

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



MEJORA EN EL ANÁLISIS DE COBERTURA Y GESTIÓN EN LOS TERMINALES PORTUARIOS DEL LITORAL PERUANO

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial
Artículo Científico

Pedro Junior Saavedra Idrogo
Código 20181718

Asesor

José Antonio Taquía Gutiérrez

Lima – Perú

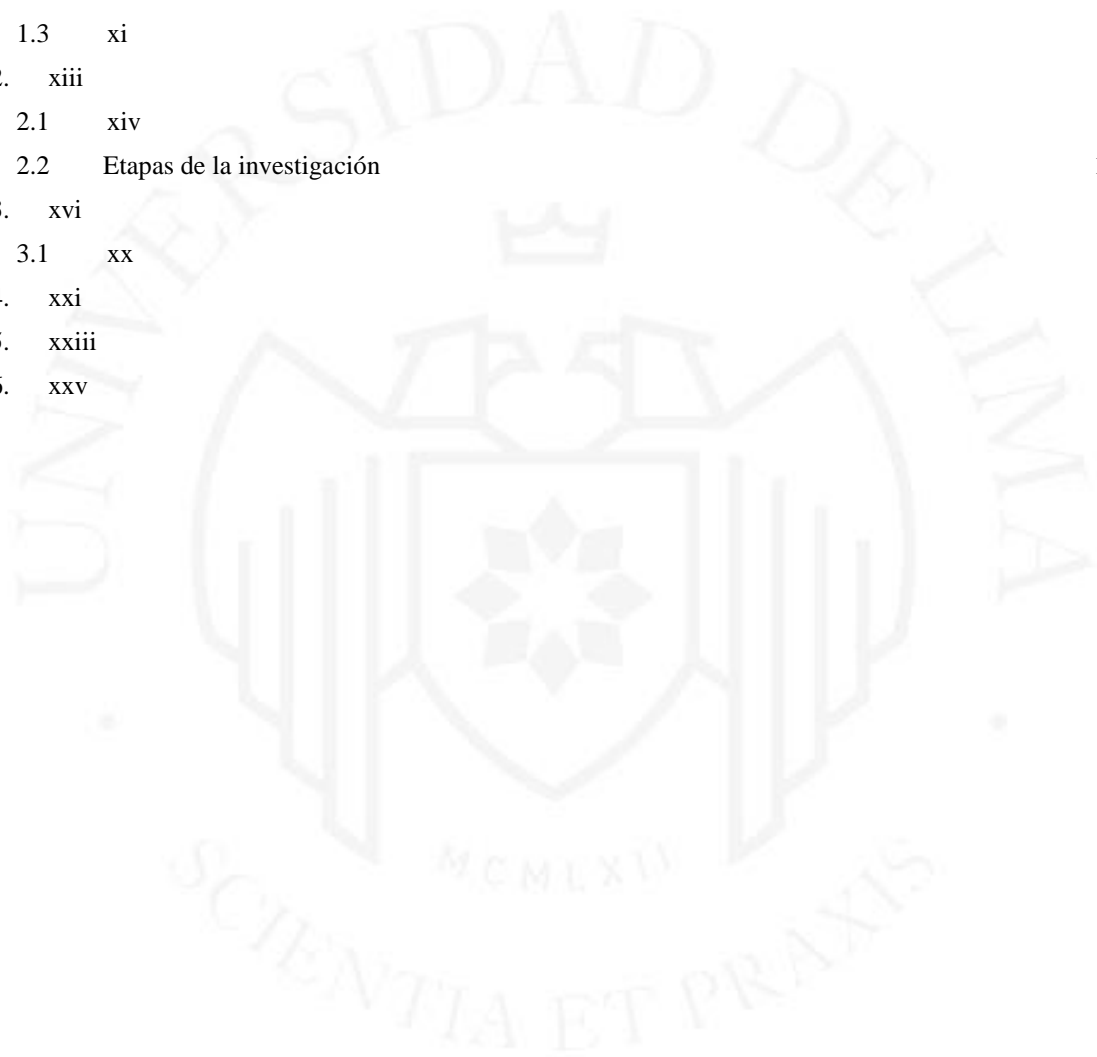
Junio de 2025



**IMPROVEMENT IN COVERAGE ANALYSIS AND
MANAGEMENT AT PORT TERMINALS ALONG THE
PERUVIAN COAST**

TABLA DE CONTENIDO

1.1	x	
1.2	xi	
1.3	xi	
2.	xiii	
2.1	xiv	
2.2	Etapas de la investigación	15
3.	xvi	
3.1	xx	
4.	xxi	
5.	xxiii	
6.	xxv	



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Demanda histórica de los mantenimientos por puerto realizados en el periodo de 18 meses.	16
Tabla 3.2 Tabla comparativa entre resultados actuales, esperados y obtenidos	13



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Etapas de la investigación	14
Figura 3.2 Ubicación de los terminales portuarios del litoral peruano - Escenario 1	18
Figura 3.2 Ubicación de los terminales portuarios del litoral peruano - Escenario 1	18



Título

Mejora en el análisis de cobertura y gestión en los terminales portuarios del litoral peruano.

Autor(es)

20181718@aloe.ulima.edu.pe

Universidad de Lima

Resumen: Los terminales de hidrocarburos son fundamentales en el crecimiento económico debido a que son las instalaciones en donde las compañías almacenan sus combustibles. Por ello, es importante que se encuentren en un correcto estado de funcionamiento por lo que se le realizan los mantenimientos pertinentes. Estos mantenimientos son desarrollados por barcazas que se desplazan hacia los terminales portuarios del litoral sur peruano en cuestión. En términos de equilibrar el costo, beneficio e impacto, la presente investigación diseña un modelo matemático lineal cuyo objetivo es la optimización para las ubicaciones de cobertura máxima de la demanda de los terminales portuarios desarrollando a la vez una reducción en los costos de transporte originados por las barcazas en cuestión. Los resultados computacionales de dicho modelo recomiendan la ubicación pertinente de los recursos para abarcar toda la demanda tomando en cuenta sus respectivas restricciones. Finalmente, se plantean oportunidades de mejora para futuras investigaciones.

Palabras Clave: cobertura, localización, optimización, terminales portuarios, hidrocarburos

Abstract: Hydrocarbon terminals are fundamental in economic growth because they are the facilities where the accompanying companies store their fuels. Therefore, it is important that it is in a correct state of operation so that the relevant maintenance is carried out. This maintenance is carried out by barges that move towards the port terminals on the southern Peruvian coast in question. In terms of balancing the cost, benefit and impact, this research designs a linear mathematical model whose objective is the optimization for the zones of maximum coverage of the demand of the port terminals, developing at the same time a reduction in the transport costs originated by the barges in question. The computational results of said model recommend the appropriate location of the resources to cover all the demand, taking into account their respective restrictions. Finally, improvement opportunities for future research are proposed.

Keywords: coverage, location, optimization, port terminals, hydrocarbons.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática de la Investigación

Actualmente el sector marítimo y portuario aporta en gran escala a la economía mundial debido a que estos terminales son los eslabones clave de las cadenas de suministro marítimas (Mankoswka et al.,2021, p. 2). Por ejemplo, según el Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC, 2020), las obras en el terminal portuario de hidrocarburos de Mollendo aportaron 30 millones de soles a la economía peruana. Por ello, es importante que estos terminales deban encontrarse en las condiciones óptimas que permitan el correcto desempeño de sus actividades marítimas, trazando metas a largo plazo como mejora en los métodos operativos, modernizaciones en los sistemas, mejora en las condiciones de amarre y un adecuado mantenimiento en los terminales. Asimismo, basándose en la promoción del desarrollo sostenible del Sistema Portuario Nacional. (Autoridad Portuaria Nacional, 2018). Tomando en cuenta, el último ítem mencionado denominado mantenimiento portuario que permita asegurar este desempeño, debemos mencionar que existen 3 tipos de mantenimientos, predictivo, correctivo y el preventivo. Se le debe dar énfasis al mantenimiento preventivo que se aplica en estos terminales ya que de cierta forma detectan a tiempo anomalías que puede afectar la eficiencia y eficacia en sus actividades respectivas, además de ser crucial para la prevención de derrames, importante para proteger el medio ambiente. Además de ello, estos mantenimientos tienen como objetivo mantener en condiciones normales de operación el amarradero para el ingreso de buques de carga y descarga de hidrocarburos. Por lo mencionado, las empresas encargadas de realizar estas actividades de mantenimiento en los terminales portuarios deben seguir ciertas normas y políticas establecidas por el estado asegurando la calidad y cuidado respectivo durante el proceso.

Por ello, la problemática que presentan las empresas que tienen como misión estos procedimientos de mantenimiento, se plantea mediante la siguiente pregunta: ¿Cómo optimizar estos mantenimientos cubriendo las necesidades y minimizando costos? Una de las formas de optimización, en estos casos, se centra en el respectivo análisis de cobertura entre el artefacto naval que realiza el mantenimiento denominado barcaza y los terminales portuarios a los que se les ofrece los servicios lo cual permite un equilibrio entre la cobertura de la demanda y el tiempo de viaje bajo un costo determinado (Shui, 2019)

1.2 Objetivos

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar un análisis prescriptivo con respecto a la cobertura de la demanda en mantenimientos de una empresa dedicada a brindar soluciones marítimas, para este caso el mantenimiento de la infraestructura Marítima, quien realiza estas actividades en los terminales del litoral peruano ubicados en Eten, Salaverry, Chimbote, Super, Pisco, San Juan de Marcona, Mollendo, Matarini e Ilo.

Objetivos específicos:

- Desarrollar e implementar un modelo matemático que permita determinar la localización geográfica óptima de las embarcaciones móviles encargadas de realizar el mantenimiento de los terminales portuarios de hidrocarburos del Perú.
- Reducción de costos mediante la determinación de la ubicación óptima de las barcasas obteniendo el menor costo variable.
- Evaluar la capacidad actual de la empresa para atender la demanda de mantenimientos en diferentes terminales marinos de hidrocarburos del país, considerando los recursos disponibles y la demanda presentada.
- Validar la reducción de los costos de navegación variables

1.3 Revisión de la Literatura

El problema planteado en la presente investigación es la cobertura de los recorridos dados entre los terminales portuarios que realiza la barcaza en un horizonte de planificación seleccionando las rutas que permitan minimizar los costos y tiempos, así como maximizar la cobertura. El sector marítimo juega un papel importante en el crecimiento global de la economía debido a que ejercen un rol como puertas de enlace para el comercio internacional lo cual genera a los terminales portuarios ser vistos como importantes aceleradores del desarrollo económico (Suprata et al., 2020, p. 1). Por ello, es fundamental que los terminales portuarios se encuentren en óptimas condiciones para el desarrollo de sus actividades logísticas correctamente. Este mantenimiento permite asegurar una eficiencia en las operaciones si es que es realizado correctamente y bajo las normas técnicas que deben cumplir las empresas encargadas de realizar estos procesos. Se puede considerar como pioneros de estos problemas de localización y cobertura a Church y Revelle quienes en 1974 realizaron los primeros estudios una investigación

relacionando los dos tipos de demanda (residencial y no residencial) con la planificación de las ubicaciones de instalaciones en los viajes al trabajo del día a día de las personas.

Uno de estos casos de estudio, es el análisis de cobertura para una estación de bicicletas dentro de un campo universitario en donde se emplean métodos matemáticos como la p-mediana y p-centro para poder decidir la mejor ubicación de esta estación con respecto a la demanda estudiantil (Mete et al., 2018, p.80 - 95). Otro modelo matemático empleado se detalla en el artículo basado en la adecuada distribución de los recursos para la correcta cobertura de todos los afectados; por ello, los autores proponen un modelo matemático no lineal entero mixto relacionado con la gestión de recursos (Lipika, et al., 2022, p. 3).

La ubicación de la instalación y el análisis de la ubicación, así como las decisiones de ubicación son términos que se usan indistintamente para el mismo propósito y abordan un problema clásico conocido que se refiere a la ubicación de la instalación de un recurso entre varias instalaciones existentes (puntos de demanda) para atenderlos (Zanjirani, et al., 2019). Para ello apoyados en otro artículo se sabe de la existencia de un modelo robusto de programación lineal de enteros mixtos (MILP - Mixed Integer Linear Problems) el cual considera dos funciones objetivas en conflicto, la minimización del tiempo total de transporte y el costo total de la red de la cadena de suministro, estos mismos son validados mediante un estudio comparativo que utiliza el algoritmo genético de clasificación no denominado-II (NSGA_II) y un NSGA-III (Kumar et al., 2020, p. 1). Asimismo, también para una mayor precisión en cuanto a localizaciones globales, como el caso de estudio de para la instalación de un centro intermedio para terminales portuarios, las herramientas empleadas para dicha implementación se utiliza el modelo matemático de Church, Maximum Covering Location Problem y además emplean el software Sistema de información geográfica (GIS) de localización (Burciu et al., 2015, p. 4). Cabe mencionar que estos modelos MCLP (Modelo de cobertura máxima con localización de Instalaciones) poseen como objetivo maximizar de un espacio eligiendo un número fijo de ubicaciones, tal es el caso del modelo matemático que busca maximizar la población cubierta por el área de servicio de los sitios de vacunación mediante la elección de las ubicaciones óptimas del conjunto de ubicaciones existentes y candidatas (Chen et al., 2022). En mención a estos modelos matemáticos, las operaciones realizadas pueden seguir dos rumbos: maximización o minimización. Por ejemplo, el caso de estudio que se basa en buscar modelo matemático que permita mejorar el alumbrado público mediante la búsqueda de una idónea ubicación de estos postes de luz en la

carretera que a la vez permita una reducción de costos, se emplea el MCLP con un modelo matemático binario con maximización y restricciones (Yanqing, 2022). Asimismo, se considera fundamental mencionar que dichos modelos matemáticos basados en la cobertura de demanda emplean restricciones. Siguiendo tal descripción, se busca optimizar dónde reubicar niveles jerárquicos de instalaciones compuestas respectivamente por estaciones de mantenimiento y flotas de servicios móviles durante múltiples períodos basándose en un método de optimización lexicográfico de restricciones (Jialin et al., 2022). Por otro lado, en otros artículos académicos estos modelos matemáticos son desarrollados mediante softwares especializados en el lenguaje de la programación. Tal es el caso del análisis de cobertura en cuanto a la localización de grúas en terminales portuarios mediante el desarrollo de un algoritmo genético adaptativo empleando el software de Matlab (Zhou et al., 2022, p. 506). Asimismo, otro software fundamental en los modelos matemáticos lineales, basados en la correcta ubicación para la cobertura de la demanda, es LINGO. Este programa es usado en un artículo que tiene como objetivo determinar las ubicaciones adecuadas de los vertederos para la eliminación temporal de desechos en Indonesia desde un enfoque heurístico (Octarina et al., 2022). En artículos académicos se ha diseñado un algoritmo genético híbrido (HGA) eficiente integrando un algoritmo genérico (GA) y búsqueda vecinal variable (VNS) y otros elementos del análisis para resolver el CLMRPOWF, lo que representa una cadena de genes, en el cual cada letra representa un elemento de la solución, de esta manera han logrado soluciones casi óptimas para las ubicaciones contiguas. Cubriendo el efecto del costo fijo en el número de paradas, y los cambios en el costo de viaje de los buques tienen un efecto significativo en la configuración de la solución. El presente método es fácilmente adaptable para resolver un problema de localización y ruteo (LRP) continuo, debido a que superó los métodos de vanguardia disponibles en la literatura (Irawan et al., 2022).

2. METODOLOGÍA

En el presente estudio académico se define como una investigación de tipo aplicada. Esta metodología, según Lozada (2014), tiene como objetivo ocasionar el conocimiento con aplicación directa a los problemas existentes en la sociedad. En dicho sentido, el reto al cual se enfrenta este artículo es a la reducción de costos de navegación mediante la cobertura a todos los terminales en donde realiza mantenimiento. Desde esta perspectiva,

se considera un enfoque cuantitativo en esta investigación con un alcance descriptivo. Este alcance resulta de la estrategia empleada en la revisión de la literatura y los objetivos planteados de tal forma se manifiesta mediante la consideración del fenómeno estudiado, midiendo sus componentes y definiendo sus variables; asimismo, el valor de este alcance radica en poder mostrar con mayor precisión las dimensiones de un suceso (Hernández, et al., 2014, p. 89). Las variables empleadas en la presente investigación son la gestión del mantenimiento y la optimización en la cobertura como variable dependiente e independiente respectivamente. Tomando en cuenta ello, la orientación presentada es conseguir una optimización matemática lineal. Para definir el diseño de investigación se debe analizar cuál es el propósito del caso de estudio diferenciándolos en experimentales y no experimentales, el diseño experimental hace referencia a la administración y/o intervención en estímulos (Yin, 2014). Por ello, el caso de estudio sigue un diseño experimental en donde se analiza toda la data proporcionada en cuanto a las rutas de la barcaza permitiendo relacionarlo con las variables seleccionadas.

Por otro lado, debido a que el caso de estudio posee un enfoque cuantitativo, la técnica a emplear es el análisis de documentos. Esta técnica hace referencia al proceso que se realiza para la obtención de datos desde fuentes primarias que facultan al investigador obtener resultados más precisos (Arias, 2020, p.52). El presente caso de estudio emplea materiales tales como las fichas técnicas e informes de mantenimiento con cada data de los terminales portuarios en cuestión. Consecuentemente, las técnicas y materiales son desarrollados mediante un modelo matemático desarrollado en el software de simulación Lingo y Google Maps.

2.1 Obtención de datos

Para nuestra investigación se debe considerar que la barcaza es la encargada de realizar los mantenimientos debe de contar con una cabria de maniobras, winche hidráulico de arrastre, brazo hidráulico articulado lateral de 3, 5 y hasta 10 toneladas de levantamiento, grupo electrógeno, equipamiento de navegación (radar, ecosonda, gps) así como una lancha y un bote para buzos con un motor fuera de borda. Además, se usa para transferir operarios y equipos entre los puertos, cuenta con unos alojamientos para los mismos operarios y puede almacenar equipos los cuales serán utilizados en los mantenimientos de los distintos terminales portuarios del País.

Se debe tener en cuenta que, para el desarrollo de la presente investigación, consideraremos dos escenarios los cuales se detallan a continuación.

Escenario 1.

Los terminales portuarios los cuales se tuvieron en cuenta para el escenario 1, son los terminales portuarios de la zona sur del país, considerando desde Lima a Ilo en Moquegua, donde la empresa estudiada es la responsable de realizar mantenimientos.

- Terminal portuario de Hidrocarburos Pisco, ubicado en ciudad de Pisco, Ica.
- Terminal portuario Multiboyas San Juan de Marcona, ubicado en ciudad de San Juan de Marcona, Ica.
- Amarradero Muelle “F” ubicado en la ciudad de Matarani, Arequipa
- Terminal Portuario Multiboyas en la ciudad de Mollendo, Arequipa
- Terminal Portuario “Amarradero TLT (Terminal Líquidos Tramarsa)” ubicado en Ilo, Moquegua

Escenario 2.

Los terminales portuarios los cuales se tuvieron en cuenta para el escenario 2, son los terminales portuarios de la zona norte del país, considerando desde Lima a Puerto Eten en Lambayeque, donde la empresa estudiada es la responsable de realizar mantenimientos.

- Terminal portuario Multiboyas Eten, ubicado en Puerto Eten, Lambayeque.
- Terminal portuario Multiboyas Salaverry, ubicado en Salaverry, La libertad
- Terminal portuario de Chimbote, ubicado en Chimbote, Ancash
- Terminal portuario Multiboyas Supe, ubicado en Supe, Lima

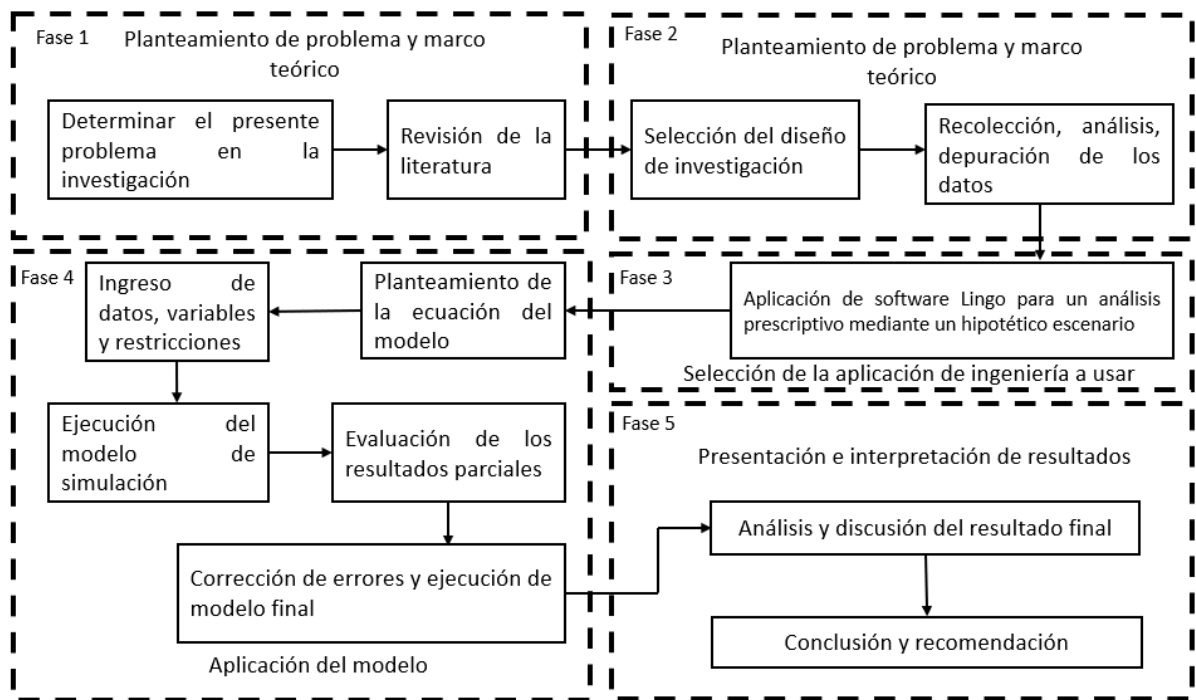
Para la presente investigación, se debe de tener en cuenta que nos centraremos exclusivamente en los costos de navegación variables los cuales actualmente tienen un costo de 36 dólares por milla, y que en la mayoría de casos, se termina un mantenimiento la embarcación regresa al Callao o si se considera necesario, que la barcaza haga un recorrido por los demás terminales también es opción, lo que se busca es confirmar si podemos mantener la barcaza en las provincias donde se realiza el mantenimiento con el fin de poder reducir los costos de navegación. Actualmente el escenario 1 tiene costos de navegación por un aproximado de \$38, 592 mientras que en el escenario 2 los costos de navegación alcanzan los \$30,348.

2.2 Etapas de la investigación

A continuación, se muestran las etapas a las cuales está sometida la investigación

Figura 2.1

Etapas de la investigación



3. RESULTADOS

Se cuenta con 4 barcasas, con la siguiente distribución.

Zona Sur:

Barcaza BZ1 con capacidad para 10 mantenimientos en un periodo de 18 meses.

Barcaza BZ2 con capacidad de atender 5 mantenimientos en un periodo de 18 meses.

Zona Norte:

Barcaza BZ3 con capacidad de atender 6 mantenimientos en un periodo de 18 meses.

Barcaza BZ4 con capacidad de atender 10 mantenimientos en un periodo de 18 meses.

La ubicación y la demanda de mantenimiento de cada terminal portuario de hidrocarburos del Perú en donde la empresa ha realizado mantenimientos es la siguiente:

Tabla 3.1

Demanda histórica de los mantenimientos por puerto realizados en el periodo de 18 meses.

Escenario 1			
Ciudad	Departamento	Demanda de Mantenimiento	Distancia en millas al Callao
Pisco	Ica	3	130
San Juan de Marcona	Ica	3	249
Matarani	Arequipa	5	443
Mollendo	Arequipa	2	459
Ilo	Moquegua	1	509

Escenario 2			
Ciudad	Departamento	Demanda de Mantenimiento	Distancia en millas al Callao
Puerto Eten	Lambayeque	4	373
Salaverry	La Libertad	3	276
Chimbote	Ancash	3	209
Supe	Lima	2	92

Nota. Adaptado de informes de mantenimientos de empresa estudiada

Lo mencionado anteriormente puede ser formalizado como un problema de programación lineal

$$Min = CV \cdot \left[\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^5 \left(\sqrt{(x_i - cordxj)^2 + (y_i - cordyj)^2} \right) * z_{ij} \right] + \sum_{i=1}^2 \left[CN_i * \left(\sum_{j=1}^5 z_{ij} \right) \right]$$

Y(i) → Ubicación en el eje Y de la barcaza i

CordX(j) → Ubicación en el eje X del puerto j

CordY(j) → Ubicación en el eje Y del puerto j

CN → Costo de navegación (410 dólares)

CV → Costo de navegación variable (por millas) (36 dólares)

Asimismo, se toma en cuenta dos restricciones: la primera se basa en la satisfacción de la demanda y la segunda restricción corresponde a que la suma de los mantenimientos debe ser menor o igual a la capacidad. Ambas son expresadas mediante ecuaciones respectivamente

$$\sum_{i=1}^2 z_{ij} = dem_j , \quad \forall_j = 1, \dots, 5$$

$$\sum_{j=1}^5 z_{ij} \leq cap_i , \quad \forall_i = 1, 2$$

En donde

dem (j) → Es la demanda de mantenimientos de cada puerto

cap (j) → Es la capacidad para realizar mantenimientos de cada barcaza

El modelo propuesto en el presente trabajo es implementado en el software Lingo buscando la minimización de los costos variables de navegación generados por la empresa. Para ello se creó un cuadrante en el cual el punto de origen sería las coordenadas (-17.8258, -76.7560) para el escenario 1, mientras que el punto de origen del escenario 2 fue (-10,7975,-79,8665), para de esta manera poder tener una referencia de donde es que se debería de ubicar cada una de las barcasas para obtener una minimización de los costos por medio de la correcta optimización a través del modelo desarrollado en Lingo.

Figura 3.1

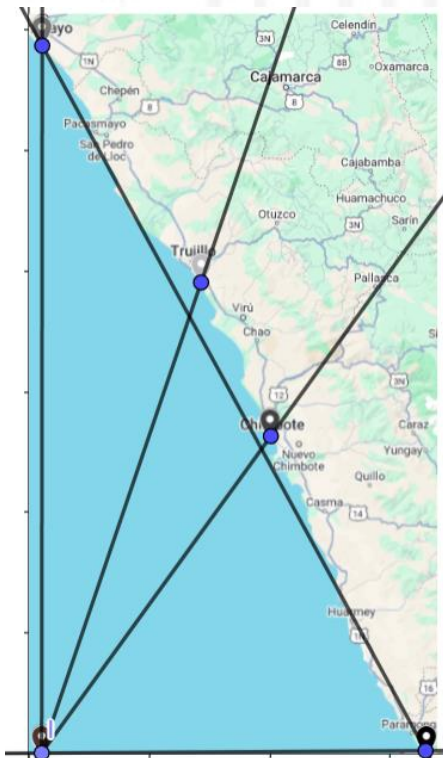
Ubicación de los terminales portuarios del litoral peruano - Escenario 1:



Nota. Adaptado de google earth

Figura 3.2

Ubicación de los terminales portuarios del litoral peruano - Escenario 2:



Nota. Adaptado de google earth

A continuación, se detallan los resultados numéricos, gráficos y la interpretación.

3.1 Resultados numéricos e interpretación

Escenario 1:

La interpretación que se le otorga a este resultado es que la barcaza número 1 deberá de situarse en las coordenadas (-15.3435, -75.1520) la cual coincide con la ubicación del terminal portuario número 2 ubicado en la ciudad de San Juan de Marcona y deberá realizar 3 mantenimientos en el terminal número 1 y 2; y 2 mantenimientos en el terminal número 3, ubicados en la ciudad de Pisco, San Juan de Marcona y Matarani respectivamente. La barcaza número 2 deberá de situarse en las coordenadas (-17.0374, -72.0057) la cual coincide con la ubicación del puerto número 4 ubicado en la ciudad de Mollendo y deberá realizar 2 mantenimientos en el terminal número 3 y 4, y un mantenimiento en el terminal número 5; ubicados en las ciudades de Matarani, Mollendo e Ilo respectivamente.

De esta manera se está obteniendo un costo total de navegación variable de \$ 26,856 para realizar los 13 mantenimientos de los 5 terminales portuarios de la zona sur del país.

Escenario 2:

La interpretación que se le otorga a este resultado es que la barcaza número 3 deberá de situarse en las coordenadas (-9.0768, -78.6066) la cual coincide con la ubicación del terminal portuario número 8 ubicado en la ciudad de Chimbote y deberá realizar 1 mantenimientos en el terminal número 7; 3 mantenimientos en el terminal número 8, y 2 mantenimientos en el terminal número 9; ubicados en la ciudad de Eten, Salaverry y Chimbote respectivamente. La barcaza número 4 deberá de situarse en las coordenadas (-6.9339, -79.8665) la cual coincide con la ubicación del puerto número 6 ubicado en la ciudad de Puerto Eten y deberá realizar 4 mantenimientos en el terminal número 6, y 2 mantenimientos en el terminal número 7; ubicado en la ciudad de Salaverry.

De esta manera se está obteniendo un costo total de navegación variable de \$ 25,524.00 para realizar los 12 mantenimientos de los 4 terminales portuarios de la zona norte del país.

Tabla 3.2*Tabla comparativa entre resultados actuales, esperados y obtenidos*

	As is	R. obtenido	To be (10%)
Escenario 1	USD 38,592	USD 26,856	USD 34,732
Escenario 2	USD 30,348	USD 25,524	USD 27,313
Escenario 1	1072 millas	746 millas	965 millas
Escenario 2	843 millas	709 millas	759 millas

Los resultados obtenidos evidencian una mejora en la distancia recorrida, lo que genera una reducción en los costos de navegación variable significativa gracias al modelo propuesto. En el Escenario 1, los costos de navegación variables se redujeron de USD 38,592 (As is) a USD 26,856 (Resultado obtenido), lo que representa una disminución del 30%, incluso por debajo del objetivo esperado del 10% de mejora (USD 34,732). La distancia recorrida paso de 1072 millas a 746 millas, logrando un resultado por debajo de lo esperado. En el escenario 2, se observa una mejora similar: el costo disminuyó de USD 30,348 a USD 25,524, por debajo de la meta del 10% (USD 27,313), mientras que la distancia se redujo de 843 a 709 millas. Estos resultados confirman que el modelo propuesto además de cumplir con lo esperado, las supera, realizando una correcta optimización de los costos de navegación.

4. DISCUSIÓN

El problema de ubicación de la cobertura máxima para la demanda de mantenimientos a los terminales portuarios del litoral sur peruano se analiza y desarrolla en el presente artículo. Mediante el resultado otorgado por el modelo matemático desarrollado en el capítulo 3 se ha demostrado que dicha solución es práctica y posible ya que otorga un escenario de optimización en cuanto a la cobertura por parte de ambas barcas para los dos escenarios hacia toda la demanda con mayor eficiencia escogiendo mejores rutas lo que conlleva a la vez a una reducción de costos en el transporte de estas mismas. El modelo de ubicación de cobertura máxima MCLP (Problema de localización de cobertura máxima) busca otorgar cobertura a las demandas respectivas bajo recursos limitados (Yanqing et al., 2022). Dicho autor, mediante un modelo de programación entera binaria busca encontrar las ubicaciones óptimas de alumbrado ya que considera fundamental la aplicación de dos variables binarias con respecto a los posibles

escenarios del alumbrado. A diferencia de nuestro artículo, en el presente trabajo desarrollamos un modelo matemático lineal en donde el objetivo es minimizar los costos lo cual se genera mediante la adecuada ubicación de los recursos que solicita la demanda de mantenimientos. Según, Yanqing (2022), para este tipo de problemas, el tiempo de cálculo en la resolución es directamente proporcional a la complejidad de este. Sin embargo, se debe recalcar que tanto en dicho artículo y en el de nosotros, el problema matemático hace referencia a un tamaño mediano por lo que es de fácil resolución mediante un software, en este presente trabajo se emplea Lingo a diferencia del artículo en mención quienes utilizan el programa GAMS. Dada esta aclaración, es importante mencionar que el resultado son soluciones optimizadas cubren un área de iluminación más grande o más caminos con más eficiencia y menos gastos (Yanqing et al., 2022). Los problemas de ubicación de instalaciones se resuelven mediante el uso de diversas técnicas cuantitativas y cualitativas de la investigación de operaciones (OR), ciencia de la gestión y la misma gestión de operaciones (Zanjirani et al., 2019). Depende de las naturalezas de la instalación a ubicar, se consideran distintas funciones objetivo entre las que se destacan minimizar los tiempos de espera, los costos de transporte y la de maximizar la cobertura. En semejanza con nuestro artículo se tomó en cuenta la capacidad de nuestras barcazas, la demanda de mantenimientos de los terminales portuarios y con el fin de minimizar los costos de transporte se establece la función objetivo y se procedió a modelar una simulación en el programa Lingo, el cual nos proporcionó las coordenadas de la ubicación estratégica en la cual deben estar situadas cada una de las barcazas encargadas de los mantenimientos. Por ello, es necesario otorgar énfasis a esta herramienta computacional ya que permite la resolución adecuada en los problemas de adecuada ubicación más conocidos como Set Covering Location Problem. Al realizar un modelo matemático de programación lineal entera, dicho software permite crear un escenario hipotético en donde se soluciona la adversidad de encontrar las ubicaciones correctas de los vertederos temporales de residuos en Indonesia (Octarina et al., 2022).

Por otro lado, el modelo de ubicación MIS cual cumple con el criterio de máxima cobertura con el objetivo de mitigar los índices de criminalidad y brindar un ambiente seguro, nos plante lo conveniente que es ubicar las instalaciones policiales en las cercanías de los hechos delictivos, teniendo en cuenta la distancia entre la instalación y los eventos en estudio (Ferreira et al., 2022), utilizando el lenguaje de programación R

así como la plataforma RStudio, dando como resultado puntos en el mapa con los cuales se cuenta funciones de interfaz interactiva, la cual el usuario puede manipular para obtener una variedad de escenarios de las ubicaciones candidatas.

5. CONCLUSIONES

En el presente artículo, se ha abordado un problema interesante: el problema referente a la cobertura máxima de la demanda de terminales portuarios abarcados por dos barcazas que realizan mantenimientos. En primer lugar, la investigación logro cumplir su objetivo principal al desarrollar un análisis prescriptivo que optimiza la cobertura de la demanda de mantenimiento en los terminales portuarios de hidrocarburos del litoral peruano, para ello se realizó una investigación exhaustiva con respecto al problema anteriormente mencionado recolectando información similar de múltiples autores que abordaron la misma situación en sus respectivos artículos científicos. Con la información dada y un panorama mucho más claro, se procedió a elaborar un modelo matemático de programación lineal que permitió determinar la localización geográfica optima de las embarcaciones móviles, mejorando la eficiencia operativa, en donde se busca minimizar el costo de transporte con respecto a los mantenimientos otorgados a los nueve terminales portuarios mediante una adecuada reubicación de las barcazas que se emplean para dicha demanda, tomando en cuenta las restricciones indicadas que se dan en el rango de tiempo estudiado como la demanda y capacidad. Además, se evidencio una reducción por encima de lo esperado en los costos de navegación gracias a la ubicación estratégica de las barcazas. Consecuentemente, para poder comprobar esta efectividad del modelo propuesto y la metodología respectiva, se realizó un estudio computacional. Dicho resultado se generó mediante el software LINGO, el cual manifiesta las ubicaciones idóneas que deben seguir cada barcaza para el respectivo ahorro en costes de transporte. Posteriormente, se realiza un análisis en base a las comparaciones que se desarrollan entre nuestro artículo y los artículos de guía presentando en la literatura académica evaluando las semejanzas y diferencias entre ambos.

Las potenciales mejoras en la presente investigación merecen un futuro estudio más exhaustivo. Tal es el caso de la implementación del lenguaje de programación R así como la plataforma RStudio, a su vez el registro activo y constante de terminales que registran

mantenimientos, debido a que siendo la barcaza estudiada un elemento móvil pueda modificar su ubicación teniendo en cuenta el registro histórico de la demanda de los mantenimientos de terminales portuarios. Asimismo, se puede desarrollar el programa para que presente los informes de una manera didáctica e interactiva, para que de esta manera cualquier persona pueda estar al tanto de la ubicación estratégica de la barcaza y pueda realizar una serie de supuestos. También se puede ahondar en los precios sombra los cuales podrían indicar como el valor de minimización de costos de la programación lineal genera variaciones en consecuencia de la respuesta a los cambios que se pueden dar en las restricciones. Por ello, en el futuro trabajo de investigación, centraremos la atención en dichas potenciales mejoras, así como la exploración del impacto que pueden generar en la minimización de costos.



6. REFERENCIAS

- Autoridad Portuaria Nacional. (2018, 9 de marzo). Comunicado N°001-2018-APN. <https://www.gob.pe/institucion/apn/noticias/286355-comunicado-n-001-2018-apn>
- Arias, J. (2014). Técnicas e instrumentos de investigación científica. Para ciencias administrativas, aplicadas, artísticas, humanas. ENFOQUES CONSULTING EIRL.
- Burciu, S., Stefanica, C., Rosca, E., Dragu, V. & Rusca, F. (2015). Location of an intermediate hub for port activities. [Ubicaciones de un centro intermedio para actividades portuarias]. IOP Science, 95(1). <https://doi:10.1088/1757-899X/95/1/012064>
- Borba, B. F. da C., de Gusmão, A. P. H., Clemente, T. R. N., & Nepomuceno, T. C. C. (2022). Optimizing Police Facility Locations Based on Cluster Analysis and the Maximal Covering Location Problem. *Applied System Innovation*, 5(4), 74. <https://doi.org/10.3390/asi5040074>
- Chen, Y., Tao, R., & Downs, J. (2022). Location Optimization of COVID-19 Vaccination Sites: Case in Hillsborough County, Florida. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 12443. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912443>
- Escobar, D. (2018). Costos de operación y mantenimiento del Sistema de Dragado en el Terminal Portuario de Salaverry. *Red de Repositorios Latinoamericano*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2356924>
- Irawan, C.A. , Salhi S., Chan H.K. (2022). A continuous location and maintenance routing problem for offshore wind farms: Mathematical models and hybrid methods. *Computers & Operations. Informática e Investigación de Operaciones* , volume 144, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105825>.
- Jialin, H., Qian, X., Bring, Z., Yang, L., & Laishao, L. (2022). A multi-objective dynamic covering location problem for hierarchical agricultural machinery maintenance facilities. *Knowledge-Based Systems*, 252, 109462. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109462>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Dialnet*, 47 – 50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Mankoskawa, M., Plucinski, M., Kotowska, I. & Filina – Dawidowicz, L. (2021). Seaports during the COVID-19 Pandemic: The Terminal Operators' Tactical Responses to Disruptions in Maritime Supply Chains [Puertos marítimos durante la pandemia de COVID-19: las respuestas tácticas de los operadores de terminales a las interrupciones

en las cadenas de suministro marítimo]. MPDI, 14(14).

<https://doi.org/10.3390/en14144339>

Mete, S., Abidin, Z. & Ozceylan, E. (2018). Location and Coverage Analysis of Bike-Sharing Stations in University Campus. [Análisis de Ubicación y Cobertura de Estaciones de Bicicletas Compartidas en Campus Universitarios]. *Sciendo*, 80-95.

<https://sciendo.com/article/10.2478/bsrj-2018-0021>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2020, 22 de agosto). MTC: Obras en el terminal portuario de hidrocarburos de Mollendo aportarán USD 30 millones a la economía.

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/295128-mtc-obras-en-el-terminal-portuario-de-hidrocarburos-de-mollendo-aportaran-usd-30-millones-a-la-economia>

Octarina, S., Puspita, F., Supadi, S., & Eliza, N. (2022). Greedy Reduction Algorithm as the Heuristic Approach in Determining the Temporary Waste Disposal Sites in Sukarami Sub-District, Palembang, Indonesia. *Science and Technology Indonesia*, 7 (4), 469–480.

<https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.4.469-480>

Reza Zanjirani Farahani, Samira Fallah, Rubén Ruiz, Sara Hosseini, Nasrin Asgari. (2019). OR models in urban service facility location: A critical review of applications and future developments. *European Journal of Operational Research*, Volume 276, Issue, 1, 1-27, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.036>.

Shui, C. & Chan, W. (2019). Optimization of a Bikeway Network with Selective Nodes. [Optimización de una Red de Ciclovías con Nodos Selectivos]. *MPDI*, 11(23).

<https://doi.org/10.3390/su11236531>

Vijaya Kumar Manupati, Tobias Schoenherr, Stephan M. Wagner, Bhanushree Soni, Suraj Panigrahi, M. Ramkumar. (2021). Convalescent plasma bank facility location-allocation problem for COVID-19, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 156. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102517>.

Yanqing, X., Yue, Z., Cong, F.; Xiyue, D., & Yi, Y. (2022). Optimizing the Spatial Location of Street Lights in Belle Isle, Michigan. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 115.

<https://doi.org/10.3390/ijgi11020115>

Yin, R. (2014). Investigación sobre estudios de casos: Diseños y métodos. *Sage Publications*. <https://panel.inkuba.com/sites/2/archivos/YIN%20ROBERT%20.pdf>

Suprata, F., & Natalia, C., & Sugioko, A. (2020). Analysing the cause of idle time in loading and unloading operation at Indonesian international port container terminal: Port

of Tanjung Priok case study. [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/847/1/012090),
847(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/847/1/012090>






0% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 0%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an Indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.