



FACULTAD 2

Herramienta para la optimización de la transportación multimodal

Trabajo de diploma para optar por el título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autor: Melisa Sao Rodríguez

Tutores: PT, Dr. C. Héctor Raúl González Díez

PA, Ing. Vladimir Milián Núñez

La Habana, octubre del 2023

Año 64 de la Revolución

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La autora Melisa Sao Rodríguez del trabajo de diploma con título ***“Herramienta para la optimización de la transportación multimodal”*** concede a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la investigación, con carácter exclusivo. De forma similar se declara como único autor de su contenido. Para que así conste firman la presente a los primeros días del mes de diciembre del año 2023.

Melisa Sao Rodríguez

Autor

Dr.C Héctor Raúl González Díez

Tutor

Ing. Vladimir Milián Núñez

Tutor

DATOS DE CONTACTO

Profesor Titular Dr.C. Matemáticas Héctor Raúl González Díez (hglez@uci.cu), 7 837-2577.

Líneas de Investigación:

- Optimización matemática en el contexto del aprendizaje supervisado.
- Predicción con salidas múltiples con tratamiento de dependencia.
- Aprendizaje de funciones de distancia para problemas de predicción con salidas múltiples.

Profesor Auxiliar Ing. Vladimir Milián Núñez (vmilian@uci.cu), 7835-8134.

Líneas de investigación:

- Procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático.
- Ingeniería de características para problemas de alta dimensionalidad.
- Big data.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo de diploma no hubiese sido posible sin el apoyo y la enseñanza de varias personas a lo largo del camino, por lo que quiero agradecer especialmente:

A mi madre y mi hermana

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia que son el cimiento de mi vida y la inspiración detrás de cada logro, que han sido mi mayor apoyo durante todos mis años de estudio, más que apoyo el mayor regalo que me ha dado esta vida, en especial a mi madre, que es mi mayor admiración y fortaleza, a mi hermana que siempre me ha dado todo su apoyo, a mi padre, a mi tía, mis primas y abuelos. A mis amigos, verdaderos cómplices de risas y apoyo incondicional. Esta declaración es un tributo a cada uno de ustedes, porque juntos han tejido la red de apoyo que ha hecho posible cada paso en este viaje llamado vida.

RESUMEN

En este trabajo de diploma se desarrollará una herramienta para la optimización del transporte multimodal de la cadena de suministro en Cuba. En la actualidad la optimización de rutas de transporte involucra una amplia red logística que, a través de la planificación y de la programación busca planear la ruta más eficiente en cuanto a costo, incluyendo factores relevantes, como el porcentaje de la mercancía y los márgenes de tiempo. El objetivo del presente trabajo consiste en desarrollar una herramienta para la optimización de la transportación multimodal con técnicas de optimización. Para ello se realiza una fundamentación teórica previa de los principales conceptos y algoritmos relacionados con el campo de acción, herramientas y tecnologías que se usan para su estudio y aplicación. Se selecciona como metodología KDD (Knowledge Discovery in Databases) para guiar el ciclo de vida del proyecto. Se obtienen cuáles son los enfoques computacionales en la optimización del transporte sobre las variantes propuestas. Además se realizaron validaciones en aras de verificar la calidad de la herramienta. Como resultado final se obtuvo rutas totalmente optimizadas en cuanto a costo y tiempo.

PALABRAS CLAVE

Multimodal, herramienta, optimización, enfoques computacionales.

ABSTRACT

In this diploma work, a tool will be developed for the optimization of multimodal transportation of the supply chain in Cuba. Currently, the optimization of transportation routes involves a broad logistics network that, through planning and programming, seeks to plan the most efficient route in terms of cost, including relevant factors, such as the percentage of merchandise and margins. time. The objective of this work is to develop a tool for the optimization of multimodal transportation with optimization techniques. For this purpose, a prior theoretical foundation is carried out on the main concepts and algorithms related to the field of action, tools and technologies used for their study and application. KDD (Knowledge Discovery in Databases) is selected as the methodology to guide the project life cycle. The computational approaches in transport optimization on the proposed variants are obtained. In addition, validations will be

carried out in order to verify the quality of the tool. As a final result, fully optimized routes were obtained in terms of cost and time. KEY WORDS

Multimodal, tool, optimization, computational approaches.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS Y REFERENTES TEÓRICO-METODOLÓGICOS SOBRE LA GESTIÓN DE LA TRANSPORTACIÓN MULTIMODAL.....	7
I.1. Transporte multimodal. Conceptos básicos	8
I.2. Problemas de optimización	9
I.2.1. Los principales retos de la logística multimodal.....	9
I.2.2. Diferentes enfoques computacionales a la gestión de la transportación multimodal	11
I.2.3. Aplicaciones similares	15
I.3. Tecnología, lenguajes y herramientas	18
I.3.1. Lenguaje de programación	18
I.3.2. Framework.....	19
I.3.3. Gestor de Base de Datos	21
I.3.4 Metodología de desarrollo	21
Conclusiones del capítulo.....	24
CAPÍTULO II: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA AL PROBLEMA CIENTÍFICO	25
II.1. Descripción del negocio	25
Problema planteado	25
Variables de decisión	26
II.1.1 Preprocesamiento de los datos	27
Dimensión y matricialización	27
Supuestos.....	27
II.1.2. Transformación de los datos	28
Parámetros	28
II.1.3. Modelo computacional para el cálculo de rutas	29
II.2. Propuesta de solución.....	31
Conclusiones del capítulo.....	32
CAPÍTULO III: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	33
III.1. Estrategia de pruebas	33
III.1.1. Pruebas de software.....	33
III.2. Pruebas unitarias.....	33
III.3. Pruebas de estudio de caso	35
III.4. Pruebas de seguridad	36
III.5. Pruebas de funcionalidad	39
III.6. Prueba de aceptación.....	44
Conclusiones del capítulo.....	45
CONCLUSIONES FINALES.....	46
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de las metodologías	21
Tabla 2 Método de OrderOptimized	32
Tabla 3 Estrategia de prueba.....	33
Tabla 4 Resultado de Prueba de Seguridad.....	37
Tabla 5 Descripción de las variables utilizadas en el caso de pruebas.....	39
Tabla 6 Resultado de la prueba de funcionalidad: Crear Ruta	41
Tabla 7 Resultado de la prueba de funcionalidad: Crear Orden	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas del modelo KDD	23
Figura 2 Diagrama de actividades 1	26
Figura 3 Diagrama de actividades de la propuesta de solución	31
Figura 4 Resultados de las pruebas unitarias	34
Figura 5 Resultado de la ruta optimizada	35
Figura 6 Resultados de las pruebas estudio de caso.....	36
Figura 7 Escenario de prueba: Crear Ruta	42
Figura 8 Escenario de prueba: Crear Orden.....	43
Figura 9 Resultado de las pruebas funcionales.	43
Figura 10 Camino optimizado	45

OPINIÓN DEL(OS) TUTOR(ES)

<Contenido de la opinión de los tutores>

AVAL DEL CLIENTE

<Contenido del aval del cliente sobre la solución desarrollada>

INTRODUCCIÓN

El mercado de la logística de distribución de productos se encuentra en constante transformación a nivel global. Es por tal motivo que las empresas se enfrentan en la actualidad a diferentes problemas que representan verdaderos desafíos a superar para mantener la eficiencia de sus procesos de producción a lo largo del tiempo. Esta nueva realidad obliga a las empresas a plantearse soluciones diferentes, más enfocadas a las necesidades de los clientes, para resolver los problemas que vayan surgiendo en la logística de distribución de productos.

La labor de coordinación de todas las fases necesarias para que el cliente reciba en tiempo y forma su mercancía es lo que se conoce como logística, y dentro de esta actividad el transporte juega un papel fundamental. Dicha labor tiene un impacto muy significativo en los precios, el medio ambiente y el consumo de energía. Si la globalización implica transportar cada vez más productos a mayores distancias, el manejo óptimo de todos los recursos implicados puede no sólo significar mejores resultados financieros, sino la supervivencia de la propia empresa (Dorta-González, 2014).

La cadena logística implica todo un proceso de planificación, organización y control de las actividades de transportación de cargas entre proveedores y clientes en la cadena de suministro, la cual tiene como misión proporcionar un nivel de servicio deseado a los clientes asegurando la entrega a los clientes en buenas condiciones, en el momento y lugar adecuado y con los costos mínimos (Cardona & Gómez, 2017). Hoy en día, las mercancías casi de cualquier tipo pueden ser trasladadas de un punto a otro del planeta utilizando buques y camiones, y optimizando el proceso logístico que requiere a través de contenedores (Zubizarreta, 2016). Todo esto se vincula recientemente en la búsqueda de hacer más fluida la circulación de mercancías, ya que las empresas vienen aplicando distintas modalidades de transporte que buscan reducir el tiempo del flujo de mercancías y hacer eficiente el traslado de sus materias primas (Cárdenas, 2014).

El transporte multimodal es la combinación de dos o más tipos de transporte para mover una carga de un lugar a otro. Este tipo de transporte implica la articulación entre diferentes modos

de transporte, con el objetivo de realizar más rápida y eficazmente las operaciones de trasbordo de materiales y mercancías. El transporte multimodal ha ganado gran importancia en los últimos años y debido a las tendencias de la globalización y la administración logística, se prevé que dicha popularidad siga creciendo (Udomwannakhet et al., 2018). De esta manera, se espera que para el año 2050, al menos el 50% de la carga en el mundo se movilice empleando transporte multimodal (Abbassi et al., 2019). Los sistemas de transporte multimodal están requiriendo gestionarse eficientemente dado el crecimiento que están presentando al considerar vehículos completamente eléctricos o híbridos. Se requieren modelos integrales, flexibles y robustos para gestionar la información de los sistemas de transporte, que ayuden a optimizar eficientemente los recursos (Medina et al., 2020).

Desde hace un par de décadas la gestión de la cadena de suministro, y sus principales áreas como la gestión del transporte, la resiliencia y la logística inversa, han cobrado interés en diversos sectores de la sociedad, la educación y la economía. Buscan a través de su estudio identificar las variables que afectan su operación, y así mejorar sus métodos, permitiendo a la organización enfrentar los retos de economías modernas y dinámicas, y los requisitos cada vez más exigentes de los clientes. Mediante la adopción de tecnologías emergentes como Internet de las cosas e Inteligencia Artificial y Big Data que mejoran el proceso de toma de decisiones, y la evaluación de amenazas y debilidades que ponen en riesgo el sistema (Lasso-Cardona, 2023).

En Cuba, el transporte multimodal es un componente clave de varias cadenas de suministro, incluyendo la zona especial de desarrollo del Mariel, una de las zonas de libre comercio más importantes y más recientes en Cuba, la cual tiene un puerto moderno donde hay gran flujo de carga de importación y exportación, la mayoría trasladada en contenedores. Desde aquí se puede transportar por la red ferroviaria los contenedores hacia cualquier punto del país, dada las características geográficas de la isla, entre ellos la zona central (Morales, 2018).

El sector de transporte en Cuba enfrenta varios desafíos que afectan su eficiencia y rendimiento. Un ejemplo de ello son los problemas recurrentes en el incumplimiento de la rotación de los camiones del Ministerio de Transporte (MITRANS), demoras en los tiempos de carga y descarga, y la falta de condiciones para realizar operaciones en horario nocturno y

fines de semana. Además, la baja disponibilidad de equipos ferroviarios de carga y la demora en su ciclo promedio de rotación, a veces utilizados incluso como almacén, también son preocupantes. El deterioro general del parque de medios ferroviarios y automotor ha impactado directamente en la situación del sector. A estos problemas se suman las insuficiencias organizativas, de planificación, de previsión, operacionales y de cooperación entre todos los organismos involucrados en esta cadena. Estos desafíos requieren una atención inmediata para mejorar la eficiencia y efectividad del sector de transporte (Peña & Cardona, 2017).

Cuba tiene una infraestructura de transporte en general limitada, lo cual incluye carreteras, puertos, aeropuertos y ferrocarriles, puede tener varias causas, por ejemplo, la falta de inversión suficiente y sostenida para el mantenimiento y la modernización de la red vial, portuaria, ferroviaria y aeroportuaria, que ha provocado un deterioro progresivo de la calidad y la seguridad de las infraestructuras y los servicios asociados. La ausencia de una gestión eficiente y eficaz de la conservación de la infraestructura, que se base en criterios técnicos y económicos, y que permita priorizar las acciones de reparación y rehabilitación según las necesidades reales.

Por otro lado, la coordinación efectiva entre los diferentes modos de transporte es otro desafío importante. La sincronización de horarios, rutas y transbordos no siempre es óptima, lo que puede causar retrasos y dificultades en el transporte de mercancías. Además, las regulaciones y trámites burocráticos complejos afectan la gestión del transporte multimodal. Los requisitos administrativos y los procedimientos aduaneros pueden ser complicados y demorados, lo que afecta la eficiencia y agilidad del transporte. Igualmente, la ausencia de integración logística entre los diferentes actores del transporte multimodal, como compañías de transporte, operadores portuarios y aduanas, da pie a la falta de comunicación y colaboración. Esta falta de infraestructura adecuada dificulta la implementación eficiente del transporte multimodal.

Por todo lo mencionado anteriormente se plantea como **problema de investigación**: ¿Cómo mejorar la gestión del transporte en Cuba por medio de diferentes escenarios de optimización para la gestión de la cadena de suministro?

Para solucionar dicho problema se tendrán en cuenta referentes teóricos inmersos en el siguiente **objeto de estudio**: la gestión de la transportación multimodal, enfatizando en el **campo de acción**: La optimización de la gestión del transporte multimodal. Como **objetivo general de la investigación** se determina: Desarrollar una herramienta para la optimización de la transportación multimodal con técnicas de optimización. Con el interés de dar cumplimiento al objetivo general propuesto se identifican los siguientes **objetivos específicos**:

1. Caracterizar la gestión logística del transporte por medio de diferentes escenarios de optimización para la gestión de la cadena de suministro.
2. Proponer una herramienta informática para la gestión del transporte multimodal de diferentes escenarios de optimización matemática y la modelización.
3. Validar la herramienta para optimizar la gestión logística del transporte.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos se determinan las siguientes **tareas de investigación**:

1. Realizar un estado del arte sobre los modelos y métodos de optimización aplicados a la gestión del transporte multimodal. Revisar técnicas como programación lineal, algoritmos genéticos, simulación.
2. Diseñar la estructura y parámetros de un modelo matemático para la optimización del transporte multimodal. Definir variables, funciones objetivo, restricciones, suposiciones.
3. Desarrollar la interfaz de una herramienta de optimización para gestión logística del transporte.
4. Validar la herramienta mediante casos reales que evalúen métricas como costos y tiempos.
5. Documentar el proceso de investigación y presentar conclusiones y recomendaciones

Para llevar a cabo esta investigación se aplicaron métodos y técnicas en correspondencia con los objetivos del trabajo, así como una metodología para la obtención de datos simulados y útiles para la institución, que posibilitará, además, el diseño de una herramienta.

Métodos teóricos:

- **Analítico - Sintético:** Permitió procesar la información obtenida a través del análisis de las principales fuentes bibliográficas, para la resolución del problema relacionado con el transporte multimodal.
- **Modelación:** El uso de este método permite desarrollar un modelo teórico mediante técnicas de programación matemática para representar el sistema.
- **Inductivo-deductivo:** Permitirá llegar al planteamiento del objetivo, además de la extracción de las ideas fundamentales para la elaboración y fundamentación teórica del trabajo de diploma,

Métodos empíricos:

- **Entrevista:** se empleó mediante un intercambio verbal con especialistas vinculados en la rama, para obtener la mayor cantidad de información posible sobre los sistemas que tienen actualmente relacionados, o similares con esta tesis.

La creación de la herramienta para optimizar el transporte multimodal ha demostrado el impacto significativo que tiene la intersección entre ciencia, tecnología y sociedad. La tecnología juega un papel fundamental al proporcionar herramientas avanzadas que permiten simular escenarios y probarlos en entornos reales. Esto posibilita la identificación de las mejores prácticas para optimizar la eficiencia del transporte, maximizando así su alcance y minimizando los impactos negativos. En el ámbito social, este sistema se traduce en una mejora palpable en la calidad de vida de la población. Gracias a su implementación, los productos pueden llegar de manera más rápida y eficiente a los consumidores finales, lo que reduce los tiempos de espera y la frustración asociada. Esto se traduce en un mayor acceso a bienes y servicios, especialmente en comunidades remotas o con infraestructuras de transporte limitadas.

Por otro lado, desde la perspectiva económica, este sistema demuestra ser altamente ventajoso. Al permitir una gestión más eficiente de las rutas de transporte, se logra un ahorro considerable en términos de combustible y dinero, lo que a su vez tiene un impacto positivo en el medio ambiente al reducir las emisiones contaminantes. Además, al optimizar los tiempos

de entrega, se fomenta un flujo constante de bienes y servicios, lo cual promueve el crecimiento económico y la competitividad de los diferentes actores involucrados en la cadena de suministro.

Estructura del documento

El presente trabajo de diploma, está compuesto por tres capítulos, que incluyen los procedimientos desarrollados en relación con el trabajo investigativo, así como la propuesta de solución y validación de la investigación. A continuación, se presenta su descripción:

Capítulo 1: Fundamentación teórica sobre el transporte multimodal. Este capítulo se define algunos conceptos fundamentales y generales, los problemas más frecuentes del transporte multimodal, resúmenes de las publicaciones utilizando diferentes enfoques computacionales. Se profundiza en las aplicaciones similares para establecer comparaciones. Así como, las herramientas, las bases metodológicas fundamentales para el levantamiento de información y las tecnologías que se usarán para el desarrollo del sistema.

Capítulo 2: Diseño de la solución propuesta al problema científico. En este capítulo se describe el modelado matemático desarrollado para representar y optimizar el sistema de transporte multimodal. Se plantea supuestos, se diseñan matrices para almacenar los datos y se formalizan las variables de decisión, y uso de rutas. Se formula la función objetivo, restricciones considerando costos, tiempos y capacidades. De esta forma se configura el problema como uno de optimización matemática.

Capítulo 3 Validación de la propuesta de solución. En este capítulo se presentan las evaluaciones y pruebas llevadas a cabo para obtener resultados que conduzcan a los ajustes óptimos de la herramienta de optimización del transporte multimodal. Estos ajustes contribuirán a mejorar la precisión en la optimización de las rutas

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS Y REFERENTES TEÓRICO-METODOLÓGICOS SOBRE LA GESTIÓN DE LA TRANSPORTACIÓN MULTIMODAL

Según (Chopra, 2013), el transporte de mercancías se refiere al movimiento del producto de un lugar a otro en su recorrido desde el principio de la cadena de suministro hasta el cliente. El transporte es una directriz importante de la cadena, ya que los productos rara vez son producidos y consumidos en la misma ubicación. Es un componente significativo de los costos en que incurren la mayoría de las cadenas. Como señala (Salinas Hernández, 2013) el transporte en logística es toda actividad en la que se movilizan materias primas, productos en proceso y productos terminados desde su lugar de origen hasta el sitio donde son requeridos, con los condicionamientos de seguridad, rapidez y costo.

La gestión logística es un componente esencial de la gestión de la cadena de suministro. Su objetivo principal es desarrollar e implementar sistemas eficaces que permitan el traslado de mercancías desde su lugar de producción, como una fábrica, hasta su destino final, que puede ser una tienda o el domicilio del cliente. Aunque la logística se centra más en el flujo de productos que en los medios de transporte utilizados, a menudo implica la coordinación de diferentes modos de transporte, como camiones y trenes, para optimizar la distribución. O sea, la logística se encarga de garantizar que los productos lleguen al lugar correcto en el momento adecuado de la manera más eficiente posible (UFV, 2023).

Uno de los objetivos del transporte es satisfacer dentro de las posibilidades la demanda en armonía con el medio ambiente, un transporte más ecológico evaluando oportunidades e implementando programas de transporte sostenible puede ayudar a cumplir con eficiencia el transporte y sus objetivos de reducción de costos (Mathers et al., 2014). El transporte internacional de mercancías es el traslado de mercancías desde un lugar, llamado de partida o carga, a otro ubicado fuera del ámbito territorial de un estado (región) en particular, llamado de destino o arribo o descarga; y viceversa. Se visualiza que su definición es comprensiva, tanto de los llamados tráficos de exportación como los de importación.

La eficiencia en el contexto de la optimización del transporte multimodal y de esta investigación se centrará a lograr el máximo rendimiento del sistema de logística y distribución, minimizando

los recursos utilizados (tiempo, costos) para el traslado de mercancías. Algunos aspectos que se propone son:

- Los tiempos de tránsito: Optimizar las rutas, modos y frecuencias para acortar plazos de entrega.
- Intermodalidad: Combinar de manera eficiente modos de transporte como ferrocarril, marítimo, aire y carretera.
- Costos de operación: Disminuir gastos de transporte, almacenamiento, manipulación.
- Utilización de la capacidad: Aprovechar al máximo los vehículos, contenedores

I.1. Transporte multimodal. Conceptos básicos

El multimodalismo es una de las más complejas formas de transporte. De hecho, no es un medio de transporte sino una técnica que combina los diferentes medios para obtener un movimiento de carga eficiente. Mientras que los medios de transporte han estado funcionando en el mundo por mucho tiempo, el multimodalismo es uno de los más importantes desarrollos en el ambiente de negocios internacionales de las décadas más recientes, y fue definido oficialmente por el Convenio Internacional de las Naciones Unidas para el transporte multimodal de mercancías, que tuvo lugar en 1980 en Ginebra, Suiza (Abril Rubio, 2014)

Es importante aclarar que frecuentemente en la literatura científica cuando se habla de transporte multimodal en ocasiones se tiende a confundir con el término transporte combinado. Se entiende por transporte combinado a la operación que consiste en reunir elementos de transporte de diferentes modalidades para el transporte de una misma partida, por ejemplo el transporte de remolques de camión en plataformas ferroviarias (Villar, 1998). Por otro lado, el transporte multimodal se realiza en el marco de una misma operación y la carga viaja bajo la responsabilidad de un solo operador que emite un solo documento, actuando con un solo contrato, de hecho, se superpone a los subcontratos que celebra con cada modo separadamente.

Según (Alemán, 1999) por transporte multimodal se entiende el porte de mercancías por dos modos diferentes de transporte por lo menos en virtud de un contrato de transporte multimodal. Se trata de una de las actividades más antiguas que existen, dada la necesidad de aproximar el producto al consumidor y de distribuir los productos entre la clientela de los distintos países

o destinos. Por la propia naturaleza de la tecnología, el multimodalismo es usado principalmente para la carga de mediano valor. Mientras que la carga multimodal tiende a ser más valiosa que la carga a granel, resulta en ocasiones menos valiosa que la carga aérea. Los medios de transporte más comunes usados en un movimiento multimodal son los camiones, ferrocarriles y buques, por tanto, las formas más comunes de transporte multimodal lo constituyen las combinaciones entre ferrocarril-carretera, marítimo-carretera y marítimo-ferrocarril.

I.2. Problemas de optimización

A medida que el comercio electrónico sigue impulsando las entregas transfronterizas en todo el mundo y los clientes se vuelven más impacientes y exigentes, las empresas se enfrentan a una serie de problemas totalmente nuevos. Deben centrarse en hacer que sus movimientos logísticos sean más rápidos y eficientes, al tiempo que garantizan el cumplimiento de los estrictos acuerdos de nivel de servicio con los clientes, reducen los costos de la cadena de suministro, mejoran la productividad logística y aprovechan medios de transporte respetuosos con el medio ambiente.

Por eso, la logística multimodal está emergiendo como una de las favoritas del sector para aprovechar las economías de escala y la eficiencia de los distintos modos de transporte. Mientras que la logística multimodal ayuda a reducir los costos de transporte en un 20% y las emisiones de carbono en más de un tercio, también puede ayudar a promover el ahorro de energía y mejorar la eficiencia del transporte en un 30%. Además, las estadísticas sugieren que la logística multimodal también puede reducir los daños a la carga en un 10% y la congestión de las carreteras en más de un 50%, lo que sin duda la convierte en una opción rentable para las empresas de todo el mundo (Markets, 2020). Sin embargo, la eficacia de la aplicación depende de que se superen los retos que conlleva la naturaleza multimodal.

I.2.1. Los principales retos de la logística multimodal

Dentro de la logística multimodal existen un conjunto de problemas de optimización que son retos hoy en el mundo, de acuerdo a (shipsy, 2022) se consideran que son:

1. Escasa visibilidad en tiempo real de los movimientos multimodales

Los retrasos en el transporte y la falta de coordinación entre los distintos vehículos o modos de transporte son dos retos importantes en la logística multimodal. Durante los trasposos entre varios vehículos, el seguimiento de los envíos se interrumpe y las empresas tienen dificultades para conocer el estado en tiempo real debido a la mala coordinación entre los proveedores de servicios logísticos (PSL). Además, la falta de información estandarizada, como las actualizaciones de estado, intensifica la gravedad del problema. Esta disparidad de visibilidad en los movimientos de los envíos se amplifica cuando el envío es entregado por tres o más tipos de vehículos.

2. Amplia documentación

El intercambio de manos durante el movimiento del envío de extremo a extremo conduce a una extensa documentación entre las múltiples partes del transportista y la logística. Esto no sólo supone una responsabilidad añadida para el expedidor, sino que también genera confusión y una gestión caótica de los movimientos de los envíos. Esto también puede suponer un obstáculo en los casos en los que las empresas desean obtener visibilidad en tiempo real de los movimientos granulares de los envíos y compartirla con sus clientes. Además, una sola tarea, como la facturación, puede depender de varias partes o procesos.

3. Costos elevados de entrega de última milla

Se espera que el mercado mundial de logística transfronteriza de comercio electrónico alcance los 55 470 millones de dólares en 2026, lo que, sumado al aumento de los costos de combustible y flete, va a amplificar los costos de entrega de última milla. Además, en la logística multimodal, el transporte de envíos de extremo a extremo es gestionado por un único proveedor, lo que significa que las empresas no pueden negociar u optar por un transportista más rentable para las entregas de última milla. Por último, la dependencia de un único proveedor de servicios implica un menor margen de negociación en términos de pasajeros, tipo de vehículos, optimización de procesos y automatización. Todo ello puede dar lugar a mayores costos operativos atribuidos a vehículos de alto precio, planificación manual, flota dedicada, entre otros.

4. Escasa coordinación entre las partes interesadas

En la logística multimodal, las empresas sólo se comunican con el proveedor de servicios principal, lo que significa que la colaboración y la comunicación con los demás proveedores de servicios subsidiarios están ausentes en la mayoría de los casos. Así pues, aunque se tramite un pedido o una factura, las empresas parecen luchar con una sensación persistente: "¿se ha facturado correctamente?" o "¿y si el proveedor de servicios está añadiendo su propia comisión?". Esta falta de transparencia y de coordinación consolidada entre las distintas partes interesadas genera desconfianza, falta de comunicación y, en general, una menor calidad de las operaciones.

5. Los múltiples puntos de contacto aumentan la susceptibilidad al riesgo

Como ocurre con todos los demás movimientos de transporte, la gestión logística multimodal viene acompañada de un problema mayor que el de la manipulación. En todo el trayecto de un envío intervienen múltiples puntos de contacto que pueden aumentar el riesgo de daños, robos, compromisos o cualquier otro tipo de riesgo empresarial, como el fraude. Un control deficiente de la orquestación del transporte multimodal y la falta de visibilidad en tiempo real de los movimientos de los envíos plantean este tipo de retos a las empresas. Aunque la gestión, la supervisión, el control y el seguimiento parecen pintar un panorama sombrío, las ventajas del transporte multimodal son demasiado grandes para ser ignoradas.

I.2.2. Diferentes enfoques computacionales a la gestión de la transportación multimodal

Varias tesis se han realizado buscando solución a los problemas de optimización, en la tesis doctoral realizada por (Alicia Munín Doce, 2022) uno de los enfoques que utiliza es optimización a través de heurísticas, específicamente el método de las colonias de hormigas, para modelar el transporte multimodal y por carretera. Los datos utilizados fueron costos y tiempos unitarios, y se asumió que cada nodo estaba asociado exclusivamente a un puerto. El algoritmo se ejecutó con 250 iteraciones y 50 'hormigas', encontrando en ambos casos una ruta de costo mínimo y una ruta de tiempo mínimo que conecta todos los nodos. Sin embargo, la solución para el problema del viajante (TSP) por carretera no fue realista debido a la longitud de la ruta y la falta de una única empresa capaz de realizarla.

El método propuesto obtuvo rutas únicas para ambos modos de transporte, visitando 20 puertos (y sus correspondientes NUTS (Nomenclatura de unidades territoriales para estadísticas)) en el caso multimodal y 40 NUTS en el caso del transporte por carretera. No se incorporaron penalizaciones por número de nodos visitados, tiempo o capacidad del vehículo, lo que resultó en resultados poco realistas. Para obtener resultados más válidos, se sugiere utilizar un número reducido de nodos o desarrollar un método específico que incorpore las limitaciones o condicionantes de las rutas multimodales.

Además, utiliza la programación lineal entera mixta para optimizar una ruta de transporte con el objetivo de minimizar los costos. La función objetivo combina los costos de los tramos de carretera y barco para representar un servicio completo de puerta a puerta. Las restricciones del algoritmo incluyen la capacidad del buque, la velocidad, el costo del chárter y el número de contenedores por puerto. El algoritmo puede generar múltiples subrutas, pero no todas son viables. No se impone una limitación en el tamaño de la flota, lo que significa que el algoritmo asume un número ilimitado de buques disponibles. Sin embargo, esta falta de restricción puede impedir la convergencia del algoritmo hacia una solución óptima.

En la tesis doctoral de (Antonio Lorenzo Espejo, 2023) utiliza 3 algoritmos heurísticos. Pone en práctica 7 escenarios de tráfico y buques en el puerto, generando un total de 28 instancias del problema. Además se consideró los tiempos de descarga/carga de contenedores. El resultado de esta tesis después comparar el rendimiento de tres metaheurísticas (algoritmo genético, recocido simulado y búsqueda tabú) para resolver el problema de asignación de grúas en un puerto. Se realizan experimentos con diferentes instancias del problema y se analizan los resultados en términos de calidad de la solución y tiempo de ejecución. Se concluye que el algoritmo genético es el más eficiente de los tres, ya que obtiene mejores soluciones en tiempos similares o menores que las otras dos metaheurísticas. Sin embargo, la búsqueda tabú también muestra un buen comportamiento en algunas instancias grandes, mientras que el recocido simulado sólo destaca en algunas pequeñas. Por otro lado, se observa que el método exacto puede resolver el problema en tiempos razonables si el número de grúas es alto, pero en esos casos el algoritmo genético también alcanza la solución óptima.

El trabajo de (Claes, 2021) se enfoca en el diseño e implementación de un algoritmo genético que resuelve el problema de la ruta más corta y/o menos contaminante en la ciudad de Valencia y sus alrededores. Para ello, se utilizan los medios de transporte públicos más usados de la ciudad para moverse, como EMT Valencia, Metro Valencia y Valenbisi. El algoritmo ofrece un camino multimodal entre dos puntos de la ciudad, con la novedad de que se tendrán en cuenta también aspectos relacionados con el medio ambiente, lo que permitirá moverse por la ciudad de una forma más sostenible. Incluye la posibilidad de moverse con un solo tipo de transporte o una combinación de ellos, además de poder elegir tres tipos de rutas: la más rápida, la menos contaminante o un equilibrio entre ambas. Igualmente, se muestra información sobre el número de kilómetros a recorrer, el tiempo de desplazamiento y las emisiones de CO2 emitidas a la atmósfera por cada viaje.

Los parámetros utilizados en el algoritmo genético incluyen estación de origen y destino elegidas por el usuario, transportes usados como tren, autobús y Valenbisi, hora de salida del usuario, CO2 emitido por el tren/tranvía (0 gramos por kilómetro recorrido), CO2 emitido por la bicicleta (0 gramos por kilómetro recorrido), CO2 emitido por el bus (69 gramos por kilómetro recorrido), tamaño de población (20), número de generaciones (100 o hasta homogeneidad), la probabilidad de mutación (0.05 o 5%), la probabilidad de cruce (0.70 o 70%), y el tipo de ruta (ruta multimodal más corta y/o ruta multimodal menos contaminante). El objetivo principal del proyecto era desarrollar un algoritmo que pudiera obtener tres tipos de rutas multimodales: la más rápida, la menos contaminante o una que tuviera en cuenta ambos factores. Este objetivo se cumplió con éxito, como se demostró en los resultados obtenidos. Sin embargo, se reconoció que se necesitan más estudios para determinar qué parámetros se adaptan mejor en el cálculo de la ruta.

En conclusión

Tesis de Alicia Munín Doce:

- Se realiza por el método de colonias de hormigas para modelar transporte multimodal.
- Sin embargo, al no imponer limitaciones reales (número de nodos, capacidad de vehículos, etc.), las soluciones no son válidas operativamente.

- Futuros trabajos deberían combinar esta heurística con restricciones más realistas para producir rutas factibles.

Tesis de Antonio Lorenzo Espejo:

- Valida sus algoritmos genéticos, tabú y simulado con múltiples escenarios de tráfico portuario.
- Concluye acertadamente la superioridad de los genéticos en calidad-tiempo de solución para ese problema.
- Centra el objetivo en asignación de grúas portuarias, por lo que es necesario validar la metodología en otros contextos.

Trabajo de Claes:

- Sobresale por incluir parámetros ambientales como emisiones, ausentes en otros trabajos.
- Implementa con éxito algoritmo genético multiobjetivo para obtención de rutas en Valencia.
- Sin embargo, admite la necesidad de nuevos estudios que optimicen aún más sus parámetros.

Estos tres trabajos presentan métodos computacionales rigurosos cuya validación queda aún por fortalecer al expandirse a escenarios más complejos y realistas del transporte multimodal. Futuras investigaciones deben enfocarse en el desarrollo de soluciones híbridas, multiobjetivo y dinámicas, capaces de representar de manera integral los múltiples factores que intervienen en su optimización. Considero que el enfoque implementado en la tesis de (Antonio Lorenzo Espejo, 2023) es el más prometedor para abordar la gestión del transporte multimodal por las siguientes razones:

- Utiliza metaheurísticas (algoritmos genéticos, búsqueda tabú, simulado), que han demostrado ser efectivas para problemas complejos de optimización.
- Validó su metodología con múltiples escenarios de tráfico portuario, lo que otorga mayor robustez y capacidad de generalización.
- Concluyó la superioridad de los algoritmos genéticos en cuanto a calidad- tiempo de solución, siendo eficientes para resolver el problema planteado.

- A pesar de centrarse en asignación de grúas portuarias, su enfoque considera tiempos de operaciones reales, pudiendo adaptarse a otros contextos del transporte multimodal.

Los otros enfoques también aportan elementos importantes, pero su validez queda acotada a problemas o ámbitos particulares. El trabajo de (Antonio Lorenzo Espejo, 2023) presenta mayor potencial de generalización al tratar de abordar integralmente la problemática mediante técnicas avanzadas y validación de escenarios múltiples.

I.2.3. Aplicaciones similares

SAP Transportation Management (*Transportation Management and Logistics System | TMS*, 2023)

La aplicación SAP Transportation Management integra la gestión de flotas y logística en toda su red, ayudándole a reducir la complejidad, aumentar la eficiencia y mejorar la agilidad para conseguir una cadena de suministro más sostenible y resistente a los riesgos.

Ofrece funciones para la planificación del transporte y la demanda, así como para la licitación interactiva de fletes y la liquidación de fletes. Estas características permiten a las empresas gestionar eficientemente su transporte a nivel mundial y nacional en todos los modos de transporte e industrias. Además, promueve la productividad empresarial al automatizar los procesos y fomentar la colaboración digital. Esto ayuda a las empresas a reducir el espacio vacío, evitar redundancias y cumplir sus objetivos de sostenibilidad. También proporciona herramientas para trabajar de manera más inteligente, acelerando la toma de decisiones, minimizando los riesgos de interrupciones y mejorando los índices de puntualidad en las entregas. Finalmente, mejora la utilización de los recursos al aumentar la transparencia del proceso de envío, acelerar el cumplimiento, reducir los riesgos y mantener satisfechos a los clientes. En resumen, esta aplicación es una solución completa para las necesidades de gestión del transporte y la logística de una empresa, con un enfoque en la eficiencia, la rentabilidad y la sostenibilidad.

SAP Transportation Resource Planning (*Transportation Resource Planning*, 2023)

Integra análisis avanzados de datos históricos con funciones de previsión para pronosticar y supervisar con precisión la oferta y la demanda de recursos. Logra un mejor rendimiento

empresarial mediante un control más estricto de los recursos, reduce los costos gracias a la disminución de los tiempos de inactividad flotas más pequeñas y menos kilómetros en vacío, aumenta la calidad y reduce los riesgos aprovechando la visibilidad operativa, mejora la logística con la integración con Gestión del transporte de SAP. La unión de SAP Transportation Management y SAP Transportation Resource Planning puede llevar a un mejor rendimiento empresarial mediante un control más estricto de los recursos, una reducción de costos y riesgos, y una mejora en la logística.

Hedyla

Las empresas de transporte y mensajería enfrentan el desafío de satisfacer las necesidades del cliente y mejorar sus rutas de reparto de manera eficiente. El optimizador de rutas de Hedyla (Salvadó et al., 2021) ha demostrado ser una solución efectiva, logrando optimizar entre un 20% y un 25% el tiempo invertido en la ejecución de rutas. Este sistema permite calcular la ruta más óptima en pocos minutos, teniendo en cuenta la ubicación del cliente final, los tiempos, costos y otras restricciones. El uso del optimizador de rutas puede resultar en una flota más pequeña, distancias recorridas más cortas y una reducción en el número total de rutas. Esto también puede llevar a una disminución en el uso de combustible y las emisiones de CO₂, contribuyendo a la sostenibilidad logística. Además, el optimizador de rutas de Hedyla permite proporcionar información en tiempo real a los clientes sobre el estado de sus pedidos, mejorando así la experiencia del usuario final.

TCOS

Software (TCOS, 2023) para la planificación y optimización de rutas, adaptable para grandes flotas de logística, repartos de última milla y servicio delivery. El sistema TCOS optimiza todo tipo de transporte por carretera, creando rutas inteligentes para poder aumentar la rentabilidad de cada trayecto y realizar entregas más rápidas. Un optimizador de rutas multiplataforma, con aplicación para dispositivos móviles. Desde la central se asignan las rutas planificadas automáticamente por el sistema, y que recibe el transportista en su teléfono mediante notificaciones. Con módulo GPS y de Google Maps, cálculo de costos, comprobante de entrega en destino y tracking de rutas para que el cliente pueda realizar seguimiento del

reparto y ver el tiempo de llegada estimado. Además, TCOS reacciona en tiempo real ante los imprevistos que puedan surgir en los trayectos asignados (carreteras cortadas, entregas no previstas, averías, etc.), reasignando una nueva ruta.

SimpliRoute

Optimizador de rutas (*SimpliRoute | Software de logística*, 2023) que mejora las entregas, la eficiencia de repartos y la satisfacción del cliente. Simpliroute planifica las rutas más eficientes y las asigna a los conductores disponibles. Incluye funciones para límites de carga, horarios disponibles y restricciones territoriales. Permite modificar rutas en el momento agregando o eliminando destinos, cambiar el orden de visitas y realizar seguimiento en tiempo real de la ubicación de los vehículos: recorrido, paradas y plazos de entregas. Simpliroute ofrece notificaciones del estado del envío para clientes, comunicación con conductores y control de entregas fallidas.

En conclusión:

Cada uno de estos sistemas de optimización de transporte multimodal tiene sus puntos fuertes. SAP Transportation Resource Planning destaca por su integración de análisis avanzados de datos históricos con funciones de previsión, lo que permite un control estricto de los recursos y una mejora en la logística. Hedyla, por otro lado, ofrece un optimizador de rutas eficaz que puede reducir significativamente el tiempo invertido en la ejecución de rutas. Este sistema puede ser ideal para empresas que buscan una solución más sencilla y directa para la optimización de rutas. TCOS proporciona una solución adaptable para la planificación y optimización de rutas que puede ser ideal para grandes flotas de logística, repartos de última milla y servicio de entrega. Su capacidad para reaccionar en tiempo real a imprevistos en los trayectos asignados es un punto fuerte importante. SimpliRoute se centra en mejorar las entregas, la eficiencia de los repartos y la satisfacción del cliente mediante la planificación de las rutas más eficientes. Este sistema puede ser una buena opción para empresas que buscan mejorar la experiencia del cliente final.

I.3. Tecnología, lenguajes y herramientas

Actualmente existe una amplia variedad de tecnologías, lenguajes y herramientas que permiten la creación y el desarrollo de aplicaciones web. A continuación, se describen las tecnologías lenguajes y herramientas que conforman el ambiente de desarrollo para la creación de la herramienta de optimización de suministro de mercancía.

Visual Paradigm: (Visual Paradigm, 2022) es una herramienta de software que permite gestionar el proceso de desarrollo y modelar la información empresarial de forma eficaz. La plataforma admite lenguajes y estándares de modelos críticos como XMI, BPMN, SoaML y UML. Paradigm no solo brinda soporte para el modelado, sino que también incluye ingeniería de código y capacidades de generación de informes con una generación actual de códigos.

I.3.1. Lenguaje de programación

Python es un lenguaje de programación de código abierto esta condición le otorga más rapidez en la ejecución de los programas, puesto que esto no tienen que complicarse previamente ahorrándose el tiempo de compilación. Además Python es un lenguaje multiplataforma, lo cual hace que cualquier programa que se haga pueda correr sin ningún problema en diferentes plataformas o sistemas operativos (Pertuz, 2022). Como opina (FERNANDEZ, 2013) Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y multipropósito. En los últimos años su utilización ha sido constantemente creciendo y en la actualidad es uno de los lenguajes de programación más empleados para el desarrollo de software. En la presente investigación se hace uso del lenguaje de programación Python en su versión 3.10.10

Aunque Python fue creado como lenguaje de programación de uso general, cuenta con una serie de librerías y entornos de desarrollo para cada una de las fases del proceso de Data Science, algunas de las utilizadas en la investigación son:

NumPy 1.26.2 es una librería de Python especializada en el cálculo numérico y el análisis de datos, especialmente para un gran volumen de datos. Incorpora una nueva clase de objetos llamados arrays que permite representar colecciones de datos de un mismo tipo en varias dimensiones, y funciones muy eficientes para su manipulación (Larrauri González, 2021).

CVXPY es un lenguaje de modelado integrado en Python de código abierto para problemas de optimización convexa. Le permite expresar su problema de una manera natural que sigue las matemáticas, en lugar de la forma estándar restrictiva requerida por los solucionadores (Sphinx & Alabaster, 2023). Se utilizó en la versión 1.4.1.

I.3.2. Framework

En programación existen dos tipos de individuos los programadores de sistemas y los programadores de aplicaciones. Los programadores del sistema escriben el código que utilizarán los programadores de aplicaciones. Los programadores del sistema desarrollan los lenguajes Java, PHP, C o C++ y los programadores de aplicaciones utilizan estos lenguajes y herramientas para crear valor añadidos con fines comerciales. Un framework es un conjunto de bibliotecas herramientas y normas a seguir que ayudan a desarrollar aplicaciones los framework los desarrollan los programadores del sistema. Las aplicaciones pueden escribirse de manera más eficaz si utilizamos un framework adaptado al proyecto en lugar de tener que inventar la rueda cada vez (Lafosse, 2010).

Django es un framework de desarrollo para Python que se utiliza principalmente para la creación de aplicaciones y páginas web. Es una herramienta de código abierto y gratuito que cuenta con una amplia comunidad que comparte recursos constantemente. Django puede usarse para el desarrollo completo (*full-stack*) de aplicaciones y páginas web, así como para el desarrollo de servidores. Django proporciona casi todo lo que los programadores necesitan y pueden querer usar. Se trata de una herramienta que sigue unos principios de diseño consistentes y que cuenta con una buena base de documentación para facilitar el trabajo de los desarrolladores. Django funciona por componentes sustituibles e intercambiables, lo que significa que se puede escalar con bastante facilidad. Además, Django es compatible con cualquier framework que se emplea del lado del cliente, por lo que puede mandar contenidos en cualquier formato. Algunas plataformas populares como Instagram, Mozilla Firefox, Pinterest y National Geographic utilizan Django (Holovaty & Willison, 2005). Se utilizó en la versión 4.2.7.

HTML5 de HyperText Markup Language (Lenguaje de Marcado de Hipertexto). Combina tres tecnologías web: HTML, para construir la estructura de la página; CSS, para mejorar la presentación; y JavaScript, para agregar funcionalidad a los elementos HTML. Sus etiquetas o marcas hacen que textos, imágenes y elementos multimedia se visualicen correctamente en la pantalla, y que las páginas web tengan un formato unificado, estandarizado y sean compatibles con distintos navegadores, como Chrome, Edge, Firefox y Safari (Saavedra, 2023).

CSS se utiliza en la versión 3.2.4 que significa “Hojas de Estilo en Cascada” (Cascading Style Sheets en inglés), es un lenguaje que se utiliza para definir y crear la presentación de un documento escrito en HTML. Se utiliza para controlar el estilo y el diseño de múltiples páginas web a la vez. Por ejemplo, CSS permite cambiar la apariencia de todas las etiquetas (<H1>) en un sitio web, cambiando colores, fuentes y añadiendo efectos sin modificar nada del contenido (Rodríguez Baena, 2013).

Las principales ventajas de usar CSS incluyen:

- Separación de la estructura y la presentación: CSS permite separar el contenido HTML de su presentación visual. Esto mejora la legibilidad del código y facilita su mantenimiento.
- Consistencia y mantenibilidad: Con CSS, puedes aplicar estilos de manera consistente a un sitio o aplicación web. Los estilos se definen una vez y se aplican a múltiples elementos en las páginas.
- Eficiencia en el rendimiento: CSS permite cargar estilos externos en un archivo separado. Esto mejora el rendimiento al reducir la cantidad de datos que deben transferirse entre el servidor y el cliente.

En resumen, CSS es una herramienta esencial para cualquier desarrollador web que quiera controlar el diseño y la presentación de su sitio web.

I.3.3. Gestor de Base de Datos

SQLite es una biblioteca de C que provee una base de datos ligera basada en disco que no requiere un proceso de servidor separado y permite acceder a la base de datos usando una variación no estándar del lenguaje de consulta SQL. Algunas aplicaciones pueden usar SQLite para almacenamiento interno (Häring, 2023).

Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)

PyCharm es un IDE, desarrollado por la compañía JetBrains, está basado en IntelliJ IDEA, el cual proporciona completado inteligente de código, inspecciones de código, resaltado de errores sobre la marcha y correcciones rápidas, junto con refactorizaciones de código automatizadas y ricas capacidades de navegación. El editor de código inteligente de PyCharm proporciona soporte de primera clase para Python, JavaScript, CoffeeScript, TypeScript, CSS, lenguajes de plantillas populares y más. Aproveche la finalización de código consciente del lenguaje, la detección de errores y las correcciones de código sobre la marcha (*Features - PyCharm*, 2023).

I.3.4 Metodología de desarrollo

Las metodologías de desarrollo de software son un conjunto de técnicas y métodos organizativos que se aplican para diseñar soluciones de software informático. El objetivo de las distintas metodologías es el de intentar organizar los equipos de trabajo para que estos desarrollen las funciones de un programa de la mejor manera posible (Santander, 2020).

La elección de la metodología depende de las particularidades del proyecto que se quiere desarrollar, por lo que es fundamental hacer una buena selección. En este trabajo se utiliza la minería de datos como método de investigación.

Actualmente las metodologías más conocidas en la minería son:

- KDD
- CRIPS-DN
- Catalyst

Tabla 1 Comparación de las metodologías

Metodología	Fases	Descripción
KDD	Selección, preprocesamiento, transformación, minería de datos, evaluación e implantación	Es una metodología iterativa que se enfoca en el proceso de descubrimiento de conocimiento a partir de los datos. Se divide en cinco fases que se retroalimentan entre sí.
CRISP-DM	Comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación y despliegue	Es una metodología iterativa que se enfoca en el proceso de minería de datos. Se divide en seis fases que se retroalimentan entre sí.
SEMMA	Muestreo, exploración, modificación, modelado y evaluación	Es una metodología lineal que se enfoca en el proceso de minería de datos. Se divide en cinco fases que se ejecutan en orden secuencial.
Catalyst	Preparación de datos, modelado, evaluación y despliegue	Es una metodología iterativa que se enfoca en el proceso de minería de datos. Se divide en cuatro fases que se retroalimentan entre sí.

El concepto de KDD se ha desarrollado, y continúa desarrollándose, desde la intersección de la investigación de áreas tales como bases de datos, aprendizaje automático, reconocimiento de patrones, estadística, teoría de la información, inteligencia artificial, razonamiento con incertidumbre, visualización de datos y computación de altas prestaciones (Riquelme et al., 2006).

En (Fayyad et al., 1996), se define a KDD como “el proceso no trivial de identificar patrones válidos, novedosos, potencialmente útiles y comprensibles a partir de datos”. En esta definición se resumen cuáles son las propiedades deseables del conocimiento extraído:

- Válido: hace referencia a que los patrones deben seguir siendo precisos para datos nuevos (con un cierto grado de certidumbre).
- Novedoso: que aporte algo desconocido tanto para el sistema y preferiblemente para el usuario.
- Potencialmente útil: la información debe conducir a acciones que reporten algún tipo de beneficio al usuario.

- Comprensible: la extracción de patrones no comprensibles dificulta o imposibilita su interpretación, revisión, validación y uso en la toma de decisiones.

En el modelo KDD es posible definir al menos 6 estados: Recolección de datos, Selección, Limpieza y Transformación de datos, Minería de datos, Evaluación y Validación, Interpretación y Difusión, Actualización y Monitorización.

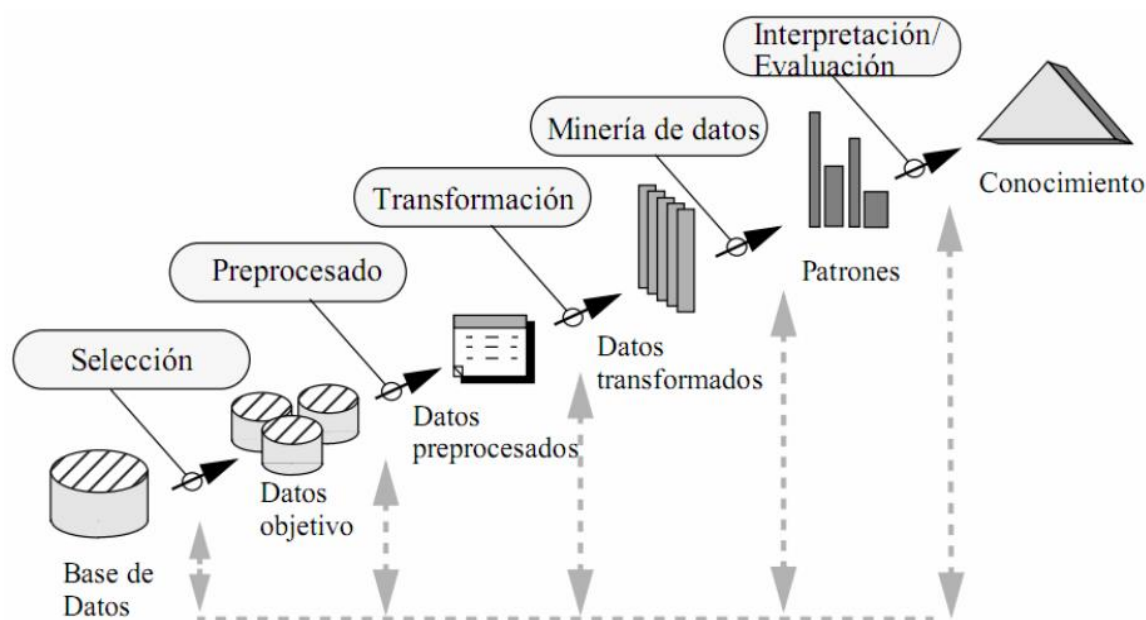


Figura 1 Etapas del modelo KDD

El proceso de KDD según (Ojeda Montoya, 2023) consta de las siguientes etapas:

1. Selección de datos: Se eligen los datos relevantes para el análisis, teniendo en cuenta los objetivos del proyecto.
2. Preprocesamiento de Datos: Los datos crudos se limpian y transforman para eliminar ruido y errores, normalizar valores y prepararlos para el análisis.
3. Minería de Datos: Se aplican técnicas de minería de datos para descubrir patrones y relaciones en los datos. Esto puede incluir técnicas de clasificación, regresión, agrupamiento y asociación.
4. Evaluación de Modelos: Se evalúa la calidad y el rendimiento de los modelos y patrones descubiertos utilizando métricas relevantes.

5. Interpretación y Presentación de Resultados: Los resultados se interpretan y presentan de manera comprensible para que los usuarios puedan tomar decisiones informadas.
6. Uso de Conocimiento: El conocimiento extraído se utiliza para tomar decisiones, hacer predicciones o mejorar procesos.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se mostró una visión teórica de los principales conceptos que van a estar presentes durante todo el ciclo del trabajo de diploma, se realizó un análisis detallado sobre el transporte multimodal con diferentes enfoques. Se realizó el estudio de los lenguajes, herramientas y tecnologías a utilizar para el desarrollo de la propuesta de solución y se escogió como lenguaje de programación Python, para la gestión de la base de datos se optó por SQLite, como entorno de desarrollo PyCharm y como metodología para guiar el proceso de desarrollo se eligió el descubrimiento de conocimiento en bases de datos (KDD).

CAPÍTULO II: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA AL PROBLEMA CIENTÍFICO

II.1. Descripción del negocio

Problema planteado

La compañía “X” es una empresa de logística con sede en Cuba que se especializa en el envío de mercancías utilizando una variedad de medios de transporte, incluyendo terrestre, marítimo y aéreo. La empresa tiene una red de infraestructuras en todas las provincias de Cuba, cada una equipada con un aeropuerto, una estación de tren, un puerto marítimo y un almacén. El problema actual es determinar las rutas óptimas para todas las mercancías de manera que se minimice el costo total, ya que, actualmente el gerente de operaciones y el ingeniero son los encargados de planificar las rutas, donde utilizan métodos manuales o semi-automatizados, lo que conlleva a ineficiencias y costos más altos. Por ende se necesita una solución que pueda tener en cuenta todos los factores relevantes, como los costos de transporte y los tiempos de tránsito, y luego utilizar esta información para determinar las rutas más eficientes y rentables. Se propone implementar una herramienta de optimización de rutas que utilice técnicas de programación lineal para encontrar las rutas óptimas. Esta herramienta tomaría como entrada los detalles de las mercancías, el modo de viaje, el lugar de origen y destino, el costo fijo, el tiempo de tránsito, la fecha y el porcentaje de impuesto, lo que produce como salida un plan de ruta que minimice el costo total.

Objetivo: Encontrar rutas que minimicen el costo global considerando las mercancías, las ciudades, los puertos y los modos de transporte.

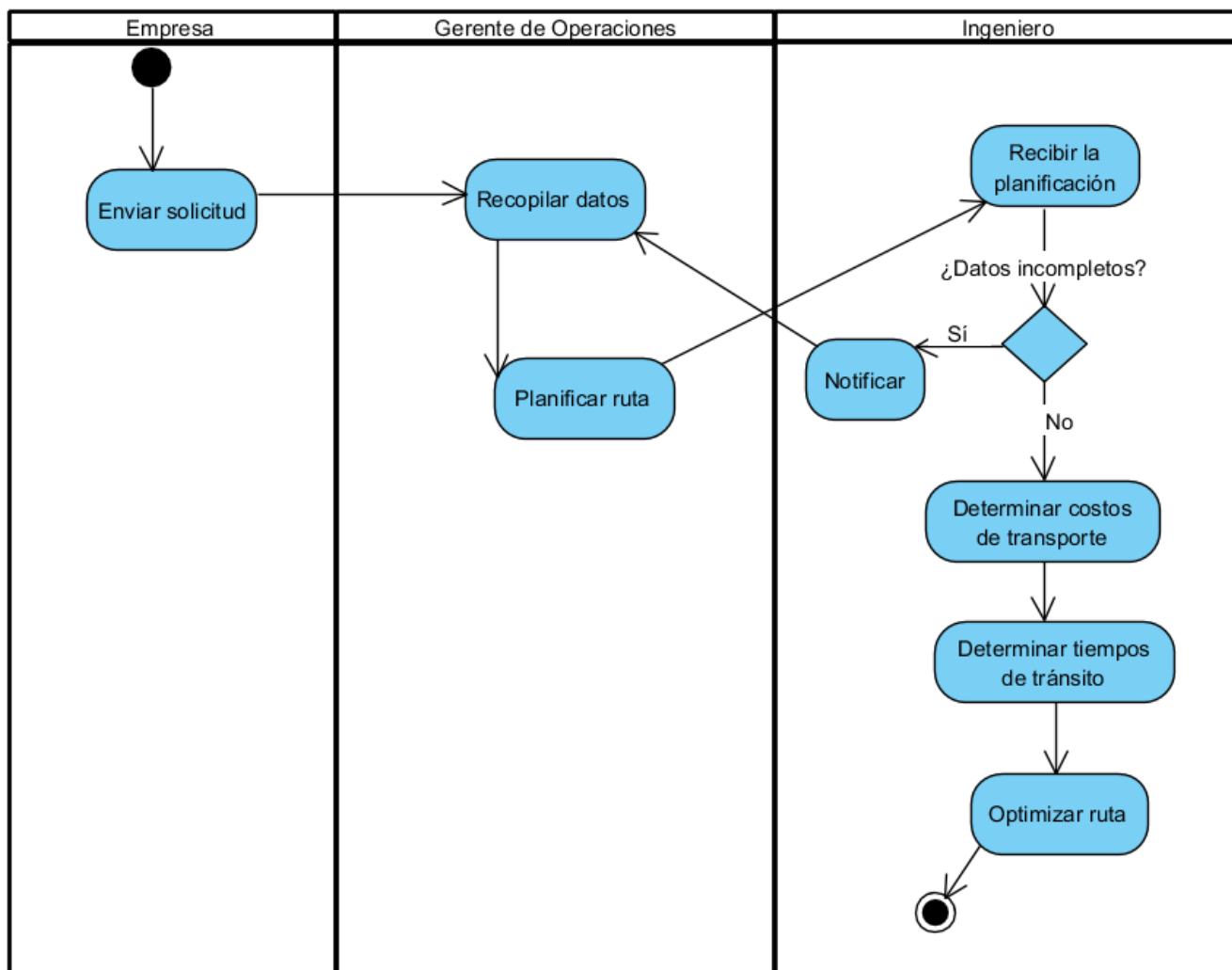


Figura 2 Diagrama de actividades 1

Variables de decisión

Matriz de variables de decisión: X

Es la matriz de variables más importante del modelo. Es una matriz de 4 dimensiones, cada una de las cuales representa el puerto de salida, el puerto de llegada, el tiempo y la mercancía respectivamente. Cada elemento de la matriz es una variable binaria, que representa si una ruta es tomada por una mercancía específica. Por ejemplo, el elemento $X_{i,j,t,k}$ representa si la mercancía k viaja del puerto i al puerto j en el momento t .

Matriz de uso de rutas: Z

Una matriz de variables utilizada para apoyar la matriz de variables de decisión. Es una matriz de 3 dimensiones, donde cada dimensión representa el puerto de inicio, el puerto final y el tiempo respectivamente. Cada elemento de la matriz es una variable binaria, que representa si una ruta se utiliza o no. Por ejemplo, $Z_{i,j,t}$ representa si la ruta del puerto i al puerto j en el momento t se utiliza o no (independientemente de la mercancía).

II.1.1 Preprocesamiento de los datos

Dimensión y matricialización

Para una mayor claridad en la lógica de los criterios y una mayor eficiencia en el cálculo, aplicamos el concepto de matricialización para construir los componentes necesarios en este modelo. En este contexto, el modelo consta de un total de 4 dimensiones:

Puerto de salida: i

Indica el puerto de inicio de una ruta de transporte directa. La longitud de la dimensión es igual al número total de puertos de los datos.

Puerto final: j

Indica el puerto final de una ruta de transporte directo. La longitud de la dimensión es igual al número total de puertos de los datos.

Hora: t

Indica la hora de salida de un transporte directo. La longitud de la dimensión es igual al número total de días transcurridos entre la fecha de pedido más temprana y la fecha límite de entrega más tardía de todas las mercancías de los datos.

Mercancía: k

Indica las mercancías que se van a transportar. La longitud de la dimensión es igual al número total de mercancías de los datos.

Supuestos

Antes de seguir, hay que hacer algunas suposiciones para simplificar el caso, porque los problemas de entrega del mundo real constan de demasiados factores no medibles que

pueden afectar al proceso de entrega y a los resultados finales. Estas son las principales hipótesis:

- El proceso de entrega es determinista, no aparecerá ningún efecto aleatorio en el plazo de entrega ni en el costo, etc.
- No tienen herramienta de transporte disponible entre cada dos puertos. Por ejemplo, se puede ir directamente de un aeropuerto a otro en ciudades diferentes en avión, mientras que el viaje directo en barco, ferrocarril o camión es factible.
- La unidad mínima de tiempo en el modelo es el día.
- El costo global se limita a las dos partes más importantes: costo de transporte y reducir el tiempo.

II.1.2.Transformación de los datos

Parámetros

- Costo fijo de la ruta: FC

Matriz de parámetros de 3 dimensiones, cada una de las cuales representa el puerto de salida, el puerto de llegada y la hora. $FC_{i,j,t}$, en la matriz representa el costo fijo de transporte para viajar del puerto i al puerto j en el momento t, independientemente del número de mercancías o del volumen.

- Tiempo de transporte: T

Matriz de parámetros de 3 dimensiones, cada una de las cuales representa el puerto inicial, el puerto final y el tiempo. $T_{i,j,t}$. En la matriz representa el tiempo total de transporte desde el puerto i al puerto j en el momento t.

- Valor de la mercancía: val

Matriz unidimensional con la dimensión mercancía val_k representa el valor de la mercancía k.

- Fecha del pedido: ord

Matriz unidimensional con la dimensión mercancía ord_k representa la fecha de pedido de la mercancía k.

- Puerto de origen: OP

Matriz unidimensional con la dimensión mercancía OP_k representa el puerto de origen de las mercancías k.

- Puerto de destino: DP

Un array unidimensional con dimensión mercancía DP_k representa el puerto de destino de la mercancía k.

- Fecha: ddl

Una matriz unidimensional con productos dimensionales ddl_k representa la fecha límite de entrega de la mercancía k.

II.1.3. Modelo computacional para el cálculo de rutas

La función objetivo es minimizar el costo total del transporte y el tiempo de tránsito. Por lo tanto, la función objetivo será la suma de los costos de transporte y los tiempos de tránsito para todas las mercancías, rutas y modos de transporte. A continuación se muestra la formulación matemática:

$$\min_{x,z} Transportation\ Cost + TaxCost$$

$$Transportation\ Cost = \sum_t \sum_j \sum_i Z_{i,j,t} \times FC_{i,j,t}$$

$$Tax\ Cost = val_k + \sum_i \sum_j \left(\sum_t \sum_k c_{i,j,t,k} \times val_k \right)$$

Restricciones

Para cada mercancía k, debe ser enviada desde su origen a otro nodo y enviada a su destino.

$$\sum_t \sum_j x_{OP_k, j, t, k=1, \forall k}$$

$$\sum_t \sum_i x_{i, DP_k, t, k=1, \forall k}$$

Para cada mercancía k , no se puede enviar desde su destino ni enviar a su origen.

$$\sum_t \sum_i x_{i, OP_k, t, k=0, \forall k}$$

$$\sum_t \sum_j x_{DP_k, j, t, k=0, \forall k}$$

Para cada mercancía k en el punto de transición j (ni origen ni destino), los tiempos de entrada deben ser iguales a los tiempos de salida.

$$\sum_t \sum_i x_{i, j, t, k} = \sum_t \sum_i x_{i, j, t, k}, \forall k, j \text{ s.t. } j \neq OP_k, j \neq DP_k$$

Cada mercancía k sólo puede entrar o salir de un puerto como máximo una vez.

$$\sum_t \sum_j x_{i, j, t, k} \leq 1, \forall k, i$$

$$\sum_t \sum_i x_{i, j, t, k} \leq 1, \forall k, j$$

Para cada mercancía k en el puerto de transición j , la hora de salida debe ser posterior a la de entrada. Para la mercancía k en su puerto de origen, la hora de salida debe ser posterior a la fecha de pedido.

$$\sum_j \sum_t t \times x_{i, j, t, k} - \sum_j \sum_t (t \times x_{i, j, t, k} + T_{j, i, t} \times x_{j, i, t, k}) \geq 0, \forall k, i \text{ s.t. } i \neq OP_k, i \neq DP_k$$

$$\sum_j \sum_t t \times x_{OP_k,j,t,k} - \sum_j \sum_t (t \times x_{j,OP_k,t,k} + T_{j,OP_k,t} \times x_{j,OP_k,t,k}) \geq ord_k, \forall k$$

Para cada mercancía k , debe enviarse a su puerto de destino antes de la fecha límite de entrega.

$$\sum_t \sum_i t \times x_{i,DP_k,t,k} + T_{i,DP_k,t} \times x_{i,DP_k,t,k} \leq ddl_k, \forall k$$

II.2. Propuesta de solución

Como propuesta de solución se obtendrá una herramienta en la cual el usuario debe introducir una serie de variables para crear una ruta como: la ruta de origen y destino, el transportista que se encargará de transportar la mercancía, el modo de viaje, (si es por tren, mar o aéreo), el costo y el tiempo, para crear una ruta. Posteriormente para crear la orden debe seleccionar el lugar de origen y destino, introducir la mercancía a trasladar y su valor, la fecha de entrega y el porcentaje de impuesto. A continuación se muestra un diagrama de actividades de la propuesta de solución:

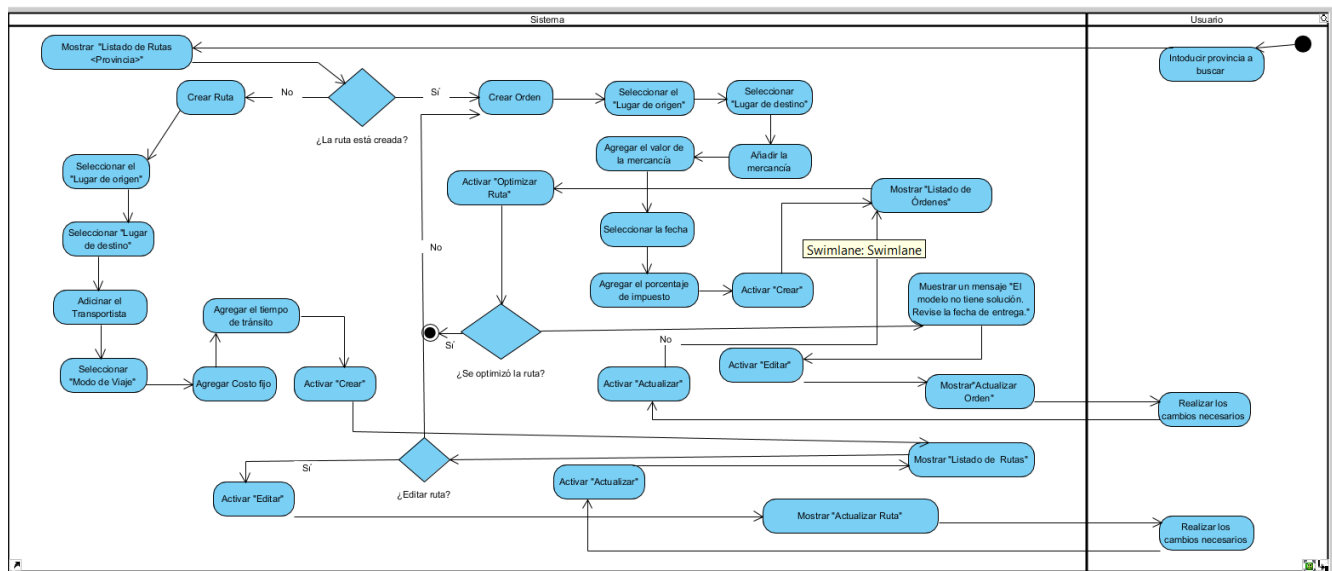


Figura 3 Diagrama de actividades de la propuesta de solución

La siguiente tabla muestra la representación escrita o pasos a seguir de un fragmento del algoritmo de optimización de orden.

Tabla 2 Método de OrderOptimized

Datos de entrada	optimize_route
Proceso	1. Definir una función llamada "optimize_route" que toma el objeto "self" como parámetro y no devuelve nada. 2. Obtener el pedido en formato de marco de datos y almacenarlo en la variable "order". 3. Obtener las rutas en formato de marco de datos y almacenarlas en la variable "routes". 4. Crear un objeto de optimización llamado "m". 5. Intentar: a. Establecer los parámetros de "m" utilizando las rutas y el pedido. b. Construir el modelo de optimización. c. Resolver el modelo de optimización. 6. Capturar cualquier excepción y manejarla. a. Verificar si ya existe una instancia de "OrderOptimized" relacionada con el pedido actual. b. Si existe, actualizar la instancia con un mensaje de error indicando que el modelo no tiene solución. También establecer el atributo "solved" en False. c. Si no existe, crear una nueva instancia de "OrderOptimized" con el pedido actual y un mensaje de error. 7. Intentar: a. Obtener la solución del modelo "m" en formato de texto. b. Obtener la instancia de "OrderOptimized" relacionada con el pedido actual. c. Si existe, actualizar la instancia con la solución obtenida y establecer el atributo "solved" en True. d. Si no existe, crear una nueva instancia de "OrderOptimized" con el pedido actual y la solución obtenida. 8. Capturar una excepción específica llamada "NotSolvable" y manejarla. a. Obtener la instancia de "OrderOptimized" relacionada con el pedido actual. b. Si existe, actualizar la instancia con un mensaje de error obtenido de la excepción y establecer el atributo "solved" en False. c. Si no existe, crear una nueva instancia de "OrderOptimized" con el pedido actual y el mensaje de error obtenido de la excepción.

Conclusiones del capítulo

Se definieron las metas y procedimientos para poder guiar el modelo matemático según la secuencia de la metodología KDD. Para la obtención de los datos se caracteriza y selecciona algunas suposiciones para simplificar el caso, porque los problemas de entrega del mundo real constan de demasiados factores no medibles que pueden afectar al proceso de entrega y a los resultados finales, se proponen los parámetros a utilizar, la función objetivo, y las restricciones sujetas al problema planteado.

CAPÍTULO III: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

III.1. Estrategia de pruebas

La estrategia de pruebas de software desempeña un papel crucial en la detección y corrección de defectos, así como en la mitigación de riesgos asociados al desarrollo de sistemas. Esta estrategia no solo abarca las técnicas y métodos para evaluar la calidad del producto, sino que también se enfoca en cómo estas prácticas se integran eficazmente en el ciclo de vida del software.

Tabla 3 Estrategia de prueba

Pruebas	Métodos	Herramienta	Alcance
Unitaria	Caja Blanca	Módulo django.test del framework Django	Se automatizarán pruebas para las unidades de código separadas por módulos.
Estudios de caso	Observación	-	Se eliminarán los errores de optimización del algoritmo principal.
Seguridad	Caja Negra	OWASP ZAP 2.12.0	Se aplicará para detectar vulnerabilidades de seguridad en el sistema.
Aceptación		-	Proporcionar una serie de casos que representen situaciones problemáticas diversas.

III.1.1. Pruebas de software

Las pruebas de software sirven para detectar los defectos del sistema y reducir los riesgos asociados. Permiten el aseguramiento de la calidad para lograr la satisfacción del cliente y tiene un impacto directo en el costo y el desarrollo del producto. Garantizando que el software y los procesos en el ciclo de vida se ajustan a las necesidades específicas.

III.2. Pruebas unitarias

Las pruebas unitarias son una forma de probar pequeñas e individuales porciones de código.

A través de ellas se puede verificar que determinado módulo o funcionalidad se ejecuta dentro de los parámetros y especificaciones concretadas en los requisitos. El objetivo principal de una prueba unitaria es comprobar el correcto funcionamiento de una unidad de código.

Caja blanca

En este trabajo se utilizaron las técnicas de caja blanca para probar el código de los modelos proporcionados. Se realizaron múltiples pruebas para cada uno de los modelos, incluyendo Location, Order, OrderOptimized y Route, para garantizar su estabilidad y confiabilidad en un ambiente de producción. Estas pruebas verifican que las etiquetas de los campos son correctas. En el modelo Location el método `__str__` el cual devuelva una cadena formada por el valor de province y port_type de la instancia de Location funciona como se espera. El modelo Order y OrderOptimized, verifica que la propiedad `to_calculate` del modelo Location devuelve el valor esperado, se espera que `to_calculate` devuelva una cadena formada por el valor de province y port_type de la instancia de Location. En el modelo Route, en este caso, se espera que el método `__str__` devuelva una cadena formada por el valor de source y destination de la instancia de Route.

Resultados de las pruebas aplicadas

Se realizaron dos iteraciones, en la primera se completaron con éxito 13 pruebas unitarias y 1 error con un tiempo de 0.218 segundos, en la segunda iteración los resultados de las pruebas fueron positivos, con un total de 14 pruebas, lo que indica que el sistema ha pasado con éxito todas las pruebas establecidas. Esto es una excelente noticia ya que significa que el sistema funciona de manera eficiente y efectiva como muestran los resultados en la figura 4

```
(env) D:\escritorio\tesis\proyecto\Multi-modal-Transportation>python manage.py test --pattern="tests_*.py"
Found 14 test(s).
Creating test database for alias 'default'...
System check identified no issues (0 silenced).
.....
-----

OK
Destroying test database for alias 'default'...
```

Figura 4 Resultados de las pruebas unitarias

III.3. Pruebas de estudio de caso

Se simulará un caso donde se tiene que trasladar cemento desde el almacén de Pinar del Río hasta el puerto de Camagüey, en un tiempo de 34 horas, un costo fijo de \$262 y esta ruta tiene que pasar por tres nodos(provincias). El primer recorrido partirá desde el almacén de Pinar del Río hasta el almacén de La Habana en un total de 4 horas, con un costo fijo de \$96 y la empresa encargada de trasladar la mercancía es Almacenes Universales. El segundo recorrido partirá desde el almacén de La Habana hasta el puerto de Matanzas en 6 horas, con un costo de \$ 120 y el transportista será el mismo de la ruta anterior. Por último, se trasladará desde el puerto de Matanzas hasta el puerto de Camagüey en un tiempo de 24 horas, un costo de \$46 y en esta ocasión el transportista será una MYPIME.

Orden #17
\$15000 / cemento

→ Origen: Pinar del Río Almacén

→ Destino: Camagüey Puerto

→ Fecha: Nov. 25, 2023

→ Fecha de entrega requerida: Nov. 28, 2023

→ Porcentaje de impuesto: 0.0

Editar

Eliminar

Optimizar Ruta

Ruta óptima:

 Fecha: 2023-11-25

(1) Desde: Pinar del Río Almacén
Hasta: La Habana Almacén

 Fecha: 2023-11-26

(2) Desde: La Habana Almacén
Hasta: Matanzas Puerto

 Fecha: 2023-11-27

(3) Desde: Matanzas Puerto
Hasta: Camagüey Puerto

Figura 5 Resultado de la ruta optimizada

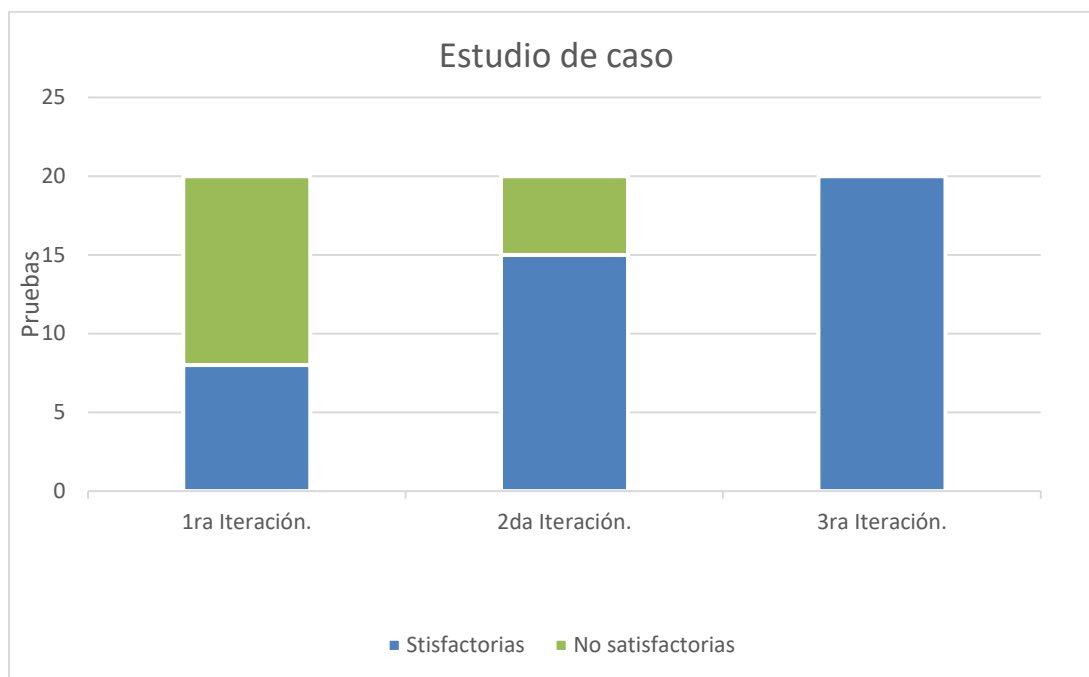


Figura 6 Resultados de las pruebas estudio de caso

La figura 6 muestra los resultados de las pruebas realizadas a la herramienta, se refleja un incremento de la efectividad, disminuyendo en cada iteración la cantidad de no conformidades. Se realizaron un total de 20 pruebas, en la primera iteración se presentaron 8 satisfactorias y 12 no satisfactorias, en la siguiente iteración se arreglaron los errores anteriores y 7 errores más, terminando en ese instante con un total de 5 defectos, posteriormente todas las no conformidades pendientes de la segunda iteración fueron resueltas con éxitos.

III.4. Pruebas de seguridad

Para garantizar la integridad y la seguridad de la infraestructura digital del proyecto, se implementó un riguroso proceso de evaluación de seguridad utilizando la reconocida herramienta OWASP ZAP versión 2.12.0. Esta herramienta, ampliamente respetada en la industria de la ciberseguridad. Permitió realizar un análisis exhaustivo y detallado de la plataforma, identificando posibles vulnerabilidades y áreas de mejora desde una perspectiva de seguridad.

En la primera iteración de las pruebas de seguridad, los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios. A través de esta evaluación, se pudo validar la efectividad de las estrategias de

seguridad y asegurar de que la aplicación se encuentra en un estado de fortaleza frente a posibles amenazas. No obstante, es importante destacar que, como en cualquier evaluación de seguridad, se identificaron ciertas áreas que requieren atención y consideración adicional, mostrado en la tabla 4.

Tabla 4 Resultado de Prueba de Seguridad

Alerta	Riesgo	Confianza	Descripción	Solución
Amplia gama de Cookies	Informacional	Baja	No se encontraron fichas (tokens) Anti-CSRF en un formulario HTML. Una solicitud falsa entre sitios en un ataque que compromete y obliga a una víctima a enviar su solicitud HTTP a un destino objetivo sin su conocimiento o intención para poder realizar una acción como víctima. La causa oculta es la funcionalidad de la aplicación utilizando acciones de URL/formulario que pueden ser adivinados de forma repetible. La naturaleza del ataque es que CSRG explota la confianza que un sitio web proporciona a un usuario. Por el contrario, las cadenas de comandos de los sitios cruzados (XSS) explotan la confianza que un usuario proporciona en un sitio web. Al igual que XSS, los ataques CSRG no son de forma necesaria de sitios cruzados, pero hay la posibilidad de que si pueden serlo. La falsificación de las solicitudes entre los sitios también se conocen como CSRF, XSRG, ataques con un solo clic, montaje de sesión, diputado confundido y navegación en alta mar.	Frase: Arquitectura y Diseño Utilice una biblioteca o marco comprobado que no acepte que ocurra esta debilidad o que proporcione construcciones que permitan que esta debilidad sea más sencilla de evitar. Por ejemplo, utilice el paquete anti-CSRG como el CSRGuard de OWASP. Fase: Implementación Asegúrese de que su aplicación esté libre de fallas de secuencias de comandos entre sitios, ya que la mayoría de las defensas de CSRF pueden detenerse por alto por medio del uso de secuencias de comandos manejadas por el atacante. Fase: Arquitectura y Diseño Origina un nonce único para cada uno de los formularios, coloque el nonce en el formulario y confirme la independencia al obtener el formulario. Asegúrese de que el

			Los ataques de CSRG son muy efectivos en varias situaciones, que incluyen: La víctima tiene una sesión activa en el sitio de destino. La víctima se autoriza por medio de la autenticación HTTP en el sitio de destino. La víctima se encuentra en la misma red local que el sitio de destino. CSRF se ha utilizado especialmente para poder realizar una acción contra un sitio objetivo utilizando los privilegios de la víctima, pero se han revelado técnicas recientes para difundir información al obtener el acceso a la respuesta. El riesgo de divulgación de información aumenta de forma drástica cuando el sitio de destino se encuentra vulnerable a XSS, porque XSS se puede utilizar como una plataforma para CSRF, lo que le permite al atacante que opere desde adentro de las leyes de la misma política de origen.	nonce no sea predecible (CWE-330). Usted tiene que tener en cuenta que esto puede pasar desapercibido utilizando XSS. Identificar las operaciones que sean especialmente peligrosas. Cuando el usuario desarrolla una operación peligrosa, envíe una solicitud de confirmación de forma separada para poder garantizar que el usuario tenga la intención de desarrollar esa operación. Usted tiene que tener en cuenta que esto puede pasar desapercibido utilizando XSS. Utilice el control de gestión de la sesión de ESAPI. Este control introduce un elemento para CSRF. No utilice el método GET para ninguna de las solicitudes que puedan desencadenar un cambio de estado. Fase: Implementación Revise que la solicitud se creó en la página esperada. Esto podría quebrar la funcionalidad auténtica, ya que los usuarios o los representantes puede ser que hayan desactivado el envío de Referer por motivos de privacidad.
--	--	--	--	--

Divulgación de información - Comentarios sospechosos	Informacional	Baja	La respuesta parece contener comentarios sospechosos que pueden ayudar a un atacante. Nota: Las coincidencias realizadas dentro de bloques o archivos de secuencias de comandos se refieren a todo el contenido, no solo a los comentarios.	Eliminar todos los comentarios que devuelvan información que podría ayudar a un atacante y arreglar cualquier problema subyacente al que se refieran.
Server Leaks Version Information via "Server" HTTP Response Header Field	Informacional	Baja	El servidor web/de aplicaciones está filtrando información de la versión a través del encabezado de respuesta HTTP "Servidor". El acceso a dicha información puede facilitar que los atacantes identifiquen otras vulnerabilidades a las que está sujeto su servidor web/aplicaciones.	Asegúrese de que su servidor web, servidor de aplicaciones, equilibrador de carga, etc. esté configurado para suprimir el encabezado "Servidor" o proporcionar detalles genéricos.

III.5. Pruebas de funcionalidad

Las pruebas funcionales son diseñadas tomando como referencia las especificaciones funcionales de un componente o sistema (lo que vamos a probar, el software o una parte de él). Se realizan para comprobar si el software cumple las funciones esperadas. Las pruebas funcionales se basan en la ejecución, revisión y retroalimentación de las funcionalidades previamente diseñadas para el software. El objetivo principal de las pruebas funcionales es analizar el producto terminado y determinar si hace todo lo que debería hacer y si lo hace correctamente. El método utilizado para llevar a cabo este tipo de prueba es caja negra.

Tabla 5 Descripción de las variables utilizadas en el caso de pruebas

N o	Nombre de campo	Clasificación	Descripción
1	Crear Ruta	Campo de selección	Seleccionar la entidad a generar.
	Lugar de origen	Campo de selección	Selecciona la provincia de origen Se genera automáticamente la

			ruta de la entidad que fue seleccionada.
	Lugar de destino	Campo de selección	Selecciona la provincia de destino
	Transportista	Campo de texto	Introduzca el transportista deseado
	Modo de viaje	Campo de selección	Seleccione el modo de viaje
	Costo fijo	Campo de texto	Introduzca un número
	Tiempo de tránsito	Campo de texto	Introduzca un número
2	Crear orden	Campo de selección	Seleccionar la entidad a generar
	Lugar de origen	Campo de selección	Selecciona la provincia de origen
	Lugar de destino	Campo de selección	Selecciona la provincia de destino
	Mercancía	Campo de texto	Introduzca la mercancía a transportar
	Valor de la mercancía	Campo de texto	Introduzca un número
	Fecha de entrega requerida	Campo de texto	Introduzca la fecha que tiene que ser entregada la mercancía
	Porcentaje de impuesto	Campo de texto	Introduzca un número

Tabla 6 Resultado de la prueba de funcionalidad: Crear Ruta

Escenario	Descripción	Lugar de origen	Lugar de destino	Transportista	Modo de Viaje	Costo Fijo	Tiempo de Tránsito	Respuesta del sistema
EC 1.1 Crear Ruta	Permite crear la ruta para la entrega	V	V	V	V	V	V	La herramienta crea la ruta correctamente
		La habana aeropuerto	Granma Estación de tren	Coca Cola	Tren	5	16	

Flujo central

1. Seleccionar del menú el lugar de origen
2. Selecciona el lugar de destino
3. Escribe el transportista
4. Selecciona el modo de viaje
5. Escribir el costo fijo
6. Escribir el tiempo de tránsito

Tabla 7 Resultado de la prueba de funcionalidad: Crear Orden

Escenario	Descripción	Lugar de origen	Lugar de destino	Mercancía	Valor de la mercancía	Fecha de entrega requerida	Porcentaje de impuesto	Respuesta del sistema
EC 1.2 Crear Orden	Permite crear la orden para la entrega	V	V	V	I	V	V	La herramienta muestra el mensaje
		La habana Almacén	Matanzas aeropuerto	Tomate		200	16	

								“Completa este campo”.
--	--	--	--	--	--	--	--	------------------------

Flujo central
1. Seleccionar del menú el lugar de origen 2. Selecciona el lugar de destino 3. Escribe la mercancía 4. Escribe el valor de la mercancía 5. Selecciona la fecha de entrega requerida 6. Escribir el porcentaje de impuesto

CREAR RUTA

Lugar de origen:

Seleccione el origen
 ▼

Lugar de destino:

Seleccione el destino
 ▼

Transportista:

Modo de Viaje:

 ▼

Costo Fijo:

0

Tiempo de Tránsito:

Crear

Figura 7 Escenario de prueba: Crear Ruta

CREAR ORDEN

Lugar de origen:

Seleccione el origen

Lugar de destino:

Seleccione el destino

Mercancía:

Valor de la mercancía:

Fecha de entrega requerida:

dd/mm/aaaa

Porcentaje de impuesto:

0

Crear

Figura 8 Escenario de prueba: Crear Orden

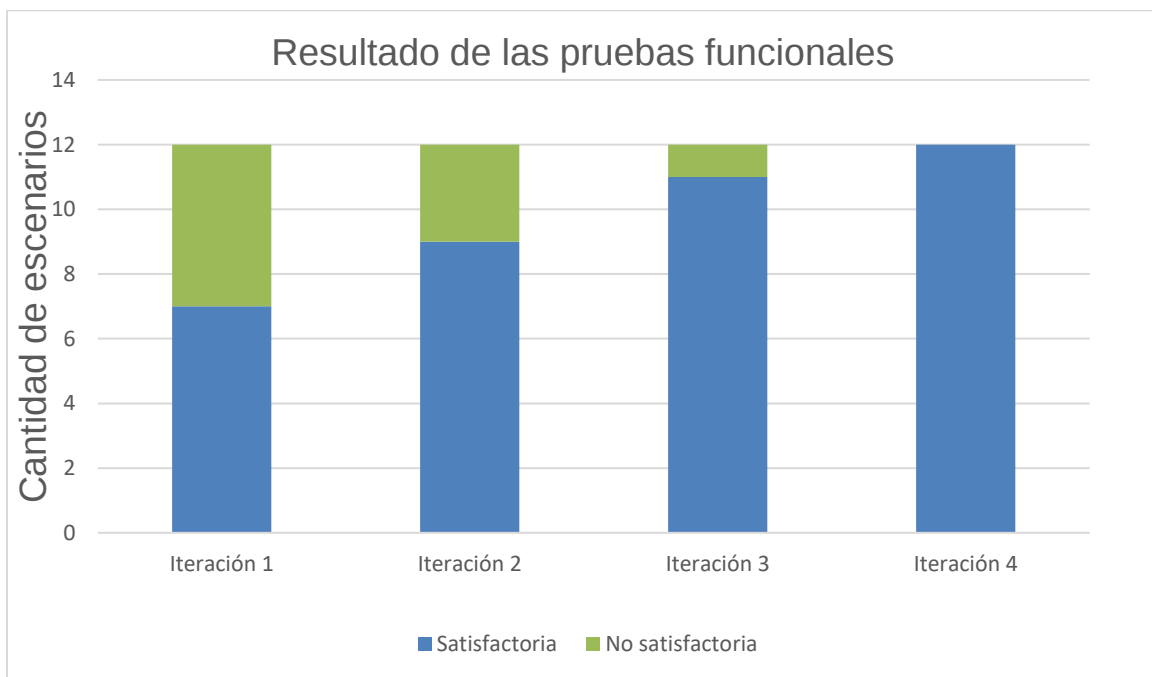


Figura 9 Resultado de las pruebas funcionales.

Se ejecutaron un total de 12 pruebas, teniendo como resultado en la primera iteración 5 errores y 7 correctas. En la segunda iteración se realizaron 9 pruebas satisfactorias y 3 no satisfactorias, todas las no conformidades pendientes de la primera iteración fueron resueltas. En la tercera iteración se corrigieron los problemas de la iteración anterior y se detectó solo una prueba no satisfactoria. Por último, se repitieron todas las pruebas resultando la herramienta 100% funcional.

III.6. Prueba de aceptación

Para verificar que la creación de rutas y órdenes fueron satisfactorias se realizó una prueba de aceptación sobre 6 rutas y 3 órdenes que se añadieron en la herramienta, teniendo como requisitos que los datos a introducir no existan en la base de datos. A continuación, se muestran dos ejemplos, uno de la creación de ruta y otro de la creación de órdenes.

Orden #19

\$80000 / arina

→ Origen: Artemisa Almacén

→ Destino: Granma Puerto

→ Fecha: Nov. 25, 2023

→ Fecha de entrega requerida: Dec. 2, 2023

→ Porcentaje de impuesto: 5.0

[Editar](#)
[Eliminar](#)
[Optimizar Ruta](#)

Ruta óptima:

Fecha: 2023-11-25
 (1) Desde: Artemisa Almacén
 Hasta: La Habana Almacén

Fecha: 2023-11-26
 (2) Desde: La Habana Almacén
 Hasta: Matanzas Estación de Tren

Fecha: 2023-11-27
 (3) Desde: Matanzas Estación de Tren
 Hasta: Ciego de Ávila Estación de Tren

Fecha: 2023-11-28
 (4) Desde: Ciego de Ávila Estación de Tren
 Hasta: Camagüey Almacén

Fecha: 2023-11-29
 (5) Desde: Camagüey Almacén
 Hasta: Camagüey Puerto

Fecha: 2023-11-30
 (6) Desde: Camagüey Puerto
 Hasta: Granma Puerto

Origen:
La Habana Almacén

Destino:
Matanzas Estación de Tren

Costo: \$15

Tipo de transporte:
Camión

Transportista: Mariel
 Tiempo de Tránsito: 8 horas

[Editar](#)
[Eliminar](#)

Origen:
Matanzas Estación de Tren

Destino:
Ciego de Ávila Estación de Tren

Costo: \$10

Tipo de transporte:
Ferrocarril

Transportista: Ferro
 Tiempo de Tránsito: 7 horas

[Editar](#)
[Eliminar](#)

Figura 10 Camino optimizado

Conclusiones del capítulo

Los resultados de la experimentación permitieron definir la efectividad de la herramienta de optimización del transporte multimodal. El modelo presentó algunas inconformidades que se le fue dando solución, las cuales se pudieron resolver con éxito durante el transcurso del tiempo, para ello se utilizaron las pruebas unitarias, estudio de caso, de seguridad, funcionalidad y de aceptación, todas dando al final del ciclo resultados con exitosos y eficientes.

CONCLUSIONES FINALES

Al concluir la investigación para el desarrollo de la herramienta de optimización del transporte multimodal de la cadena de suministro se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

- Se registró las bases teóricas necesarias para comprender el contexto del transporte multimodal, los problemas existentes, se proporcionó las herramientas y conocimientos fundamentales para el desarrollo del sistema propuesto.
- Se propuso el modelado matemático necesario para representar y optimizar el sistema de transporte multimodal. Se plantean suposiciones y el diseño de matrices para almacenar los datos relevantes del sistema. Además, se establecen las variables de decisión y el uso de rutas.
- Se llevó a cabo evaluaciones y pruebas para obtener resultados que permitan ajustar de manera óptima la herramienta de optimización del transporte multimodal. Estos ajustes tienen como objetivo mejorar la precisión en la optimización de las rutas. Con esto, se espera lograr un sistema más eficiente y efectivo para el transporte multimodal, brindando a los usuarios una solución precisa y confiable para sus necesidades de transporte.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de enriquecer la herramienta de optimización del transporte multimodal se recomienda enfocar futuras investigaciones:

- Agregar un autenticar usuario y definir roles.
- Al modelo matemático agregarle otras variables, restricciones y suposiciones para incrementar el modelo y alcanzar una mayor eficiencia.
- Añadir un mapa en tiempo real de la mercancía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbassi, A., Alaoui, A. E. H., & Boukachour, J. (2019). Robust optimisation of the intermodal freight transport problem: Modeling and solving with an efficient hybrid approach. *Journal of Computational Science*, 30, 127-142. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2018.12.001>
- Abril Rubio, A. (2014). *DDP_AbrilA_Transportemultimodal.pdf*.
https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/127297/DDP_AbrilA_Transportemultimodal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alemán, P. Z. (1999). *La responsabilidad en el transporte multimodal*.
- Alicia Munín Doce. (2022). *Optimización de flotas de portacontenedores para rutas multimodales en la costa Atlántica Europea*.
- Antonio Lorenzo Espejo. (2023). *Optimización de procesos logísticos. Planificación de recursos materiales y humanos en una terminal portuaria*.
- Cárdenas, J. N. O. (2014). *El transporte en general y el transporte multimodal: ¿en búsqueda de nuevos marcos conceptuales?*
- Cardona, R., & Gómez, E. (2017). *V27-rigolreyes.pdf*. <https://www.ascecubadatabase.org/wp-content/uploads/2018/01/v27-rigolreyes.pdf>
- Chopra, S. (2013). *Administración de la cadena de suministro*.
- Claes, S. J. (2021). *Diseño y aplicacion de tecnicas metaheurísticas en transporte multimodal.pdf*.
- Dorta-González, P. (2014). *TRANSPORTE Y LOGÍSTICA INTERNACIONAL*.

- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data. *Communications of the ACM*, 39(11), 27-34.
<https://doi.org/10.1145/240455.240464>
- Features—PyCharm. (2023). JetBrains. <https://www.jetbrains.com/pycharm/features/>
- FERNANDEZ, A. (2013). *Python 3 al descubierto—2a ed.* Alfaomega Grupo Editor.
- Häring, G. (2023). *Sqlite3—DB-API 2.0 interfaz para bases de datos SQLite—Documentación de Python—3.8.17.* <https://docs.python.org/es/3.8/library/sqlite3.html>
- Holovaty, A., & Willison, S. (2005, 2023). *Django overview.* Django Project.
<https://www.djangoproject.com/start/overview/>
- Lafosse, J. (2010). *Struts 2: El framework de desarrollo de aplicaciones Java EE.* Ediciones ENI.
- Larrauri González, I. (2021). *Arquitectura de la soluci.*
- Lasso-Cardona, L. A. (2023). *Computational simulation and voracious algorithm to calculate the least cost route.* 28(02).
- Markets, R. and. (2020, octubre 6). *Global Multimodal Freight Transportation Market (2020 to 2025)—Featuring FedEx, Dascher & Sinotrans Among Others.* GlobeNewswire News Room. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/06/10/2046176/28124/en/Global-Multimodal-Freight-Transportation-Market-2020-to-2025-Featuring-FedEx-Dascher-Sinotrans-Among-Others.html>
- Mathers, J., Ph.D., E. C., Norsworthy, M., & Wolfe, C. (2014). *The-Green-Freight-Handbook-EDF.pdf.* <https://www.cadenadesuministro.es/wp-content/uploads/2015/07/The-Green-Freight-Handbook-EDF.pdf>

- Medina, B. A., Sierra, J. E., & López, J. L. (2020). *Propuesta de un sistema de telemetría para mediciones remotas y en tiempo real en un sistema de transporte multimodal*.
- Ojeda Montoya, J. F. (2023). *KDD (Knowledge Discovery in Databases): Descubriendo el Conocimiento en los Datos*. <https://es.linkedin.com/pulse/kdd-knowledge-discovery-databases-descubriendo-el-en-ojeda-montoya>
- Peña, C. A. R., & Cardona, B. R. R. (2017). *ESTADO DE LA EXPLOTACIÓN TÉCNICA DE LOS CAMIONES NORTH BENZ DE LA UEB SERVICAR HOLGUÍN DURANTE EL AÑO 2017*.
- Pertuz, C. M. P. (2022). *Aprendizaje automático y profundo en Python*. Ra-Ma Editorial.
- Riquelme, J. C., Ruiz, R., & Gilbert, K. (2006). *Minería de Datos: Conceptos y Tendencias*. 10(29).
- Rodríguez Baena, L. (2013). *FIPO06-CSS.pdf*.
<http://www.colimbo.net/documentos/documentacion/fipo/FIPO06-CSS.pdf>
- Saavedra, J. A. (2023, marzo 22). *¿Qué es HTML5 y para qué sirve?* Ebac.
<https://ebac.mx/blog/que-es-html5>
- Salinas Hernández, R. (2013, julio 15). *CAPÍTULO+2.- +Introducción+a+la+logística+de+transporte.Metodología+analógica+frente+a+modelado+por.pdf*.
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/30193/fichero/CAP%C3%8DTULO+2.-+Introduci%C3%B3n+a+la+log%C3%ADstica+de+transporte.Metodolog%C3%ADa+anal%C3%B3gica+frente+a+modelado+por.pdf>
- Salvadó, C., Calama, C., & Sánchez, G. (2021, abril 26). *Software optimizador de rutas | HedyLa*. <https://hedyLa.com/optimizador-de-rutas/>

- Santander, B. (2020). *Metodologías de desarrollo de software: ¿qué son?* <https://www.becas-santander.com/es/blog/metodologias-desarrollo-software.html>
- shipsy. (2022, noviembre 14). *Shipsy—The World’s Leading Logistics Software Provider*. Shipsy. <https://shipsy.io/blogs/addressing-five-multimodal-logistics-challenges/www.shipsy.io>
- SimpliRoute | Software de logística*. (2023). Simpliroute. <https://simpliroute.com/es>
- Sphinx, & Alabaster. (2023). *Bienvenido a CVXPY 1.4—Documentación de CVXPY 1.4*. <https://www.cvxpy.org/>
- TCOS. (2023). *Optimizar Rutas y Tareas | Software ERP Profesional—TCOS*. tcos.es. <https://tcos.es/>
- Transportation Management and Logistics System | TMS*. (2023). SAP. <https://www.sap.com/products/scm/transportation-logistics.html>
- Transportation Resource Planning*. (2023). SAP. <https://www.sap.com/products/scm/transportation-resource-planning.html>
- Udomwannakhet, J., Vajarodaya, P., Manicho, S., Kaewfak, K., Ruiz, J. B., & Ammarapala, V. (2018). A review of multimodal transportation optimization model. *2018 5th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)*, 333-338. <https://doi.org/10.1109/ICBIR.2018.8391217>
- UFV, C. (2023, enero 27). Gestión logística ¿Qué es? - CETYS. *Formación profesional UFV*. <https://www.ufv.es/cetys/blog/gestion-logistica/>
- Villar, C. G. P. (1998). Nuevas Normas sobre Transporte Multimodal Internacional, Las. *Revista Chilena de Derecho*, 1998 Special Issue, 405.

Visual Paradigm. (2022). *Herramienta ideal de modelado y diagramación para una colaboración ágil en equipo*. <https://www.visual-paradigm.com/>

Zubizarreta, Á. G. (2016). *Estudio del transporte de mercancías IMDG en contenedor y análisis de los riesgos actuales*.