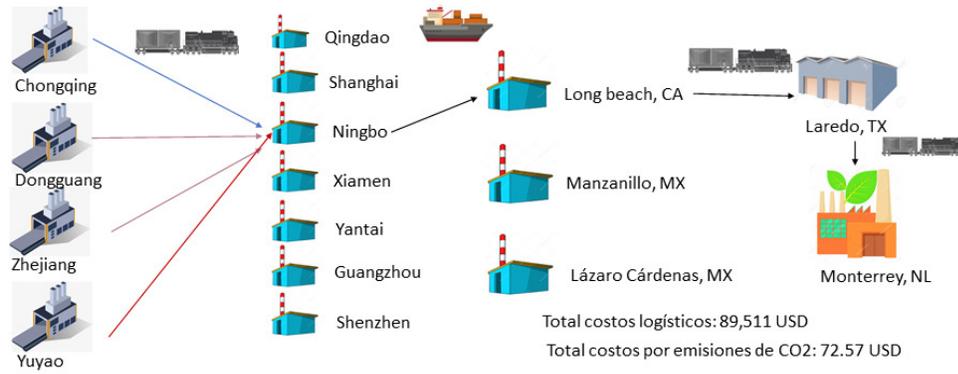


Figura 4.3: Escenario 3: Minimización de costos de emisiones de CO_2

escenario 2. (Véase figura 1.8)

Escenario 4 - Minimización en costos logísticos y costos por emisiones de CO2

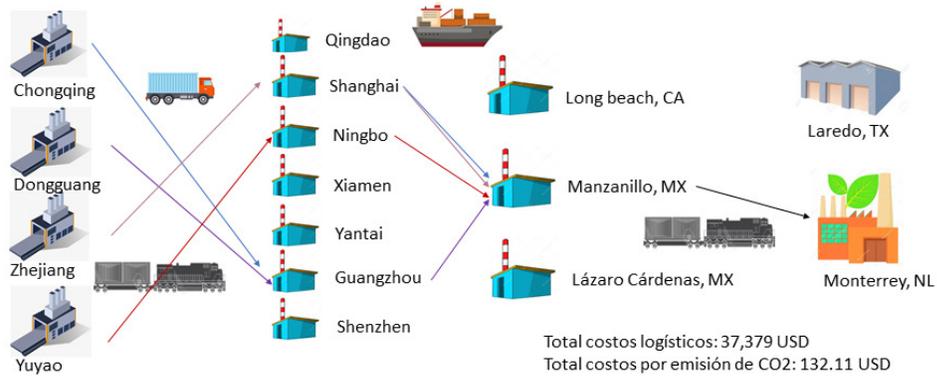


Figura 4.4: Escenario 3: Minimización de costos logísticos y de emisiones de CO_2

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Dada la comparación de los cuatro escenarios (Véase figura 1.9), la mejor opción a utilizar para la compañía es el escenario 2 (o 4 en su caso, debido a la similitud) donde los costos logísticos obtenidos representan un ahorro del 125 en comparación al escenario actual, así mismo la ruta proporcionada emite menor cantidad de CO_2 cumpliendo con la meta establecida por la compañía, y aunque el tiempo total de la ruta recomendada es mayor, se cumple con el tiempo límite establecido por la empresa.

Escenario 4 - Minimización en costos logísticos y costos por emisiones de CO₂

		Costos logísticos (USD)	Costo por emisión (USD)	Emisiones (TON)	Tiempo total (Días)
Escenario 1	Situación Actual	84120	615.012	1300	35
Escenario 2	Prioridad en costos logísticos	37379	132.11	865.325	52
Escenario 3	Prioridad en costo por emisión	89511	72.57	749.971	67
Escenario 4	Prioridad en costo logístico y por emisión	37379	132.11	865.325	52

Figura 5.1: Comparación: Resultados

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

La sustentabilidad como parte de los procesos de las empresas es cada vez más necesario y con este proyecto se logró impactar positivamente en los tres pilares de la sustentabilidad, mediante la minimización de emisiones CO_2 en la red de transporte, reducción de costos y creando valor con la llegada del producto en tiempo y forma.

El transporte intermodal es considerado como parte fundamental en la reducción de emisiones CO_2 ya que permite la combinación de dos o más medios de transporte con la intención de elegir aquéllos medios de transporte que generan menos emisiones al ambiente, permitiendo así una mayor eficiencia en la red de transporte.

Con esta investigación se demostró que con un modelo matemático se pueden obtener ahorros en costos y en emisiones de CO_2 tal como se vio en los resultados del caso de estudio.

Promover el uso del transporte ferroviario en México puede traer beneficios económicos en las empresas mexicanas, así como beneficios ambientales al ser un medio de transporte que emite menor cantidad de CO_2 a comparación del tráiler.

Además, se profundizó sobre la importancia de la adopción de la sustentabilidad en las empresas como parte de sus políticas y procesos para concientizar a la sociedad en general, así el papel que juega el transporte y en especial, el trans-

porte intermodal para lograr sustentabilidad empresarial mediante la reducción de emisiones de CO_2 .

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, M. (2011), *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport*, segunda edición, Elsevier, London, UK.
- BALLOU, R. (2004), *Logística: administración de la cadena de suministro*, quinta edición, Pearson, México, DF.
- BEKTAS, J., Y. QU y J. BENNELL (2014), «Sustainability SI: Multimode Multi-commodity Network Design Model for Intermodal Freight Transportation with Transfer and Emission Costs.», *Networks and Spatial Economics*, **16**(1), págs. 303–329.
- BENFIELD, F. y M. REPLOGLE (2012), «The roads more traveled: Sustainable transportation in America», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.eli.org>.
- BICKEL, P., R. FRIEDRICH, H. LINK, L. STEWART y C. NASH (2006), «Introducing environmental externalities into transport pricing: measurement and implications.», *Transp Rev*, **26**(4), págs. 389–415.
- BLACK, W. (2010), *Sustainable Transportation: Problems and solutions*, primera edición, Guilford, New York, USA.
- BOWERSOX, D., D. CLOSS y M. COOPER (2007), *Administración y logística en la cadena de suministros*, segunda edición, McGraw-Hill, México, DF.

- BRETZKE, W. y K. BARKAWI (2013), «Strategies and Concepts to Promote Sustainability. In: Sustainable Logistics. Lecture Notes in Logistics», *Springer, Berlin, Heidelberg*, págs. 85–434.
- BROCKE, J. (2012), «Green Business Management», *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, **1**(2), págs. 43–48.
- CARRILO, K. (2017), «Estrategias sustentables en Logística y Cadenas de suministro», *Loginn*, **1**.
- CHACIN, N., A. QUINTERO y Y. JOSEFINA (2015), «Logística verde y economía circular», *Daena: International Journal of Good Conscience.*, **1**(3), págs. 80–91.
- CHEN, S. R., Y. y J. WOO (2013), «Green Supply Chain», *D.A Dornfeld*.
- CHEN, W. y M. SCHUTTEN (2018), «Multi-hop driver-parcel matching problem with time windows», *Flexible Services and Manufacturing Journal*, **30**(517).
- CHRISTOPHER, M. (1999), *Logística: Aspectos estratégicos*, primera edición, Limusa, México, DF.
- CLM (2011), «Normas del Consejo de la Dirección Logística», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.clm1.org>.
- DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO (CMMAD), C. M. (1987), «Un futuro en común», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>.
- DUPOIT, J. (1844), «De la mesure d l' utilité des travaux publics», *Annales des ponts et chaussées*, pág. 8.
- ECODES (2017), «Ciudad y transporte», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes>.
- EGUIA, I., J. RACERO, J. MOLINA y F. GUERRERO (2013), «Environmental Issues in Vehicle Routing Problems.», *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, págs. 215–241.

- EPA (2014), «Global greenhouse gas emissions data», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
- GRABENSCHWEIGER, J. y F. TRICOIRE (2018), «Finding the trade-off between emissions and disturbance in an urban context», *Flexible Services and Manufacturing Journal*, **30**(554).
- HEESWIJK, M. y W. SCHUTTEN (2018), «Freight consolidation in intermodal networks with reloads», *Flexible Services and Manufacturing Journal*, **30**(452).
- HRUŠOVSKÝEMRAH, M. y W. JAMMERNEGG (2018), «Hybrid simulation and optimization approach for green intermodal transportation problem with travel time uncertainty», *Flexible Services and Manufacturing Journal*, **30**(486).
- KUMAR, P., W. K. MOHAPATRA, P. AND YEW y L. BENYOUCEF (2014), «Route Selection and Consolidation in International Intermodal Freight Transportation.», *Springer-Verlag London*, págs. 181–194.
- MARTINE, M. y S. LIMBOURG (2018), «Intermodal network design: a three-mode bi-objective model applied to the case of Belgium», *Flexible Services and Manufacturing Journal*, **30**(397).
- MENDOZA, E. (2016), «Reducción de contaminantes mediante un modelo matemático de transporte intermodal», *Universidad Autónoma de Nuevo León*.
- OF THE EUROPEAN UNION, C. (2004), «Cambio climático y salud», (versión 0.3), recurso libre, disponible en http://www.europa.eu/european-union/topics/transport_en.
- OMS (2018), «Cambio climático y salud», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-climático-y-salud>.
- PALSSON, H. (2015), «A Supply Chain Perspective on Green Packaging Development -Theory Versus Practice», *International Journal of Packaging Technology and Science*, **29**, pág. 45.

-
- PIECYK, M. y A. MCKINNON (2010), «Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020», *International Journal of Production Economics*, **128**(12).
- TAHA, H. (2012), *Investigacion de operaciones*, 9ª edición, Pearson, México, DF.
- TORRES, M. ., A. ESCALANTE, E. OLIVARES y J. PÉREZ (2014), «Talento verde y cadenas de suministro verdes: ¿existe una relacion significativa?», *Nova scientia*, **8**(16).

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Sarahi Berenice Carranza Garrido

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

REDUCCIÓN DE CO_2 EN LA RED DE TRANSPORTE DE UNA
EMPRESA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Nació el 18 de Diciembre de 1992, en Monterrey Nuevo, León. Hija de José Abel Carranza Charles y Leonor Garrido Lorenzo. Titulada como Licenciada en Relaciones Internacionales por la Universidad Autónoma de Nuevo León.

En su carrera profesional ha desempeñado cargos como Supervisor de Importación y Exportación, Planeador de materiales y actualmente desempeña el puesto de Especialista de demanda en la compañía Whirlpool Mexico S. de R.L. de C.V.