



Universidad del
Rosario

Escuela de Ingeniería,
Ciencia y Tecnología

**MODELO DE ASIGNACIÓN MULTIMODAL ENTRE LA ISLA
DE TIERRBOMBA Y CARTAGENA AL SISTEMA INTEGRADO
DE TRANSPORTE MASIVO TENIENDO COMO PRINCIPIO LA
TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA DESCARBONIZACIÓN DEL
TRANSPORTE DE PASAJEROS**

Presentado para obtener el título de

MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Juan David Castaño Bustos

Dirección:

MsC. Julieth Stefany García Collazos

Universidad del Rosario

Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología

Maestría en Energías Renovables

Este proyecto de investigación presenta un modelo de asignación multimodal integral [1] con el propósito de establecer una conexión entre la Isla Tierrabomba y Cartagena. Esta iniciativa busca desempeñar un rol fundamental en la planificación y gestión de un sistema de transporte marítimo y terrestre eficiente y sostenible. El objetivo principal consiste en lograr una sinergia entre las embarcaciones de pasajeros, mayormente informales en la actualidad, y el sistema de transporte masivo Transcaribe, proporcionando conectividad a la isla y reemplazando los sistemas de propulsión convencionales a gasolina por sistemas de propulsión eléctrica en los botes de transporte artesanal que son usados actualmente por los raizales, fomentando así la electromovilidad y la descarbonización del transporte urbano de pasajeros. El modelo considera la representación de la realidad a través de la infraestructura existente, costo y tiempo de viaje, así como las preferencias del usuario [2], rutas existentes del STIP y las rutas marítimas actuales, mediante la implementación preferencias reveladas y la recolección de datos en campo. El modelo propuesto se basa en el análisis detallado de la situación actual, que permitió incorporar las rutas ya establecidas por el sistema de transporte en masivo Transcaribe y las rutas marítimas empleadas en la actualidad. Esta metodología se complementa con la adquisición de información de campo y la implementación de preferencias reveladas, forjando una visión holística y precisa del panorama. Un rasgo distintivo del modelo radica en su capacidad para evaluar las ganancias económicas a lo largo del ciclo de vida de la tecnología de propulsión eléctrica, en contraposición con las tecnologías convencionales de combustión interna. Aunque la inversión inicial en tecnología eléctrica podría ser superior, el análisis financiero demuestra que, a largo plazo, los sistemas eléctricos resultan ser más rentables. En un horizonte de 20 años, el costo global del sistema eléctrico es inferior, y su costo de propiedad por cada kilómetro recorrido también experimenta una disminución.

En síntesis, esta iniciativa podría considerarse como un avance audaz hacia un futuro de transporte más sostenible y eficaz en la región. La incorporación de tecnologías de propulsión eléctrica, junto con una planificación multimodal inteligente, señalan el sendero hacia una movilidad urbana más limpia y respetuosa del medio ambiente.

This research project introduces a comprehensive multimodal allocation model [1] aimed at establishing a connection between Tierrabomba Island and Cartagena. This initiative seeks to play a pivotal role in the planning and management of an efficient and sustainable maritime and terrestrial transportation system. The primary objective is to achieve synergy between passenger vessels, predominantly informal at present, and the Transcaribe mass transit system, thereby enhancing connectivity to the island. Furthermore, this entails replacing conventional gasoline propulsion systems with electric propulsion systems in the artisanal transport boats currently utilized by residents, promoting electromobility and the decarbonization of urban passenger transportation.

The model takes into account the depiction of reality through existing infrastructure, cost and travel time considerations, as well as user preferences [2], existing routes of the STIP, and current maritime routes, through the implementation of revealed preferences and field data collection. The proposed model is based on an in-depth analysis of the current situation, which facilitated the incorporation of established routes of the Transcaribe mass transit system and currently employed maritime routes. This methodology is supplemented by field data acquisition and the implementation of revealed preferences, forging a holistic and precise panorama. A distinctive feature of the model lies in its ability to assess economic gains throughout the lifecycle of electric propulsion technology in contrast to conventional internal combustion technologies. While the initial investment in electric technology might be higher, financial analysis demonstrates that, in the long run, electric systems prove to be more cost-effective. Over a 20-year horizon, the overall cost of the electric system is lower, and its ownership cost per kilometer traveled also experiences a decrease.

In summary, this initiative could be regarded as a bold step toward a more sustainable and efficient future of transportation in the region. The integration of electric propulsion technologies, alongside intelligent multimodal planning, signifies the path toward a cleaner and environmentally respectful urban mobility.

TABLA DE CONTENIDO

iv

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 2 OBJETIVOS	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
Capítulo 3 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	4
Capítulo 4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	7
4.1 Electromovilidad fluvial urbana en el mundo.....	7
4.2 Electromovilidad fluvial urbana en Colombia.....	8
4.2.1 Transporte de pasajeros por vías fluviales.....	9
4.2.2 Proyectos e iniciativas de electrificación de transporte fluvial.....	9
4.3 Electromovilidad en Cartagena y Tierrabomba	10
4.4 Transporte sostenible	11
4.5 Modelos de transporte y transporte multimodal	11
4.5.1 Definición de modelo transporte.....	11
4.5.2 Modelo de transporte desagregado	12
4.5.3 Modelo de asignación multimodal.....	12
4.5.4 Elementos principales para la formulación de un modelo de asignación multimodal..	13
Capítulo 5 METODOLOGÍA	14
Capítulo 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
6.1 Resultados de la encuesta realizada a la población de Tierrabomba	16
6.2 Caracterización de muelles y lanchas	18
6.3 Caracterización de los principales actores del transporte público entre Tierrabomba y Cartagena	19
6.4 Propuesta para sustitución de motores fuera de borda por combustión interna.....	19
6.5 Análisis financiero para la sustitución de motores fuera de borda	23
6.5.1 Costo de ciclo de vida y costo total de propiedad - Convencional	23
6.5.2 Costo de ciclo de vida y costo total de propiedad - Eléctrica	24
6.6 Modelo de movilidad multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena.....	27
6.6.1 Modelo de multimodalidad entre Cartagena y Tierrabomba	27
6.1.1.1. Ruta: Tierrabomba – Bocagrande	29
6.1.1.2. Ruta: Tierrabomba – Bodeguita.....	29
6.1.1.3. Ruta: Tierrabomba – Bazurto.....	29
6.6.2 Tipología de embarcaciones	30
6.6.3 Infraestructura de recarga de embarcaciones.....	30
6.6.4 Fuentes de financiamiento	31
6.6.5 Retos, barreras y oportunidades.....	34
Capítulo 7 CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS.....	40
APÉNDICE.....	44
ANEXO 1.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actores del transporte público en Cartagena y Tierrabomba..	44
--	----

LISTA DE FIGURAS

vi

Figura 1. Mapa de rutas propuestas para el sistema multimodal.	46
Figura 2. Muelle flotante para estación de recarga y embarque de pasajeros.....	47
Figura 3. Curva de Potencia Vs Velocidad.....	48
Figura 4. Esquemático de embarcación propuesta para el sistema.	49
Figura 5. Densidad de energía requerida para un trayecto.....	50
Figura 6. Demanda de potencia para un día de operación.	51

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La electromovilidad se presenta como una opción para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover una transición energética, lo que a su vez contribuye a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la quema de combustibles [3]. En el contexto del transporte público, la incorporación de flotas eléctricas cobra relevancia debido a las grandes cantidades de emisiones generadas diariamente por los vehículos en circulación [4]. Por lo tanto, buscar alternativas de generación y uso eficiente de energía para mitigar el impacto ambiental es parte de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por las Naciones Unidas en 2015 [5].

En este sentido, desvincular el transporte de pasajeros de los combustibles fósiles es una posibilidad respaldada por las políticas públicas implementadas por los últimos dos gobiernos en Colombia [6]. El presente proyecto de investigación propone un modelo de movilidad multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena, integrado al sistema de transporte masivo existente, con el objetivo de lograr una transición energética y la descarbonización del transporte de pasajeros. La característica principal de este modelo es la integración del transporte terrestre y marítimo, reemplazando las embarcaciones artesanales propulsadas por motores de combustión interna a gasolina por embarcaciones menores con sistemas de propulsión eléctrica. Esto promoverá la electromovilidad y la descarbonización del transporte urbano de pasajeros en la zona.

Mediante la caracterización de los actores y elementos involucrados en el transporte público de pasajeros entre la isla de Tierrabomba y Cartagena, se identifican los desafíos, barreras y oportunidades que la electromovilidad enfrenta en el contexto del transporte público sostenible en la ciudad de Cartagena. Además, es posible analizar las formas en que el gobierno nacional, local y otros actores relevantes pueden incentivar la adopción de estas tecnologías para proporcionar a los habitantes de la isla un medio de transporte

público que los conecte con los servicios esenciales y no esenciales ofrecidos en la ciudad, al mismo tiempo que impulsa el desarrollo económico y turístico de la isla.

La propuesta de sustituir los motores de combustión interna convencionales por sistemas de propulsión eléctrica genera importantes beneficios para diversos actores, como el gobierno nacional, la población local y los ministerios de minas, energía y transporte, entre otros debido al cumplimiento de las metas de descarbonización adquiridas por el gobierno nacional y el uso eficiente de la energía [7]. Además, en los últimos años, el desarrollo de estas tecnologías emergentes ha llevado a que el costo total de propiedad de los sistemas eléctricos sea menor que el de las tecnologías de combustión interna comparables. El debate financiero se centra en el costo de ciclo de vida a lo largo de 20 años, donde los sistemas eléctricos ofrecen ventajas significativas en términos de operación y mantenimiento, lo que los hace atractivos [8].

Un modelo de asignación multimodal busca optimizar la distribución de viajes entre diferentes modos de transporte en un sistema de movilidad urbana. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la accesibilidad del transporte al asignar de manera efectiva los viajes a través de modos diversos, como vehículos particulares, transporte público, bicicletas y caminar. Además, un modelo de asignación multimodal busca responder a las preferencias y necesidades de los usuarios, considerando factores como el costo, la distancia, el tiempo de viaje y la comodidad [9]. Por lo tanto, el modelo propuesto conecta la isla de Tierrabomba con Cartagena a través de una ruta establecida entre el muelle de Tierrabomba y el muelle de la Bocagrande. Esto brinda la oportunidad de conexión y transbordo en un paradero de Transcaribe, ubicado a pocos metros del muelle. La distancia de esta ruta es de 2.64 km y se estima que cada trayecto tomará aproximadamente 11 minutos. La demanda de pasajeros se estima en alrededor de 2.870 personas, para lo cual se propone una flota de al menos 20 embarcaciones que realicen al menos 114 viajes al día. La implementación de los botes eléctricos para la operación de esta ruta supone una reducción de alrededor del 95% de las emisiones de CO₂ que se generarían si se pretendieran sistemas de propulsión convencionales.

Capítulo 2

OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Establecer modelo de asignación multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena al sistema integrado de transporte masivo teniendo como principio la transición energética y la descarbonización del transporte de pasajeros.

1.2 Objetivos específicos

Caracterizar los diferentes actores y componentes dentro de un modelo de movilidad multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena para el sistema integrado de transporte masivo.

Proponer un programa de modernización para las embarcaciones existentes usadas en el transporte de pasajeros entre la isla de Tierrabomba y Cartagena, reemplazado motores de combustión interna por tecnologías de energía eléctrica.

Desarrollar un modelo de asignación multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena al sistema integrado de transporte masivo teniendo como principio la transición energética y la descarbonización del transporte de pasajeros

Capítulo 3

PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La isla de Tierrabomba se compone de cuatro corregimientos: Bocachica, Caño del Oro, Punta Arena y Tierra Bomba, y cuenta con una población de 11.485 habitantes [10]. Desafortunadamente, estos residentes no tienen acceso a un sistema de transporte público que les garantice una movilidad adecuada., por lo tanto, en la actualidad, la isla se enfrenta a un desafío fundamental en su infraestructura y transporte: la ausencia de un sistema de transporte público formal. Esta carencia ha generado una serie de obstáculos para la movilidad de los habitantes de la isla, limitando su acceso a servicios esenciales y restringiendo su conectividad con la ciudad. La falta de opciones de transporte público adecuadas ha generado la necesidad imperante de abordar este problema y buscar soluciones que mejoren la calidad de vida de la comunidad local. Según una encuesta de percepción ciudadana realizada en Tierrabomba, aproximadamente el 25% de la población trabaja fuera de su corregimiento, lo que significa que alrededor de 2.870 personas necesitan desplazarse diariamente hacia sus lugares de trabajo [10]. Además, el 66% de los habitantes depende principalmente de las lanchas como medio de transporte para llevar a cabo sus actividades cotidianas. Actualmente, existen siete rutas de lanchas informales disponibles, con un costo promedio de \$7.000 COP, y también existe una ruta de colectivos particulares con un precio promedio de \$15.000 COP. Esto implica que el 55% de la población gasta entre \$0 y \$25.000 COP al día [3].

En 2016, se puso en marcha el sistema de transporte integrado “Transcaribe” en Cartagena, que incluía un corredor troncal principal a lo largo de la avenida Pedro de Heredia con carriles exclusivos. Posteriormente, se abrió la troncal de la Avenida Venezuela con dos estaciones [11]. Sin embargo, actualmente Transcaribe solo ofrece transporte terrestre, dejando sin cobertura a los habitantes de las islas cercanas, incluida Tierrabomba. El transporte y la movilidad son fundamentales para acceder a servicios básicos como alimentación, salud y empleo, entre otros. Por lo tanto, es posible que las necesidades principales de la población de Tierrabomba no estén siendo atendidas al

quedar desconectada del sistema de transporte de la ciudad. Asimismo, contar con un sistema de transporte integrado que garantice la movilidad entre los servicios ofrecidos en Cartagena, como salud, alimentación, trabajo y educación, y la isla de Tierrabomba, abriría la posibilidad de mejorar la calidad de vida de los residentes [12]. Es importante tener en cuenta que actualmente la isla no cuenta con acueducto, alcantarillado y solo dispone de servicios de salud básicos que no operan en condiciones óptimas.

Además, existe un alto índice de contaminación ambiental debido al tipo de embarcaciones y sus sistemas de propulsión [13]. Según un estudio realizado, se determinó que el material particulado generado por un motor fuera de borda durante un trayecto entre Cartagena y la isla de Tierrabomba es de aproximadamente 0.0016 kg PM10-eq [14]. Estos motores utilizan una mezcla de aceite y gasolina corriente, y sus exhostos húmedos expulsan los gases de combustión junto con el agua de mar utilizada para la refrigeración, lo que genera ácido carbónico (H_2CO_3) y contamina el ecosistema marino [15]. Además de las emisiones de CO_2 , el uso de aceites y grasas contamina el ecosistema, impide la reoxigenación y afecta la calidad del agua y el paisaje [14].

La formulación del CONPES 4075 de 2022 y la Ley de Transición Energética 2099 de 2021 han creado un entorno propicio para que el Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de Cartagena evalúe y proyecte la implementación de alimentadores marítimos con propulsión de cero y bajas emisiones [16]. Según lo establecido en estos documentos públicos, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Transporte deberán liderar y apoyar acciones para desarrollar capacidades a nivel territorial que permitan la implementación de estrategias de transporte de bajas emisiones, lo que podría facilitar la asignación de presupuestos para este tipo de proyectos en 2022 y 2023; es factible proponer un programa de sustitución de motores fuera de borda de combustión interna por motores eléctricos. Esto agregaría valor a la gestión ambiental del SITM de Cartagena y cumpliría con lo establecido en la Ley 1964 de 2019, que promueve los vehículos eléctricos y establece que para 2035 el 100% de los vehículos adquiridos por los sistemas de transporte masivo deben ser eléctricos o de cero emisiones [17].

La implementación de un modelo de asignación multimodal entre la Isla Tierrabomba y Cartagena puede ser importante por varias razones que abordan desafíos significativos en términos de movilidad, sostenibilidad y desarrollo en la isla como se mencionó anteriormente [9]. La isla en la actualidad depende en gran medida de embarcaciones informales y artesanales para el transporte de pasajeros. Estos medios de transporte no solo son ineficientes y poco confiables, sino que también pueden ser altamente contaminantes y contribuir a la degradación ambiental. La implementación de un modelo de asignación multimodal podría permitir una transición hacia opciones más sostenibles y eficientes. No obstante, el uso excesivo de embarcaciones informales puede llevar a la congestión en las rutas marítimas y aumentar la contaminación en el área marina circundante. La falta de un sistema de asignación eficiente puede exacerbar estos problemas, impactando negativamente tanto en la calidad del transporte como en la salud ambiental de la zona. La conectividad mejorada entre la Isla Tierrabomba y Cartagena a través de un modelo de asignación multimodal proporcionaría a los residentes un acceso más fácil a oportunidades educativas, de empleo y recreativas en la ciudad [18]. Esto podría tener un impacto positivo en la calidad de vida de la población local y en el desarrollo económico de la isla. Finalmente, la implementación de un modelo de asignación multimodal podría optimizar el flujo de viajes entre diferentes modos de transporte, reduciendo la congestión y mejorando los tiempos de viaje para los residentes. Esto permitiría una utilización más eficiente de la infraestructura de transporte existente y podría contribuir a la mejora general de la movilidad urbana en la región.

Con el interés de construir y desarrollar proyectos en el marco de la transición energética y el desarrollo de la movilidad urbana, es necesario proponer un modelo desagregado con asignación multimodal e inclusión de flota eléctrica entre la isla de Tierrabomba y Cartagena, puesto que, estos modelos desempeñan un papel crucial en la planificación y gestión de sistemas de transporte interconectados en entornos urbanos y metropolitanos, optimizando recursos, mejorando la movilidad y obteniendo una planificación sostenible que ayude a mejorar la calidad de vida de la población, por lo tanto,

un modelo de movilidad multimodal, integrado al STM Transcribe y teniendo como principio tecnologías de cero emisiones, incentivaría la descarbonización del sector transporte e impulsaría la movilidad sostenible conectando a los habitantes de la isla con los servicios esenciales y no esenciales ofrecidos en la ciudad.

Capítulo 4

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

El transporte marítimo y fluvial es uno de los grandes contribuyentes de gases de efecto invernadero, para el 2020 este sector generaba 667 MtCO₂ [19]; incentivar la descarbonización del sector y la implementación de tecnologías de cero y bajas emisiones podría contribuir a la reducción de las emisiones [3]. Así mismo, es importante resaltar que el transporte marítimo y fluvial no solo genera como contaminación los gases de efecto invernadero si no también contamina de manera significativa el agua de los mares y ríos [20]. De igual forma, conforme crece la población mundial, las necesidades del transporte marítimo y fluvial de pasajeros también, es decir, la demanda de este servicio tendrá siempre una tendencia al alza. En consecuencia, enfocar los esfuerzos en generar alternativas para la descarbonización del transporte marítimo y fluvial, en las cuales, la implementación de sistemas de propulsión eléctrica con almacenamiento en baterías o celdas de combustible juega un rol fundamental [21].

4.1 Electromovilidad fluvial urbana en el mundo

Durante los últimos años se han venido desarrollando diversos proyectos y pilotos sobre la implementación de la electromovilidad fluvial y marítima en diversos escenarios geográficos [22], a continuación, un recorrido a lo largo de algunos de estos proyectos y pilotos con relevancia en el mundo y en Colombia.

En Rusia, se implementaron botes tipo ferry totalmente eléctricos en Moscú en 2022, con capacidad para transportar entre 15,000 y 16,000 pasajeros al día [23]. En Nueva Zelanda, se pusieron en funcionamiento dos electro-transbordadores marítimos en

Auckland en 2022, con recorridos de hasta 15 kilómetros, para reducir las emisiones del transporte público [24]. En Suecia, se anunció en 2022 el desarrollo de un electro-ferry rápido para el transporte de pasajeros entre Estocolmo y Tappstrom, con la característica de utilizar quillas "hydrofoil" para eliminar la resistencia al avance por fricción con el agua [25]. En Portugal, se celebró un contrato para el desarrollo de un ferry totalmente eléctrico que operará en el río Tagus en Lisboa y se espera transportar cerca de 19 millones de pasajeros al año [26]. En Noruega, se puso en operación un electro-ferry llamado "Medstraum", construido por el astillero Fjellstrand, con capacidad para 147 pasajeros y velocidad de 23 nudos [27]. En Países Bajos, específicamente en Ámsterdam, se llevó a cabo el proyecto piloto Roboat para la electromovilidad en los más de 100 km de canales internos de la ciudad [28].

En Ecuador, se efectuó un piloto de electromovilidad fluvial en las islas Galápagos, donde se sustituyó el sistema de propulsión de un bote por uno eléctrico. Este piloto exitoso dio inicio al proyecto Genesis, que buscó diseñar y construir un catamarán eléctrico para el transporte de pasajeros entre las islas. En Guayaquil, Ecuador, se implementó la primera fase de electromovilidad fluvial en el estero Salado en 2022, utilizando una flota de botes eléctricos para el transporte de pasajeros y turistas a las ciudades de las riveras [29]. En Chile, el astillero Alwoplast y NavTec construyeron taxis acuáticos solares en Valdivia en 2015, con capacidad para 16 pasajeros y una autonomía de 10 horas [30]. En Argentina, se realizó un proyecto piloto en el río Tigre, donde se reemplazó la propulsión convencional de un bote de pasajeros por una propulsión eléctrica [31].

4.2 Electromovilidad fluvial urbana en Colombia

El transporte de pasajeros por vías fluviales en Colombia desempeña un papel crucial en la conectividad y movilidad de diferentes regiones del país, en las cuales el acceso por vía fluvial es la única forma de llegar a muchas comunidades. Durante el periodo comprendido entre 2010 y 2023 se han realizado avances en el desarrollo fluvial impulsando proyectos de infraestructura y transporte sostenible [32].

4.2.1 Transporte de pasajeros por vías fluviales

En Colombia, existen 155 empresas autorizadas para el transporte de pasajeros, divididas principalmente en los sectores del turismo y el transporte de pasajeros. Para este propósito, el país cuenta con 24,000 km de canales navegables que son recorridos por alrededor de 1,613 embarcaciones de transporte [32]. Además, en el marco del programa Colombia Fluvial 2019-2022 del INVIAS, se han establecido metas como la construcción de 100 proyectos de infraestructura fluvial, la intervención de 5,000 km de vías fluviales navegables, el dragado de 100 km de corredores fluviales y la adecuación de 150 km de esteros [33].

Según un informe realizado por la ANIF en 2013, se transportaron aproximadamente 2,476,500 pasajeros en las diversas rutas fluviales del país. En 2015, esta cifra aumentó a 2,460,460 pasajeros [32]. En 2015 se desarrolló el Plan Maestro Fluvial 2015, que buscaba implementar inversiones para el desarrollo fluvial del país, teniendo en cuenta la integración eficiente del transporte limpio, el fortalecimiento de los operadores y la seguridad en la navegabilidad de los ríos [33]. Después de la implementación del Plan Maestro Fluvial, se informó que en 2016 y 2017 se movilizaron 5,118,751 y 3,632,420 pasajeros respectivamente en las cuencas del Caribe, los embalses, la Orinoquia, el Pacífico y el Amazonas, lo que representó un aumento considerable en el transporte de pasajeros por vía fluvial [34].

4.2.2 Proyectos e iniciativas de electrificación de transporte fluvial

En los últimos años, en Colombia se han llevado a cabo diversos pilotos y proyectos para explorar la transición energética en el sector de transporte marítimo y fluvial. Por ejemplo, en 2015, se implementó un piloto de electromovilidad fluvial en el municipio de Solano, en el río Caquetá. Este proyecto, financiado por la ONG MIVA, proporcionó a la comunidad un sistema de transporte sostenible mediante la incorporación de motores eléctricos en las embarcaciones artesanales utilizadas para el transporte de la población local. En 2020, se seleccionó como ganadora la propuesta de Ferrofluvial 4.0 en la

convocatoria de MinCiencias – UPME 879. Este proyecto tenía como objetivo formular una hoja de ruta para la conversión del transporte férreo y fluvial hacia un modelo sostenible, mediante la implementación de energías renovables y otras alternativas eléctricas, tanto para el transporte de carga como de pasajeros [35].

En lo más reciente se encuentra el proyecto "Revolución en servicios de transporte escolar a través de electromovilidad náutica", llevado a cabo en Bahía Málaga, Valle del Cauca. En colaboración con la Fundación GivePower, la Facultad Administración de la Universidad de los Andes ha implementado tecnologías de bajas y cero emisiones para establecer un transporte escolar sustentable que conecte a la población estudiantil con las instituciones educativas. En febrero de 2023, se entregó el primer bote piloto con propulsión eléctrica para transportar a 21 niños de distintas veredas, marcando así un hito en el avance de la electromovilidad en el país [36].

4.3 Electromovilidad en Cartagena y Tierrabomba

Cartagena cuenta con potencial para la electromovilidad fluvial y marítima, posee recursos hídricos como la bahía interna, la ciénaga de la virgen, diferentes cuerpos de agua internos como el caño Juan Angola, el mar caribe, la zona insular comprendida por la isla de Barú, la isla de Tierrabomba y con acceso directo al canal del Dique el cual se conforma como un afluente artificial del río Magdalena, además, de contar con diferentes puertos como Sociedad Portuaria de Cartagena y Puerto Bahía y la zona industrial del Mamonal la cual se encuentra bordeando todo el litoral costero de la ciudad [37]. Durante los últimos años empresas como Ecopetrol han buscado mitigar la generación de gases de efecto invernadero, por lo cual, han promovido la implementación de tecnologías de bajas y cero emisiones para el transporte, por esta razón, para el 2022 se presentó el primer carro a hidrogeno en conjunto con Toyota [38]. Durante el año en curso, 2023, Ecopetrol en una alianza con la Universidad Tecnológica de Bolívar y el Centro de Innovación Abierta de Ecopetrol para la región Caribe “ECONOVA”, presentaron el AquaBus-2, primera embarcación prototipo para el transporte sostenible en la bahía interna de Cartagena libre de emisiones [39]. La isla de Tierrabomba actualmente se encuentra desvinculada del

sistema de transporte masivo de Cartagena, además, no cuenta con vías de acceso terrestres, ni infraestructura, limitando las posibilidades del transporte al uso de lanchas artesanales operadas de manera informal por los raizales de la isla, estas, propulsadas por motores fuera de borda de combustión por gasolina o mezcla de gasolina y aceite [40].

4.4 Transporte sostenible

El término "sostenible" se ha vuelto popular en los últimos años desde el acuerdo de París en 2015, pero es importante comprender su verdadero valor y significado, especialmente en relación con el transporte [41]. Para que un sistema de transporte sea sostenible, debe cumplir con el principio de las 3E: equidad social, eficiencia económica y eficiencia ambiental [42]. Estas tres dimensiones se definen de la siguiente manera:

- **Igualdad Social:** se refiere a las condiciones que promueven la distribución equitativa de recursos entre la generación actual, considerando niveles comparativos de productividad [42].
- **Eficiencia Económica:** implica condiciones que permiten un uso eficiente de los recursos y la mano de obra, logrando altos niveles de eficiencia económica [42].
- **Responsabilidad Ambiental:** se trata de garantizar que la huella ambiental sea menor que la capacidad del entorno para adaptarse, lo cual incluye el suministro de productos y la eliminación segura de residuos en diversas formas [42].

4.5 Modelos de transporte y transporte multimodal

4.5.1 Definición general de modelo transporte multimodal

Un modelo de transporte multimodal se define como una representación abstracta y simplificada de cómo funcionan y se interrelacionan diferentes modos de transporte en un sistema de movilidad urbana. Este modelo captura las principales características, componentes y relaciones entre los elementos involucrados en la movilidad multimodal, sin entrar en detalles técnicos o específicos de implementación [43].

4.5.1.1 Modelo de transporte multimodal desagregado

Este tipo de modelos se basan en el uso de los datos a nivel individual, lo que permite una mejor comprensión de los comportamientos de viaje, puesto que se basan en las teorías de la elección individual. La demanda de transporte puede definirse como la disposición a pagar, que tienen los consumidores, por hacer uso de una determinada infraestructura o servicio de transporte; así mismo, se puede definir como la cantidad de servicios y usos de las infraestructuras que se desean comprar a cada precio [44].

Los modelos de demanda de transporte se enmarcan en los enfoques de las preferencias reveladas, preferencias declaradas o una combinación de ambas. En el caso en el que se tiene información de los viajes realizados por los usuarios y del tiempo invertido en el viaje, la estimación de la demanda se puede modelar a partir de la teoría de dualidad del consumidor. A este enfoque se le conoce con el nombre de preferencias reveladas. Se habla de preferencias reveladas cuando se observa el comportamiento real de los usuarios, por ejemplo, el medio de transporte utilizado, y de preferencias declaradas o establecidas cuando se obtienen respuestas de los individuos ante situaciones de elección hipotéticas [2].

4.5.1.2 Modelo de asignación multimodal

Es una herramienta fundamental en la planificación y gestión de sistemas de transporte interconectados. Estos modelos permiten asignar viajes de manera eficiente a diferentes modos de transporte, optimizando la utilización de la red y mejorando la movilidad en entornos urbanos y metropolitanos cada vez más complejos. Los Modelos de Asignación Multimodal son técnicas de análisis que determinan cómo se distribuirán los viajes entre diferentes modos de transporte, considerando factores como el tiempo de viaje, la capacidad de la infraestructura, los costos y las preferencias de los usuarios. El objetivo principal es optimizar la asignación de viajes para minimizar la congestión, reducir los tiempos de viaje y mejorar la accesibilidad. Utilizan datos sobre la red de transporte, incluidas carreteras, vías férreas, rutas de autobús y otros modos, así como información sobre tiempos de viaje, frecuencias de servicio y capacidades [9].

Los Modelos de Asignación Multimodal tienen varias aplicaciones prácticas:

- **Planificación del Transporte Público:** Las agencias de transporte pueden utilizar estos modelos para determinar la asignación de viajes entre diferentes rutas y servicios de transporte público.
- **Gestión del Tráfico:** Los gobiernos locales pueden utilizar estos modelos para gestionar el flujo de tráfico y aliviar la congestión en carreteras y vías férreas.
- **Diseño de Infraestructura:** Los ingenieros de transporte pueden utilizar estos modelos para optimizar el diseño de infraestructura de transporte, como rutas de autobús y ubicación de paradas.

4.5.2 Elementos principales para la formulación de un modelo de asignación multimodal

- **Elección modal:** concentra la información que lleva el supuesto de que los individuos eligen el modo de transporte más conveniente teniendo en cuenta factores como el tiempo, costo, comodidad y accesibilidad, por tanto, los modelos multimodales consideran las preferencias de los individuos o usuarios para analizar cómo se distribuye la demanda entre los diferentes modos [1].
- **Movilidad sustentable o sostenible:** tiene como objetivo incentivar formas de transporte que sean económicamente viables, socialmente equitativas y ambientalmente sostenibles como se mencionó anteriormente con el concepto de las 3E, en consecuencia, los modelos multimodales concentran esfuerzos en integrar modos de transporte de bajo impacto ambiental, como sistemas de cero y bajas emisiones en el transporte público [1].
- **Planificación del uso del suelo:** la planificación urbana juega un rol fundamental en la construcción y elaboración de modelos de movilidad multimodal aplicados al transporte público, por tanto que, influye en como las personas se desplazan dentro de una ciudad, luego entonces, los modelos multimodales consideran la densidad y distribución de la población, así como la ubicación de servicios y empleos, para

diseñar sistemas de transporte que se adapten a las necesidades locales y particulares de cada urbanismo [1].

- **Evaluación de impacto ambiental y sostenibilidad:** la creación de modelos multimodales considera el impacto ambiental de diferentes modos de transporte, fomentando la adopción de opciones más sostenibles. Se evalúan las emisiones de gases de efecto invernadero, la calidad del aire y otros factores ambientales [1].
- **Gobernanza y políticas públicas:** La formulación de políticas de transporte y movilidad influye en la adopción de modelos multimodales. Las regulaciones, incentivos y financiamiento pueden promover la inversión en infraestructura para modos de transporte específicos [1].
- **Participación comunitaria:** es esencial para el éxito de los modelos multimodales, la retroalimentación de los usuarios y la colaboración con partes interesadas locales ayudan a diseñar sistemas que atiendan las necesidades reales de la población [1].

Capítulo 5

METODOLOGÍA

La ejecución del proyecto se llevó a cabo mediante la caracterización de los actores y elementos del transporte público en Cartagena y Tierrabomba, proponiendo una alternativa para la sustitución de motores de combustión interna por motores eléctricos y un modelo de movilidad multimodal que conecte la isla con Cartagena, en aras de lograr los objetivos del presente proyecto se establecen las siguientes líneas de acción:

- **Revisión bibliográfica:** Se estableció el estado actual de la electromovilidad a 2023 en el sector marítimo a nivel internacional con el objetivo de poder conocer las oportunidades y el estado del mercado, de forma que, se puedan proponer soluciones de éxito que sean viables y aplicables al contexto del proyecto.
- **Levantamiento de información en campo:** se realizó un modelo de encuesta para la toma de datos sensibles para la formulación del proyecto, entrevistando a la población de la isla que toma el servicio de transporte público para moverse hacia Cartagena,

procurando obtener una muestra poblacional en distintos rangos de edad y géneros para cual se cumplirá con:

- **Elaboración de requisitos:** se plantearon los requisitos necesarios para la toma de datos que pretendan la adquisición de información de interés para la integración de vehículos marítimos al sistema integrado de transporte masivo y el dimensionamiento de las rutas, horarios y frecuencias.
- **Toma de datos:** la toma de datos comprendió un trabajo de campo por el cual se realizaron mediciones de flujo de pasajeros, horarios, costo del transporte actual y encuestas, de forma que, se pudo realizar un análisis cuantitativo y cualitativo que permitió identificar las necesidades, oportunidades y demanda del servicio. La recolección de datos de flujo, horario y costos se realizó por medio observación, se llevó el control mediante un formato que luego permite emplear un análisis estadístico de los resultados. Por su parte, las encuestas que se realizaron de manera abierta y cerrada. Mediante las encuestas abiertas se obtuvo información sobre la percepción que tienen los usuarios con relación a el sistema de transporte actual y sobre el deseado, por su parte, la encuesta cerrada nos permitió obtener datos sobre variables específicas necesarias para el desarrollo del modelo.
- **Análisis de datos:** el análisis de datos fue elaborado mediante herramientas de estadística inferencial por las cuales se elaboraron métodos que a través de una muestra significativa pudieron establecer hipótesis para la población objetivo.
- **Caracterización de actores y elementos:** la caracterización de la población fue importante para determinar la capacidad de las embarcaciones para el abordaje de personas con movilidad reducida, así mismo, permitió tener una visión sobre las necesidades de la demanda, por ejemplo, si durante la caracterización de la población se observa un alto flujo de estudiantes y trabajadores en la franja comprendida entre las 6 a.m. y las 8 a.m. se deberá tener en cuenta para realizar un plan de respuesta a esta demanda, en frecuencia y capacidad de pasajeros/hora.
- **Caracterización de rutas:** se establecieron las rutas con el análisis de los resultados obtenidos en función de zonas hacia donde las cantidades de flujo de pasajeros fueron

suficiente para requerir el trayecto. La construcción de las rutas jugó un rol fundamental en la ejecución del proyecto, por tanto, se abordó desde las encuestas cerradas, el análisis de flujo de personas y la dirección en la que se movilizan.

- **Estudio de mercado regional, nacional e internacional de motores eléctricos fuera de borda:** se realizó un estudio de la oferta de motores eléctricos fuera de borda, el cual, es relevante para la realización de un programa de sustitución, mediante este ejercicio, se buscó determinar la opción técnico económica más viable para el programa.
- **Elaboración de la propuesta de programa de sustitución de motores:** se propuso un mecanismo de sustitución de motores para la modernización de la flota teniendo en cuenta tecnologías de cero y baja emisión, costos de adquisición y mantenimiento y las especificaciones adecuadas para el tipo de embarcación, costo de ciclo de vida y tiempos de ejecución.
- **Desarrollo del modelo de integración de vehículos de superficie marítima al SITM de Cartagena:** con el resultado de las actividades anteriormente mencionadas, se elaboró un modelo para la integración de la flota marítima al sistema integrado de transporte masivo, logrando un sistema multimodal que conecta a la isla de Tierrabomba con Cartagena.

Capítulo 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos durante la realización del proyecto.

6.1 Resultados de la encuesta realizada a la población de Tierrabomba

La metodología utilizada consistió en un formato de selección múltiple para medir la opinión y percepción de las personas en diferentes aspectos relacionados con el sistema de transporte actual y la expectativa que tienen, además, se recopilaron datos demográficos de la población. La muestra fue de 50 personas tomadas de manera aleatoria que se

encontraban desembarcando de la lancha en el muelle de bocagrande, población proveniente de la isla de Tierrabomba, durante la jornada de 6:00 a.m. hasta las 8:00 a.m. en días hábiles, de manera presencial, asistiendo a las personas en llenar la encuesta mediante medio magnético. Durante las jornadas de encuesta, se procuró abordar personas de diferentes edades y géneros para intentar obtener un espectro amplio de la población. Para ver todos los resultados obtenidos, el lector puede consultar el Anexo 1 del presente documento, a continuación, se presentarán los resultados más significativos.

Los resultados revelan que el 100% de la población encuestada pertenece al estrato socioeconómico 1. En cuanto a las edades, el 58% de los encuestados se encuentra en el rango de 26 a 35 años, mientras que el 26% tiene entre 15 y 25 años. En términos de género, el 70% de los encuestados fueron hombres y el 30% mujeres. En cuanto al medio de transporte actual, se observa que el 88% de los encuestados utiliza lanchas rápidas como principal medio de transporte. Con relación al motivo de desplazamiento, se encontró que el 72% de los encuestados se moviliza para llegar a su trabajo, el 26% para ir a estudiar y solo el 2% para acceder al sistema de salud.

En tiempos de desplazamiento, se evidencia que más del 70% de las personas tardan más de 10 minutos en movilizarse desde su casa al muelle de embarque. Además, el 98% de los encuestados tarda más de 15 minutos en el recorrido en lancha entre la isla y Cartagena, y el 85% requiere más de 11 minutos desde el muelle hasta su destino final en Cartagena. El tiempo de espera para abordar una lancha también es significativo, ya que más del 84% de las personas esperan más de 15 minutos. La percepción de calidad, asequibilidad y satisfacción del transporte actual es baja, siendo la calificación más común de 3 o inferior en una escala del 1 al 5.

Los muelles más utilizados son Tierrabomba, Bocagrande y Bazurto. Por otro lado, se encontró que el 74% de las personas encuestadas no utiliza los servicios de Transcribe, el sistema de transporte masivo de Cartagena. En cuanto a la disposición a pagar, se destaca que el 90% de las personas estaría dispuesto a utilizar el servicio de Transcribe si existiera

un costo único que integrara el transporte marítimo y terrestre, llegando a pagar hasta \$ 6.000 pesos. Asimismo, el 62% estaría dispuesto a abandonar el transporte informal si el pasaje incluyera el transbordo a Transcaribe. En relación con la frecuencia de salidas, el 76% de las personas considera que las embarcaciones deberían salir cada 10 minutos.

6.2 Caracterización de muelles y lanchas

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron visitas al muelle de Bocagrande, donde llegan las embarcaciones de pasajeros procedentes de la Isla de Tierrabomba. A través de encuestas y observaciones, se pudo determinar que las lanchas rápidas son el tipo de embarcación utilizado para el transporte de pasajeros. Se evidenciaron múltiples embarcaciones desembarcando pasajeros en Bocagrande, revelando la falta de un muelle adecuado y el riesgo al que se exponen las personas al utilizar este medio de transporte y desembarcar en condiciones inseguras en la costa.

Estas lanchas rápidas son fabricadas artesanalmente en fibra de vidrio y están equipadas con motores de propulsión fuera de borda de gasolina, en muchos casos, de tipo "dos tiempos". Durante las visitas a las zonas de embarque de pasajeros, se pudo constatar que estas embarcaciones no cumplen con las condiciones mínimas de seguridad establecidas en la Resolución 0575 de 2019 de la Dirección General Marítima – DIMAR. Según dicha resolución, las embarcaciones de transporte de pasajeros en aguas protegidas deben estar debidamente registradas ante la Capitanía de Puerto correspondiente, en este caso, la Capitanía de Puerto de Cartagena. Además, estas embarcaciones deben contar con los elementos de seguridad y navegación necesarios descritos en la resolución [45].

En la actualidad, Cartagena solo dispone de un muelle autorizado para el transporte público de pasajeros, el "Muelle de la Bodeguita", que realiza inspecciones diarias para garantizar el traslado seguro de los pasajeros y verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y navegación por parte de las embarcaciones que zarpan y atracan. Sin embargo, el transporte de pasajeros desde y hacia la Isla de Tierrabomba se lleva a cabo en un entorno informal, utilizando muelles no habilitados o realizando maniobras cerca de la orilla para que los pasajeros desembarquen en el agua y las olas. Estos muelles informales,

conocidos como "Bocagrande" y "Bazurto" debido a su ubicación en estos barrios, carecen de cualquier tipo de control y no cumplen con las condiciones mínimas de seguridad [46].

6.3 Caracterización de los principales actores del transporte público entre Tierrabomba y Cartagena

Dentro del entorno del transporte público en Cartagena y Tierrabomba, se identificaron varios actores clave distribuidos en diversas categorías. Entre ellos se encuentran la población local, entidades estatales como la alcaldía, la secretaría de movilidad y los ministerios de transporte y de minas y energía, entre otros. Además, también se pueden destacar actores como los comercializadores de motores eléctricos, los generadores de energía autónomos, los mecánicos y reparadores de motores, y los fabricantes artesanales de embarcaciones. En la Tabla 1, se observan los actores identificados para el sistema de transporte público y su principal rol¹.

6.4 Propuesta para sustitución de motores fuera de borda por combustión interna

Para el desarrollo de la propuesta fue necesario seleccionar un modelo de casco base con el cual, a partir de él, se pudieron realizar los cálculos correspondientes al sistema de propulsión eléctrica. Haciendo una revisión de los diferentes astilleros locales y regionales, se optó por el conocido astillero Eduardoño, adoptando el bote de transporte expreso 260E, cuyas características principales corresponden a 7.95 m de eslora, 2.64 m de manga, 2000 kg de carga útil, 1.10 m de puntal, 300 HP de capacidad máxima para propulsión, una velocidad máxima de 30 nudos, 1450 kg de peso y un espejo de 0.64 m; se debe considerar que la velocidad máxima de 30 nudos y la potencia máxima de 300 HP, son la máxima que soporta el casco, sin embargo, se pueden desarrollar velocidades inferiores según sea requerido y por consiguiente se requiere menos potencia instalada en el sistema de propulsión. El diseño del casco fue realizado por el fabricante para contar con motores de propulsión fuera de borda, por tal razón, la propuesta eléctrica se debe considerar con motores fuera de borda eléctricos reduciendo la ventana de posibilidades

¹ Todas las tablas y figuras están ubicadas en el apéndice.

para la selección del motor más adecuado, adicionalmente, deberá acondicionarse el espacio del tanque de combustible para el sistema de almacenamiento de energía.

Para cubrir la demanda inicial planteada el modelo de multimodalidad, el bote eléctrico deberá ser capaz de realizar 12 viajes de 2.64 km durante las jornada pico de la mañana y otros 12 viajes durante la jornada de la tarde, lo que permite realizar el proceso de recarga durante las horas valle del sistema. Luego entonces, cada embarcación deberá contar con un sistema de propulsión que le permita desarrollar una velocidad de hasta 12 nudos con lo que recorrerá esta distancia en un promedio de 9 minutos aproximadamente, teniendo en cuenta la velocidad de aproximación al muelle en 3 a 4 nudos.

El dimensionamiento del sistema de propulsión esta netamente ligado a cálculo de capacidad o potencia nominal de la configuración de motores requerida para el desplazamiento el bote a una velocidad máxima específica, en este caso, por ser motores fuera de borda, el eje, transmisión y propela se encuentran compactos dentro de la cola del motor a diferencia de los motores intra borda en los que se realiza el acople del eje y la propela, por esto, no se debe realizar diseño para acoplar estos elementos. Revisando la curva de potencia /velocidad del casco (Ver [Figura 3](#)) se puede observar que, para alcanzar una velocidad de 4 nudos se requieren de 16 kW y para una velocidad máxima de 12 nudos, se requieren de 75 kW, luego entonces, el sistema de propulsión deberá contar con una potencia nominal no menor a 75 kW para que pueda desarrollar la velocidad deseada.

Se realizó una revisión tecnológica y comercial de los motores fuera de borda eléctricos que existen en el mercado y que cumplan con el requerimiento de capacidad nominal necesario para el bote, dentro de los cuales se encontraron los siguientes fabricantes, Torqeedo, Evoy, Pure Water Craft, Elco y Vision Marine Technologies, los cuales cuentan con los modelos, Deep Blue de 50 kW, Breeze 120+ de 90 kW, Pure Outboard de 38 kW, EP-50 de 38 kW y E-motion de 135 kW respectivamente. Teniendo en cuenta que la potencia requerida para alcanzar los 12 nudos es de 75 kW y por cumplimiento convenio internacional para la seguridad marítima – SOLAS [47], se

establece que la configuración más viable para el proyecto es de 02 motores Torqeedo Deep Blue de 50 kW, obteniendo una potencia nominal de 100 kW.

Una vez fue obtenido el dimensionamiento del sistema de propulsión, se tiene el punto de partida para realizar los cálculos iniciales para la autonomía del sistema, que, a su vez, será el punto de inicio para realizar el dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía. Para realizar una correcta estimación de la autonomía del bote, se debió tener en consideración las siguientes premisas:

- Se consideran tres maniobras durante el recorrido: zarpe, navegación y atraque.
- Durante la maniobra de navegación se prevé que el bote se encuentre el 100% del tiempo a velocidad máxima de 12 nudos.
- Durante la maniobra de zarpe y atraque, será considerado un consumo de energía basado en una velocidad de 4 nudos o 16 kW durante el tiempo que dure la maniobra.

De esta forma, se logró normalizar el consumo estimado de energía durante los trayectos que realizarán los botes, así mismo, para prevenir la posible desviación que puede haber entre el consumo real y el estimado debido a la estocasticidad en las condiciones de navegabilidad (corrientes, mareas, viento, otros), se otorgó un 20% adicional de capacidad para obtener un margen de seguridad. En la [Figura 5](#) y [Figura 6](#), se puede observar la densidad energética requerida por trayecto y un perfil aproximado de descarga de las baterías de acuerdo a los recorridos realizados en un periodo de 24 horas, debe tenerse en cuenta que, estas son aproximaciones que no representan con exactitud el perfil de descarga debido a la estocasticidad que presenta la maniobrabilidad de la embarcación con relación a las condiciones meteorológicas durante la operación.

Lo siguiente fue establecer el perfil operacional del bote, para esto se determinaron cuantas horas del perfil estará el bote en navegación y cuantas, en maniobra de atraque y zarpe, luego, teniendo en cuenta que el bote realizará 12 viajes por jornada entre recarga,

cada jornada tendrá un alcance de 31,68 km aproximadamente, luego entonces, se estimó que el bote durante el recorrido se encuentre el 30% del tiempo realizando zarpe y atraque y el 70% a velocidad máxima en maniobra de navegación, por consiguiente, se obtienen 1665 horas de operación anuales. Teniendo en cuenta el perfil operación descrito, para cada jornada se tendrán 9.5 km a una velocidad de 4 nudos y 22.17 km a velocidad máxima, realizando el total de recorridos de la jornada en 2:16 hh:mm, por lo tanto, esta será la autonomía que requiere el bote entre cada tiempo de recarga. Una vez determinado el tiempo de autonomía que requiere el bote, se estableció la cantidad de energía necesaria para satisfacer esa demanda, por tanto, en consideración de lo anterior, logró determinar que la energía necesaria para cumplir con la autonomía más un margen de seguridad del 20%, es de 114,4 kWh.

Posteriormente, el dimensionamiento del sistema de almacenamiento por medio de baterías deberá cumplir con los requerimientos de propuestos anteriormente, de esta forma, el bote de transporte podrá contar con la capacidad suficiente para realizar su operación diaria. Una vez obtenido el requerimiento de energía, se procedió a evaluar la oferta de baterías disponible en el mercado internacional, regional y local, donde se reconocieron los comercializadores BMW y Evoy, con los modelos, Deep Blue Battery 80 de 80 kWh, Deep Blue Battery 40 de 40 kWh y Energy Long Range de 126 kWh respectivamente. Teniendo en cuenta el requerimiento energético, los ciclos de carga y descarga, la capacidad de almacenamiento de cada una de las baterías y el costo unitario se consideró pertinente seleccionar las baterías Torqeedo Deep Blue Battery 40, por tanto, se requieren tres unidades para cumplir con el requerimiento.

Finalmente, el sistema de carga ofertado por el fabricante tiene la capacidad de implementar hasta 3 cargadores de 22 kW en paralelo para ofrecer una capacidad total de 66 kW, por consiguiente, el tiempo necesario para recargar los 114 kWh instalados es de 1 hora y 43 minutos aproximadamente, el cual, teniendo en cuenta el rango de horas valle con el que cuenta la demanda, es un tiempo aceptable.

6.5 Análisis financiero para la sustitución de motores fuera de borda

Para realizar el análisis financiero del proyecto, se realizó el cálculo de costo de ciclo de vida y el costo total de propiedad de dos tecnologías comparables, tecnología convencional con motores fuera de borda a gasolina y motores fuera de borda eléctricos. Así, una vez obtenidos los resultados de ambas tecnologías se logró comparar económicamente ambas, obteniendo los resultados presentados en este capítulo.

6.5.1 Costo de ciclo de vida y costo total de propiedad - Convencional

El costo de ciclo de vida de los sistemas de propulsión convencionales esta dado por el CAPEX (costo de adquisición de la tecnología) y el OPEX el cual corresponde al costo de operación y mantenimiento, para el análisis realizado, se tuvo en cuenta una pareja de motores fuera de borda Suzuki de 70 HP, su consumo específico de combustible 5000 y 2000 r.p.m, a las cuales se realizarán las maniobras de navegación y aproximación a muelle respectivamente. Luego entonces, el CAPEX de esta tecnología está compuesto por el costo de adquisición de la pareja de motores, el cual fue de 68 millones, seguidamente, se puede observar en el Anexo 3, la información de entrada para la estimación del OPEX, el consumo específico de combustible, el cual es, 11.2 GPH, la velocidad, el alcance, horas de operación, margen de seguridad, entre otros.

Observando el Anexo 3 se pudo evidenciar que para el análisis del OPEX de esta tecnología, se tuvo en cuenta el costo de consumo de combustible anual, el costo de 16 mantenimientos anuales debidos a las horas de operación por cada año y la adquisición de nuevos motores cada 5000 horas que corresponden al ciclo de vida operativo que pueden ofrecer. Por tanto, el valor obtenido para los costos de operación y mantenimiento del primer año es de 235 millones aproximadamente, obteniendo finalmente un costo a 20 años de 10.611 millones. Este valor es sensible a las horas anuales de operación, toda vez que, a esta tecnología se le debe realizar un mantenimiento preventivo y cambios de aceite cada 100 horas de operación, lo cual para una aplicación de transporte publico pudiera ser poco.

Finalmente, para esta tecnología se evaluó también el costo total de propiedad teniendo en cuenta los costos directos de adquisición, mantenimiento y operación, con el fin de poder compararlo con el costo total de propiedad de la tecnología electricidad forma que se pueda comparar cal de las dos tecnologías evaluadas en su operación durante 20 años resulta más conveniente. Para esta tecnología como se observa en el Anexo 3, se obtuvo un valor de 567.793 \$/COP.

6.5.2 Costo de ciclo de vida y costo total de propiedad - Eléctrica

Para realizar el costo de ciclo de vida de los motores eléctricos, fue considerado el sistema descrito anteriormente y compuesto por una pareja de motores Torqeedo Deep Blue de kW y tres unidades de baterías Deep Blue Battery 40, con proyección de 20 años de operación, sin embargo, en este análisis se estableció un recambio de baterías cada 4 años, tiempo en el cual se estima cumpla con su ciclo de vida. Es importante resaltar que los cálculos fueron elaborados para una sola embarcación de manera individual y se resultado corresponde a los costos de modernizar una embarcación, por tanto, para realizar la modernización de una flota, se deberá multiplicar el resultado por el número de unidades que se deseen modernizar. Para estos motores, el fabricante declara que son libres de mantenimiento, sin embargo, se consideró un 2% del CAPEX en servicio de mantenimiento preventivo como limpieza de componentes y conectores.

Para realizar el análisis de costo de ciclo de vida de esta tecnología se incluyó dentro del CAPEX el costo de adquisición de los motores fuera de borda y el banco de baterías por el cual es suministrada la energía necesaria para su operación. En total, el costo de adquisición de estos elementos es de \$250 millones aproximadamente, siendo un valor relativamente mayor si es comparado con el costo de adquisición de los motores convencionales.

Dicho esto, parte del análisis fue determinar el costo del energético el cual está determinado por el costo de la energía eléctrica en la ciudad de Cartagena que es suministrado por el comercializador Afinia, la tarifa está establecida en 851 \$/kWh [48],

luego este valor es indexado con el Índice del Precio al Consumidor (IPP) de los contratos de largo plazo en el mercado de energía, esto, toda vez que la demanda eléctrica del mercado colombiano esta atendida aproximadamente en un 70% por estos contratos de largo plazo, mientras que el 30% restante se ejecuta con el mercado diario. Esta decisión, mitiga el ruido que puede introducir la volatilidad en los precios de la energía debido a el componente estocástico del fenómeno del niño y la niña y su incidencia en el precio del mercado diario [49]. Una vez realizado el análisis se determinó que el costo del energético para atender la demanda de un bote en la operación de un año es de 81 millones de pesos.

Seguidamente, fue estimado el costo del OPEX, para este fue tenido en cuenta el costo de operación y el costo del mantenimiento anual de la tecnología, realizado el análisis para el primer año el costo total fue de 81 millones para el energético y de 2.5 millones aproximadamente, obteniendo finalmente un costo operativo anual de 83.5 millones. Esto es un costo atractivo para la operación del sistema teniendo en cuenta que la tecnología convencional tiene un OPEX de 8.369 millones. Se debe considerar que el costo del energético para este caso es menor que el costo del energético convencional, es decir, si comparamos el costo de la energía eléctrica con el precio de la gasolina, esta es más económica, además, en el escenario político actual de Colombia, no se contemplan de momento nuevas exploraciones de reservas probadas, luego, es de esperarse que el precio del combustible siga aumentando, contrario a lo que puede suceder con el precio de la energía en la medida en que se vayan ejecutando las obras de ampliación de energías renovables, las políticas públicas de uso racional de la energía y la transición energética.

El costo total de propiedad del bote, incluye todos los costos directos e indirectos asociados a la adquisición y mantenimiento proyectados a 20 años, así como el valor de retirar dicho activo una vez cumple su ciclo de vida, este CPT (Costo total de propiedad) permite normalizar los costos para poder hacer comparaciones justas con las otras tecnologías, estos costos finalmente son expresados en COP/km, lo cual, permite analizar de forma directa cuando va a costar movilizar ese vehículo por cada kilómetro que recorra, esto junto con la cantidad de personas que transporta, es lo que logra hacer atractivo un

vehículo de transporte público, entre menor sea el CPT y mayor sea el número de personas que se transportan, mayor será el beneficio. Para el análisis realizado, esta tecnología tuvo un resultado de 402.036 \$/km, el cual, comparado con el de la tecnología convencional es un 29% inferior.

Estos resultados fueron comparados en su totalidad con el costo de ciclo de vida para 20 años y el CPT de la tecnología convencional, la cual, aunque son más económicos en términos del CAPEX, al analizar sus costos de operación y mantenimiento tienen una diferencia significativa, estos requieren de mantenimientos cada 100 horas de operación, lo cual por el perfil operacional del bote, alcanzan a ser 16 mantenimiento anuales, adicionalmente, tienen una vida útil máxima de alrededor de 5000 horas, por lo que luego se les debe realizar un reemplazo, esto, introduce costos a lo largo de los 20 años, por tanto si observamos porcentualmente, el costo de operación de la tecnología eléctrica es un 27% inferior, lo que desde el punto de vista financiero, representa una oportunidad para la penetración de estas tecnologías.

Finalmente se pudo observar con el análisis de costo de ciclo de vida y el costo total de propiedad que, aunque la implementación de estas nuevas tecnologías tiene un costo de adquisición más elevado, tiene beneficios financieros a largo plazo, haciendo que la barrera económica y financiera sea cada vez menor. Así mismo, estas nuevas tecnologías al requerir un mantenimiento menos periódico a causa de no tener fluidos de refrigeración y partes móviles para la combustión hacen que su operación a lo largo del tiempo sea mucho más económica que las tecnologías convencionales; por otro lado, utilizar energía eléctrica como energético para el sistema, se presenta una oportunidad de generar a partir de fuentes no convencionales de energía renovable como la solar fotovoltaica o la generación eólica, ambas con gran potencial en la región caribe del país [50], lo que contribuiría con la mitigación del impacto ambiental por el sector del transporte de pasajeros, lo anterior considerado que la matriz energética en esta región, actualmente es mayoritariamente compuesta por generación térmica. En el Anexo 2, se encuentra el detalle de los cálculos realizados para el análisis financiero.

6.6 Modelo de movilidad multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena

A continuación, se presenta el modelo de multimodalidad entre la isla de Cartagena y Tierrabomba, abordando la demanda y oferta de botes y buses, tipo de embarcaciones, infraestructura de recarga, fuentes de financiamiento, retos, barreras y oportunidades.

6.6.1 Modelo de multimodalidad entre Cartagena y Tierrabomba

Tomando los resultados obtenidos en el informe de calidad de vida de Cartagena Como Vamos, el 25% de la población trabaja fuera de la isla, luego teniendo en cuenta que la población es de 11.485 [10], se podría estimar una demanda diaria de hasta 2.870 pasajeros, la cual podría cubrirse con embarcaciones que puedan transportar hasta 25 pasajeros, esto quiere decir que se requieren aproximadamente 114 viajes para cubrir esa demanda; cada recorrido tiene una duración de ida y vuelta de 30 minutos, distribuidos en 10 minutos por trayecto y 10 de embarque y desembarque, luego, dicho esto, se debe considerar una flota de al menos 20 embarcaciones, las cuales realizaran 2 viajes por cada hora, logrando cubrir esta demanda pico en la mañana durante 3 horas. Luego se espera una hora valle en donde habría desplazamiento de turistas y locales a la isla, para esto se debe estudiar el comportamiento durante la implementación del sistema para establecer de manera acertada la demanda en estas horas y así poder estimar cuantas embarcaciones deberán quedando operativas y con qué frecuencia. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, los botes de pasajeros entregarán máximo 500 pasajeros cada 30 minutos, luego entonces, se deberá proveer al menos 10 buses convencionales con capacidad de 50 pasajeros, capacidad establecida en la concesión de la operación otorgada con el número de licitación pública TC-LPN-002.1-2011 [51], en un lapso de 30 minutos antes de que arriben los siguientes 500 pasajeros al muelle. Para las horas valle, se deberá realizar la estimación junto con la de los botes de pasajeros, de forma que la oferta de buses terrestres sea congruente con la oferta de botes para estas horas.

Como parte de la encuesta realizada en el presente proyecto se identificó que la ruta más usada por la población es la comprendida entre Tierrabomba y Bocagrande, la cual

corresponde al 84% de la población encuestada. Sin embargo, es válido resaltar que Cartagena solo cuenta con un muelle formal llamado Bodeguita, los demás muelles, son empleados de manera informal y sin ningún tipo de control por parte de la autoridad marítima, así, aunque los muelles de Tierrabomba aparecen registrados como formales en el Mapatón Cartagena 2019, esto se debe a que son los únicos con los que cuenta la población [46].

Utilizando el Mapatón Cartagena y Google Earth, se obtuvieron las distancias de los trayectos en lanchas que son utilizados por la comunidad raizal de la isla. Las distancias fueron de 2.64 km de Tierrabomba a Bocagrande, 6.7 km de Tierrabomba a Bazurto y 7.05 km entre Tierrabomba y Bodeguita. Se decidió realizar el diseño de la embarcación en el recorrido de Tierrabomba hacia Bocagrande debido a que es una distancia corta, presenta un paradero de Transcaribe cercano el cual está integrado con la ruta T103, además, en la encuesta realizada obtuvo el mayor número de recurrencia, mostrándose como el muelle más usado por la población que se desplaza de la isla a Cartagena.

Adicionalmente, en la Figura 1, se propusieron dos rutas marítimas adicionales para brindar mayor cobertura con el resto de la ciudad, para estas, se realizó la integración con las rutas T103 que cubre el barrio de bocagrande hasta la estación de la bodeguita, X102 que se intercepta con la estación propuesta en el muelle de Bazurto y la ruta X105 que cubre desde Bocagrande hasta Ciudadela 2000 interceptando todos los muelles propuestos a lo largo de la ruta, brindando así una mayor conectividad en la movilidad entre las rutas marítimas y las distintas zonas de la ciudad, todo esto es gracias a los cuerpos de agua de Cartagena como la bahía interna de la ciudad, la ciénaga de las quintas y el caño de Bazurto, estas rutas propuestas se estima puedan mejorar la circulación de las personas hacia y desde la ciudad en una etapa posterior del proyecto de ser implementado.

6.1.1.1. Ruta: Tierrabomba – Bocagrande

Esta ruta conecta a los usuarios que desembarcan en el muelle de bocagrande con Transcaribe en el paradero que se encuentra en la carrera 3 con calle 4, por tanto, los usuarios deberán desplazarse alrededor de 750 metros para llegar al punto de transbordo, una vez se encuentren en ese lugar, podrán acceder a la ruta T103 de Transcaribe, la cual conecta con la estación Bodeguita, para tomar un segundo alimentador hacia la zona norte de la ciudad o para seguir el recorrido hasta el portal de Transcaribe, cruzando toda la ciudad.

6.1.1.2. Ruta: Tierrabomba – Bodeguita

Por medio de esta ruta se conecta a la isla con una de las estaciones principales de Transcaribe, esta es la estación Bodeguita, en este punto los usuarios podrán tomar diferentes alternativas de rutas para desplazarse a su lugar de destino dentro de la ciudad. Principalmente se destacan la conexión con la ruta T103 y X105, ambas, recorren la mayor parte de la ciudad. Así mismo, esta ruta se consideró importante, toda vez que, se encuentra vinculada con el único muelle formal que existe actualmente en la ciudad, el muelle de la bodeguita y que así mismo, la estación de Transcaribe se encuentra a 15 metros, por tanto, tiene el potencial para convertirse en un punto de referencia para la multimodalidad del sistema.

6.1.1.3. Ruta: Tierrabomba – Bazurto

Esta ruta tiene una importancia considerable para el sistema, aunque en los resultados de las encuestas, no se destacó tanto como Bocagrande, vale la pena resaltar que Bazurto representa una central de abastos para la ciudad, donde las personas tienen acceso a bienes y servicios de la canasta familiar y se considera una plaza de mercado. Igualmente, esta estación cuenta con integración al sistema de Transcaribe con la ruta X102, la cual, pasa por la Avenida del Lago o Carrera 19, bordeando la ciénaga de las Quintas, lo cual permite la adaptación de un muelle que genere el entorno seguro para realizar un transbordo de las embarcaciones hacia los boses alimentadores.

Finalmente, para que la implementación del modelo multimodal entre la isla y Cartagena funcione, se requiere de la participación de Transcaribe como operador del sistema integrado de transporte de la ciudad, de una inversión del gobierno nacional que permita afrontar los retos de infraestructura de embarcaderos para los usuarios, además, la alcaldía local de Cartagena junto con Transcaribe, deben evaluar el Fondo de Estabilización Tarifaria FET, para otorgar a los usuarios de la isla una tarifa que les permita acceder al sistema.

6.6.2 Tipología de embarcaciones

Las embarcaciones propuestas para la implementación de la multimodalidad en el sistema están conformadas por un casco tipo V, con sistema de propulsión fuera de borda eléctricos, sistemas auxiliares de seguridad y comunicaciones y sistema de almacenamiento por medio de baterías de Li-NMC (Lithium nickel manganese cobalt oxides). En la [Figura 4](#), se observa el esquemático propuesto para la modernización de las embarcaciones a tecnología de propulsión eléctrica.

6.6.3 Infraestructura de recarga de embarcaciones

Los botes irán equipados con tres cargadores AC/DC para recargar el sistema de almacenamiento de baterías con una capacidad de 66 kW, la alimentación de estos cargadores es de 440V por lo cual es el nivel de tensión que deberá suministrar la estación de carga, sin embargo, teniendo en cuenta un factor de seguridad del 20% la potencial mínima instalada en la estación de carga por cada punto debe ser de 80 kW. Para la instalación de estas estaciones de carga es necesario contar con un conjunto de muelles flotantes donde se pueda implementar el punto de conexión con un contador que permita realiza la medición de la energía entregada a cada bote, de esta forma, se podrá ejercer la comercialización de la energía por parte de un operador privado que esté interesado en ejercerla. En la [Figura 2](#), se muestra una propuesta del espacio requerido, se propone que el punto de recarga se encuentre en la isla de Tierrabomba, actualmente, si observamos la imagen satelital, la isla cuenta con mucho espacio disponible para la instalación de un parque solar que pueda proporcionar de manera directa la energía para la carga de los botes.

Para el diseño del punto de conexión se consultó el catálogo del fabricante Baumüller, el cual ofrece un modelo de estación de carga para botes, el cual se puede ver en la [Figura 2](#), cada posición de amarre contar con un punto de conexión para recarga de la embarcación.

El suministro eléctrico que abastece a la isla de Tierrabomba está conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN), lo que significa que está respaldado por la capacidad instalada en las subestaciones de la ciudad de Cartagena, lo cual garantiza la confiabilidad del sistema. Con el fin de reducir la tasa de emisiones del sistema multimodal, el proveedor de energía eléctrica debe contar con certificación de energía verde (REC) en los puntos de recarga garantizando que la energía entregada proviene de fuentes renovables, lo que permitiría asegurar un sistema más amigable con el medio ambiente al proporcionar energía proveniente de fuentes limpias. Los comercializadores de energía, como actores dentro del sistema, podrían establecer acuerdos y contratos a largo plazo para el suministro de energía en las estaciones de recarga, considerando que el consumo de la flota de transporte es considerablemente alto, llegando aproximadamente a \$1.620 millones anuales para la operación de la flota propuesta. Sin embargo, desde FENOGE se puede explorar la viabilidad de desarrollar un proyecto de energía renovable en la isla, como la instalación de una granja solar, para cubrir la demanda de energía necesaria para operar la flota. Es importante tener en cuenta que, mediante el artículo 10 de la Ley 1715 de 2014, modificado por el artículo 7 de la Ley 2099 de 2021, se creó un fondo con el objetivo de promover, ejecutar y financiar planes, programas y proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente de carácter renovable [52]. No obstante, la implementación de este proyecto específico es una tarea futura derivada de la investigación actual.

6.6.4 Fuentes de financiamiento

Teniendo en cuenta que la adaptación de una embarcación con propulsión convencional al sistema de propulsión eléctrica para su vinculación en el modelo de movilidad es de 250.908.199 COP, adquirir esto para la modernización de 20 unidades tendría un total de 5.018 millones de pesos, este dinero puede ser apalancado teniendo en cuenta las siguientes políticas públicas vigentes y actores financieros:

- La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, estableció que se debe impulsar la electrificación de vehículos de uso intensivo, por lo cual el Minambiente, Mintransporte y Minenergía impulsaran la electrificación de vehículos de uso intensivo mediante iniciativas de cambio tecnológico, de manera gradual, involucrando procesos de desintegración, por lo cual se deberá, promover en las ciudades el ascenso tecnológico en segmentos como transporte público de pasajeros, taxis y los demás que se estimen convenientes, además, **evaluar la pertinencia de realizar la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos en 2023** [53].
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha propuesto 68 millones de dólares destinados para el financiamiento de proyectos de energías renovables, hidrogeno verde, eólica y electromovilidad, por tanto, este proyecto podría acceder a una de estas líneas de financiamiento promoviendo la electromovilidad en Cartagena. El BID cuenta con recursos ya aprobados para Bancoldex para el apoyo de la transición energética con US\$ 50 millones BID y CTF junto con el apalancamiento de recursos BID Invest y terceros por más de US\$ 75 millones para almacenamiento con baterías, movilidad eléctrica y otros. Por lo tanto, la banca internacional se convierte en un actor financiero para la promoción de proyectos de transición energética y electromovilidad.
- ASOBANCARIA – Protocolo verde y taxonomía verde, este protocolo verde fue creado en 2012 y renovado en 2017 y lo que pretende es alinear esfuerzos del gobierno nacional con los del sector financiero, implementando e incorporando políticas y prácticas de responsabilidad ambiental en todas las actividades para que vayan en armonía con el desarrollo sostenible del país, por tanto, las principales entidades financieras que operan en el país ofrecen financiamiento a inversionistas y de esta manera poder medir la huella de carbono de la cartera, la movilidad eléctrica es uno de los sectores identificados como aportantes a las metas

de reducción de emisiones. Adicionalmente, el Ministerio de hacienda y crédito público, consolidó la primera fase de la Taxonomía Verde, dentro de los cuales son incluidos temas de energía y transporte, por lo cual, fue incluido el transporte público urbano, infraestructura para el transporte y micro movilidad, luego entonces, el transporte fluvial y marítimo será elegible para los beneficios declarados en cuanto ofrezca embarcaciones con cero emisiones [54].

- En el documento CONPES 4075 – Política de Transición Energética, se estableció que FENOGE deberá evaluar y crear líneas de financiación para promover proyectos de transición energética en el sector industrial y movilidad eléctrica. Además, compromete al DNP con el apoyo del Ministerio de Transporte a generar espacios de articulación relacionados con el transporte sostenible para liderar acciones que desarrollen capacidades a nivel territorial que permitan la implementación de estrategias de transporte de cero y bajas emisiones en las regiones [16].
- WWF Colombia ha promovido desde el 2018 la electromovilidad como alternativa para generar un desarrollo de la pesca sostenible en las comunidades, por medio de esta organización, podrían obtenerse recursos para el plan de sustitución de motores al estar alineado con una comunidad cuyo entorno merece la preservación del medio ambiente que la rodea y además la pesca artesanal hace parte de las actividades económicas de la población.
- Las organizaciones sin ánimo de lucro también representan una alternativa para obtener recursos para la ejecución del proyecto, por ejemplo, la Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible – ALAMOS, tiene como principal objetivo impulsar y promover la movilidad sostenible en los países de América Latina y el Caribe
- Las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMAs) son políticas y medidas implementadas por los países, principalmente en desarrollo, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero y contribuir al desarrollo sostenible. Estas acciones pueden abarcar diferentes sectores y adoptar diversas formas, como políticas, regulaciones, programas e incentivos financieros. Cada país desarrolla sus propias NAMAs de acuerdo con sus capacidades y circunstancias. A nivel nacional, las NAMAs deben estar alineadas con la Política Nacional de Cambio Climático, la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) y contribuir a las metas establecidas en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) por lo que podrían apalancar proyectos en el área de la electromovilidad.

- Convenios de cooperación internacional: muchos países tienen compromisos de cooperación internacional para apoyar los procesos de transición energética en países en vía de desarrollo, por tanto, podría buscarse apoyo de estos países mediante el Ministerio de Relaciones Exteriores para obtener parte de los recursos.

Dicho esto, se abren puertas para obtener financiación para fomentar la transformación del transporte entre la isla y Cartagena a un transporte basado en sistemas de propulsión eléctrica.

6.6.5 Retos, barreras y oportunidades

Todo lo que se ha abordado a lo largo de este documento abre un espacio para analizar cuáles son los principales retos, barreras y oportunidades de la implementación de este modelo de movilidad multimodal en la ciudad de Cartagena para conectar la isla de Tierrabomba al sistema integrado de transporte masivo – Transcaribe.

La encuesta realizada dejó ver que el 100% de la población pertenece a estrato 1, esto junto con los índices de escolaridad medidos por Cartagena Como Vamos [55], denotan que existe un gran reto en la aceptación y la adopción de la tecnología por parte de los nativos de la isla, quienes finalmente serán los principales usuarios y operadores de estos vehículos, al desconocer las ventajas de esta tecnología emergente, probablemente,

ejercerán acciones para que no les sea reemplazada, sin embargo, esto podría abordarse desde la secretaria del interior para generar campañas de información y educación sobre este sistema de propulsión eléctrico. Por otro lado, aunque existen las herramientas de financiación para la implementación del modelo y la sustitución de los motores [56], no deja de ser retador encontrar el musculo financiero que esté dispuesto a invertir, aunque, supondría un gran hito en Colombia y Cartagena, como pionero en el desarrollo de un modelo de movilidad multimodal para el transporte masivo urbano de cara a la descarbonización del sector transporte y la transición energética.

Aunque en la actualidad el costo total de propiedad de los vehículos eléctricos es más bajo que el de los vehículos comparables [57], como se evidencio en el análisis financiero, los costos de capital inicial de estos modelos son más elevados y la incertidumbre que existe sobre los costos futuros relacionados con precios de la energía, baterías, recomercialización de vehículos o embarcaciones de segunda mano, supone una barrera para la penetración de esta tecnología en el transporte público fluvial y marítimo.

Así mismo, el modelo enfrentará barreras que dificultarán su implementación, dentro de las cuales podríamos pensar en el desconocimiento técnico de la reparación y el mantenimiento de estos sistemas de propulsión, al ser una tecnología relativamente nueva en el país, no existen talleres locales con la capacidad de atender mantenimientos preventivos y correctivos, sin embargo, Torqueado se encuentra comercializado actualmente y representado por la compañía Motoborda S.A quien podría brindar soporte técnico y capacitación a los mecánicos locales para el mantenimiento del sistema. A su vez, el mal manejo de los ciclos de carga y descarga de los bancos de baterías podría suponer una barrera en cuanto para las embarcaciones empiece a ser común tener un recambio de baterías acelerado [58], luego, con un estricto control del uso y una buena planeación de los recorridos realizados por las embarcaciones se puede mitigar este riesgo.

Finalmente, la implementación de este modelo ofrece muchas oportunidades para los diferentes actores involucrados, mirando de cara a la población, esta contaría con la

oportunidad de acceder a un transporte digno, confiable y sostenible que les permita estar conectados con todos los servicios que brinda la ciudad de manera segura y confiable. Por su parte, Cartagena, como ciudad, sería vista internacionalmente como una de las ciudades pioneras en la implementación de modelos de movilidad sostenible y en búsqueda de generar un impacto sobre la transición energética del sector transporte, también, al contar con este servicio seguro y confiable, atraerá la mirada de más turistas para que puedan visitar la isla, lo cual directa e indirectamente podría impactar de manera positiva la economía de la ciudad y de la isla impulsando el desarrollo económico de las comunidades. Desde el gobierno nacional y su plan de desarrollo, se obtendría la oportunidad de generar cumplimiento a las políticas públicas establecidas, obteniendo, además, la atención de la banca internacional para la financiación e implementación de estos modelos en otras ciudades con gran potencial como Barranquilla, sobre el río Magdalena [59].

Capítulo 7

CONCLUSIONES

El modelo multimodal de transporte público urbano propuesto para la integración de la isla de Tierrabomba al sistema de transporte masivo de Cartagena, Transcaribe, supone un avance en la conectividad de la población de la isla a los servicios esenciales que brinda la ciudad como acceso al estudio, al salud y el trabajo. De acuerdo con lo observado en las encuestas realizadas, se pudo concluir que estos servicios antes mencionados constituyen las tres principales actividades a las que se desplazan los usuarios del sistema, así mismo, a raíz de estos resultados se pudieron proponer las rutas y las estaciones más adecuadas para la integración entre el transporte marítimo y terrestre, la frecuencia y oferta de la flota conectando a la isla con las principales arterias de transporte de la ciudad en el sector norte, centro y sur.

Los resultados obtenidos sobre las rutas de las embarcaciones y la frecuencia de las mismas, abrieron camino para realizar un análisis sobre el costo de ciclo de vida y el costo total de propiedad, los cuales, permitieron mostrar una ventana técnico económica

favorable para el desarrollo e implementación de la electromovilidad en el transporte público urbano, el resultado obtenido en este proyecto muestra que estos costos, observados en un periodo de 20 años, tienen una ventaja económica sobre las tecnologías convencionales, obteniendo valores inferiores en el costo promedio por kilómetro recorrido, por tanto, aunque las embarcaciones eléctricas inicialmente representan un costo de adquisición o CAPEX más elevado, esto se ve compensado a medida de que los costos operativos y los beneficios de financieros otorgados para su implementación, permiten amortizar el costo total de la operación propiciando el resultado mencionado sobre el costo total de propiedad.

Actualmente los bancos tienen una función que cumplir en la adaptación de mecanismos de financiamiento para apoyar e incentivar la movilidad eléctrica en armonía con los objetivos de política pública, mediante la reducción del riesgo, el financiamiento de la inversión de capital y el aprovechamiento de la inversión privada, se podría lograr apalancar proyectos de movilidad eléctrica urbana en los sistemas de transporte masivo, sin embargo, se requiere de nuevas asociaciones públicas y privadas y de nuevos modelos comerciales para invertir, impulsar, operar y mantener estas flotas, que permitirá la multimodalidad entre la isla y Cartagena. Un modelo de esto, podría generarse en cuanto se integren actores como el Ministerio de Transporte como regulador, Transcribe como operador de la flota, Enel X como empresa de suministro de energía y operador de activos en estaciones de recarga, Torquedo como fabricante de motores fuera de borda y astilleros locales como Eduardoño, Todomar o incluso de la talla de COTECMAR, de esta forma, podría existir una colaboración en el financiamiento, gestión de la operación y la distribución del riesgo y la incertidumbre que existen dentro de la flota de transporte público eléctrica. Así mismo, cuando este tipo de proyectos se generan, se pueden aprovechar mecanismos de financiamiento mediante organizaciones sin ánimo de lucro como ALAMOS, NAMAS, convenios de cooperación internacional y organizaciones mundiales de cambio climático como WWF, logrando así, incentivar iniciativas de electromovilidad en las ciudades.

En el escenario planteado para el proyecto se concluye que en la operación del sistema multimodal el actor principal para su ejecución es Transcaribe como operador del sistema de transporte masivo, por tanto, la participación de Transcaribe en el desarrollo de un sistema de transporte multimodal para conectar a la isla de Tierrabomba es fundamental para su desarrollo, sin embargo, Transcaribe debe contar con el apoyo del distrito de Cartagena y con el Gobierno Nacional para garantizar los recursos que permitan financiar el 100% del Fondo de Estabilización Tarifaria – FET, dado que, la vinculación de las embarcaciones de transporte de pasajeros y la operación de las estaciones de transbordo pueden representar un aumento en la tarifa técnica, por tanto, el FET, debe entrar a equilibrar la diferencia entre la tarifa técnica del pasaje y la que en realidad tendrán que asumir los usuarios.

De acuerdo a lo observado durante el desarrollo de las encuestas en los muelles y haciendo una revisión de la información disponible en los reportes emitidos por Cartagena Como Vamos y el Mapatón Cartagena, se pudo concluir que actualmente la ciudad y la isla no cuentan con la infraestructura necesaria para la implementación de un sistema de transporte multimodal que cumpla con todas los requerimientos de seguridad y control para el desarrollo del servicio de transporte público, por consiguiente, deja en evidencia que para que la ciudad pueda afrontar proyectos de esta envergadura, debe desarrollar la infraestructura necesaria para su implementación, por lo tanto, la alcaldía local junto con la secretaria del interior, secretaria de infraestructura y la oficina de planeación distrital, deberán promover proyectos civiles que generen espacios que cumplan con los requerimientos para la adopción de un sistema de transporte multimodal en la ciudad de Cartagena y que por supuesto permita la integración con la isla de Tierrabomba perteneciente a la localidad 1 de la ciudad.

La implementación de un modelo de movilidad multimodal entre la isla de Tierrabomba y Cartagena representa un importante avance en términos de transición energética. La adopción de motores eléctricos para propulsar las embarcaciones de transporte de pasajeros contribuye a la descarbonización del sector transporte. Desde el

punto de vista ambiental, el uso de sistemas de propulsión eléctrica reduce significativamente el impacto medioambiental asociado al transporte de pasajeros impulsado por motores de combustión interna. Al utilizar energía eléctrica como combustible, estos vehículos se convierten en emisores bajos si se analiza toda la cadena de suministro y en emisores cero si se considera desde el tanque hasta la rueda. No obstante, si se emplean fuentes renovables para suministrar energía, se podrían alcanzar emisiones cero en toda la cadena de suministro, aunque es importante tener en cuenta el impacto ambiental derivado de la fabricación de todos los componentes del sistema, desde el silicio utilizado en los paneles hasta la extracción de litio para la producción de las baterías.

REFERENCIAS

- [1] J. de D. Ortúzar y L. G. Willumsen, *Modelling Transport*. Wiley, 2011. doi: 10.1002/9781119993308.
- [2] C. L. Fajardo, H. C. L., y A. M. Gómez, S. A. M, “Análisis de la elección modal de transporte público y privado en la ciudad de Popayán”, *Territorios*, vol. 17, n° 33, pp. 157–190, oct. 2015, doi: 10.12804/territ33.2015.07.
- [3] G. Baruj, F. Dulcich, y F. Porta Matías Ubogui, “La transición hacia la electromovilidad Panorama general y perspectivas para la industria argentina”, 2021.
- [4] A. Braga, “Electrificación del transporte buses eléctricos y el sistema de distribución”, 2020.
- [5] Naciones Unidas, “Acuerdo de París”, 2015.
- [6] Consejo Nacional de Política Económica y Social, *Documento CONPES 4075*. Colombia, 2022.
- [7] D. Messina, R. Contreras, L. René, y S. Pavez, “El rol de las energías renovables en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades de América Latina y el Caribe Impactos, desafíos y oportunidades ambientales”, 2022. [En línea]. Disponible en: www.cepal.org/apps
- [8] M. Torres-Pamplona, A. Jaramillo-Duque, y J. Ortiz-Castrillón, “Vehículos Eléctricos Versus Convencionales en Colombia: Un Análisis Financiero Comparando Los Costos Totales de Propiedad”, *Revista Innovación y Desarrollo Sostenible*, vol. 1, n° 2, pp. 36–45, feb. 2021, doi: 10.47185/27113760.v1n2.26.
- [9] J. Zhou, M. Du, y A. Chen, “Multimodal Urban Transportation Network Capacity Model Considering Intermodal Transportation”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2676, n° 9, pp. 357–373, sep. 2022, doi: 10.1177/03611981221086931.
- [10] Cartagena Como Vamos, “Resultados Encuesta de Percepción-Ciudadana Barú Tierrabomba”, Cartagena, 2019.
- [11] J. Montaña, “Presidente Santos inauguró Transcaribe en Cartagena”, *El tiempo*, 2016.
- [12] C. Pardo y S. Vásquez, “CALIDAD DE VIDA Y MOVILIDAD SOCIAL: EL CASO DEL ACCESO A LOS SERVICIOS PÚBLICOS EN BOGOTÁ1”, *Papel Politico*, vol. 12, n° 1, pp. 39–62, 2007, Accedido: 22 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-44092007000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [13] D. Morales, “ANÁLISIS DE LAS POSIBLES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LA BAHÍA DE CARTAGENA - COLOMBIA”, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, 2022.
- [14] I. I. Ascencio Medina, S. M. Católico Castillo, J. C. Pasqualino, y C. Díaz Mendoza, “Viabilidad de electromovilidad náutica en el distrito de Cartagena-Colombia”, *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 7, n° 2, pp. 20–46, jul. 2019, doi: 10.17081/invinno.7.2.3125.

- [15] M. A. Torralvo Jiménez, “Programa de mantenimiento para motores fuera de borda Yamaha cuatro tiempos de propósito comercial”, <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063126.pdf>, 2011, Accedido: 22 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/357#page=1>
- [16] Consejo Nacional de Política Económica y Social, *Documento CONPES 4075*. Colombia, 2022.
- [17] Departamento Administrativo de la Función Pública, *Ley 2099 de 2021*. 2021.
- [18] S. Sanabria, “El papel del transporte en el crecimiento económico colombiano en la segunda mitad del siglo XX”, 2008.
- [19] International Maritime Organization, “Fourth IMO GHG Study 2020”, 2021.
- [20] Jairo. Escobar, “La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar”, CEPAL, Santiago de Chile, 2002.
- [21] Naciones Unidas, “Informe Sobre El Transporte Marítimo 2019”, 2019.
- [22] P. Bindman, “The secret to the rapid electrification of ferries”, *Energy Monitor*, mar. 2023.
- [23] Green Car Congress, “Moscow to introduce electric ships for river public transport; solicitation to open in September”, 2021.
- [24] L. Matt, “Electric Ferries for Auckland”, *Greater Auckland*, 2022.
- [25] C. Reilly, “‘Flying’ on the Water: Testing Candela’s Electric Hydrofoil Power Boat”, *CNET*, feb. 2023.
- [26] A. Gión, “Gondán embarca en Avilés el primero de sus diez ferries eléctricos para Lisboa”, *La Nueva España*, mar. 2023.
- [27] J. Oliveira, “El MS Medstraum, el primer ferry 100% eléctrico, Ship of the Year del 2022 en Noruega”, *Va de Barcos*, dic. 2022.
- [28] K. Perozo, “Conoce al Roboat II, el barco robot que navega en los canales de Ámsterdam”, *FayerWayer*, 2020.
- [29] El Universo, “Paseos por el estero Salado de Guayaquil en embarcaciones con motor eléctrico, una nueva opción familiar”, *El Universo*, abr. 2022.
- [30] Soy Valdivia, “Comenzó a operar el transporte público fluvial en ríos de Valdivia”, *Soy Valdivia*, 2021.
- [31] C. Lemos, “La sustentabilidad llegó al Delta: las Ecolanchas buscan reemplazar a las históricas colectivas”, *Energía Online*, 2020.
- [32] L. Chavez, C. Arteaga, y J. Alba, “Situación de la Infraestructura y el transporte Fluvial en Colombia”, Bogotá, jul. 2018. [En línea]. Disponible en: www.supertransporte.gov.co
- [33] Instituto Nacional de Vías, “Programa Colombia Fluvial”, 2019.
- [34] ARCADIS Nederland BV y JESYCA S.A.S., “Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015”, 2015.
- [35] CEIPA, “Proyecto FerroFluvial 4.0 en Colombia”, *CEIPA Novedades*, 2021.
- [36] A. López, “Con bote eléctrico esperan acercar a estudiantes de Bahía Málaga a la educación”, *El Tiempo*, 2023.
- [37] R. Zabaleta Puello, “Cartagena de Indias y sus cuerpos de agua : pasado, presente y futuro”, 2015.

- [38] Semana, “Llegó a Colombia el primer vehículo que funcionará con hidrógeno verde”, *Semana*, 2022.
- [39] Redacción Cartagena, “¡Cartageneros al agua! La propuesta del primer bus acuático de la ciudad”, *El Universal*, 2023.
- [40] A. García Duarte, M. R. Muñoz Torres, y Arquitecto(a), “Operación estratégica tierra bomba”, 2014, Accedido: 22 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/4050#.ZBzCVYBIIdT4.mendeley>
- [41] P. Zarta Ávila, “La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad”, *Tabula Rasa*, n° 28, pp. 409–423, ene. 2018, doi: 10.25058/20112742.n28.18.
- [42] J.-P. Rodrigue, *The Geography of Transport Systems*. Fifth edition. | Abingdon, Oxon ; New York, NY : Routledge, 2020.: Routledge, 2020. doi: 10.4324/9780429346323.
- [43] S. Cole, *Applied Transport Economics: Policy, Management & Decision Making*, Third. 2005.
- [44] G. de Rus, J. Campos, y G. Nombela, *Economía del Transporte*. 2003.
- [45] Dirección General Marítima, *Resolución 0575 de 2019*. 2019.
- [46] Cartagena Como Vamos, Universidad Tecnológica de Bolívar, y Universidad del Rosario, “Mapatón Cartagena 2019 - Mapeo colaborativo del transporte urbano”, 2019.
- [47] Organización Marítima Internacional, *Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar*. 1974.
- [48] Afinia, “Tarifas y Energía”, 2023.
- [49] XM, “Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2019”, 2019.
- [50] N. Gutierrez, “El Caribe, una región clave para la transición energética en Colombia”, *Semana*, 2022.
- [51] Alcaldía de Cartaena, “Concesión para la operación del sistema integrado de transporte masivo de pasajeros del distrito de Cartagena”, 2011.
- [52] J. Name Cardozo, “Fenoge: El potenciador de la Ley 1715”, *La Republica*, 2021.
- [53] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Transporte, y Unidad de Planeación Minero Energetica, *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica REPÚBLICA DE COLOMBIA*. 2019. [En línea]. Disponible en: www.minambiente.gov.co
- [54] Ministerio de Minas y Energía y Unidad de Planeación Minero Energética, *Programa de uso racional y eficiente de la energía*. 2022.
- [55] Cartagena Como Vamos, “Resultados Encuesta de Percepción-Ciudadana Barú Tierrabomba”, Cartagena, 2019.
- [56] G. Gubinelli, “El BID anuncia créditos para renovables e incluye al hidrógeno verde, eólica marina y electromovilidad”, *Energía Estratégica*, 2022.
- [57] N. López Redondo, “Un informe muestra que tener un coche eléctrico es hasta un 50% más barato pasados cinco años desde la compra”, *movilidadelectrica.com*, 2023.
- [58] A. Rodríguez, “Las dificultades de la industria de los autos eléctricos para arrancar en América Latina”, *El País*, 2022.

[59] J. Iván Ordóñez, “El río Magdalena y su navegabilidad”, 2015.

APÉNDICE

Tabla 1. Actores del transporte público en Cartagena y Tierrabomba.

<i>Actores</i>	<i>Rol</i>
Población de Tierrabomba	Actor principal del sistema, pertenecen al grupo de usuarios del sistema de transporte
Población de Cartagena	Actor secundario del sistema, pertenecen al grupo de usuarios del sistema en menor proporción
Turistas	Aunque su representación como usuarios es en menor proporción, representan una población que genera impacto en la economía de la isla
Técnicos Mecánicos	Realizan reparaciones y restauraciones a embarcaciones antiguas
Transcaribe	Operador privado del sistema de transporte público de Cartagena
Industria Marítima y Fluvial	Impulsan el desarrollo de embarcaciones modernas
Astilleros	Nuevas construcciones de artefactos navales
Comercializadores de tecnologías de electromovilidad	Penetran el mercado colombiano con nuevas tecnologías para el desarrollo
Comercializadores de Energía	Permiten la integración de sistemas para venta de energía en el sector transporte
Gobierno Nacional	Genera un plan de gobierno y establece hacia donde están orientados los esfuerzos del país
Ministerio de Transporte	Asesor del ejecutivo en el área del transporte
Ministerio de Hacienda y Crédito Público	Interactúa con el transporte público en la distribución del presupuesto nacional

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Cuenta con facultades para impulsar el desarrollo de sistemas de transporte sostenible
Ministerio de Minas y Energía	Actor principal en la regulación y el uso eficiente de la energía en Colombia
Ministerio de Relaciones Exteriores	Facultado para buscar recursos en el exterior para apoyar proyectos de inversión en el país
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación	Incentiva el uso de nuevas tecnologías y proyectos de investigación que pueden ser direccionados a la electromovilidad
Unidad de Planeación Minero Energética	Encargado de satisfacer los requerimientos energéticos para cumplir con la demanda
Secretaría de movilidad	Órgano regional encargado de la administración de la movilidad en el departamento
Alcaldía de Cartagena	Jurisdicción a la que pertenece la isla de Tierrabomba
Gerencia de Espacio Público y Movilidad	<i>Órgano de la alcaldía local para temas de movilidad en Cartagena y Tierrabomba</i>



Figura 1. Mapa de rutas propuestas para el sistema multimodal.

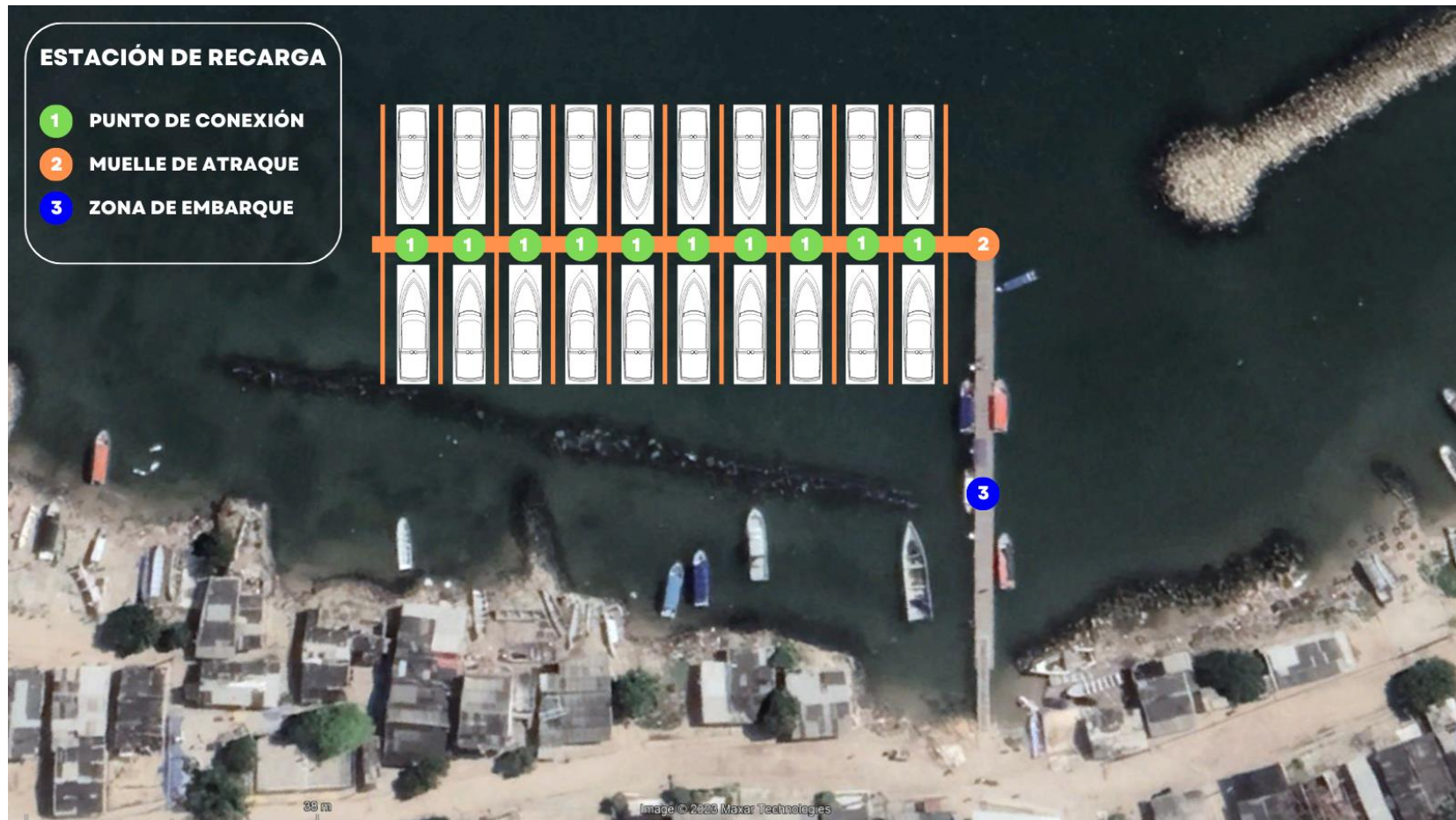


Figura 2. Muelle flotante para estación de recarga y embarque de pasajeros.

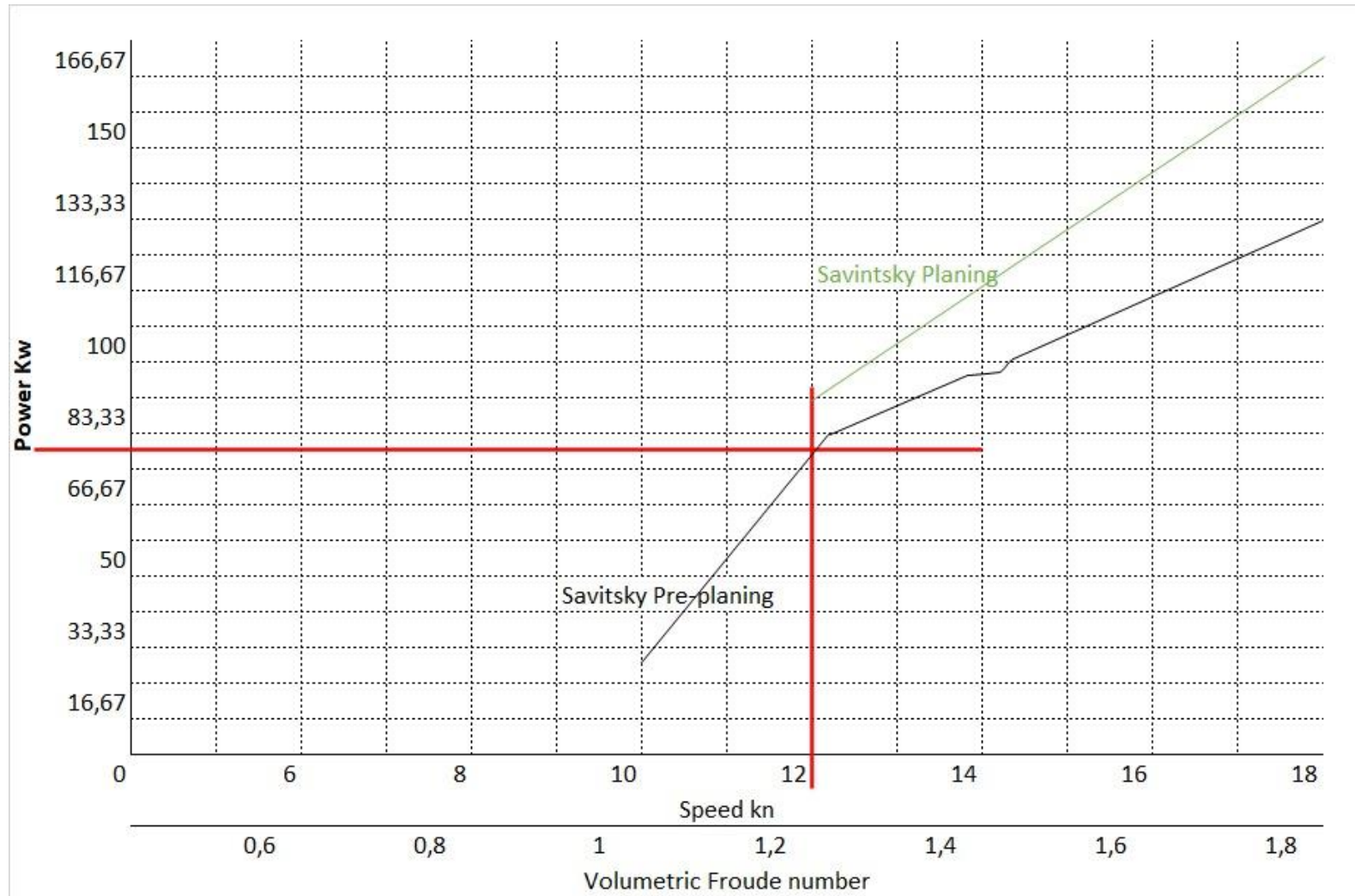


Figura 3. Curva de Potencia Vs Velocidad.

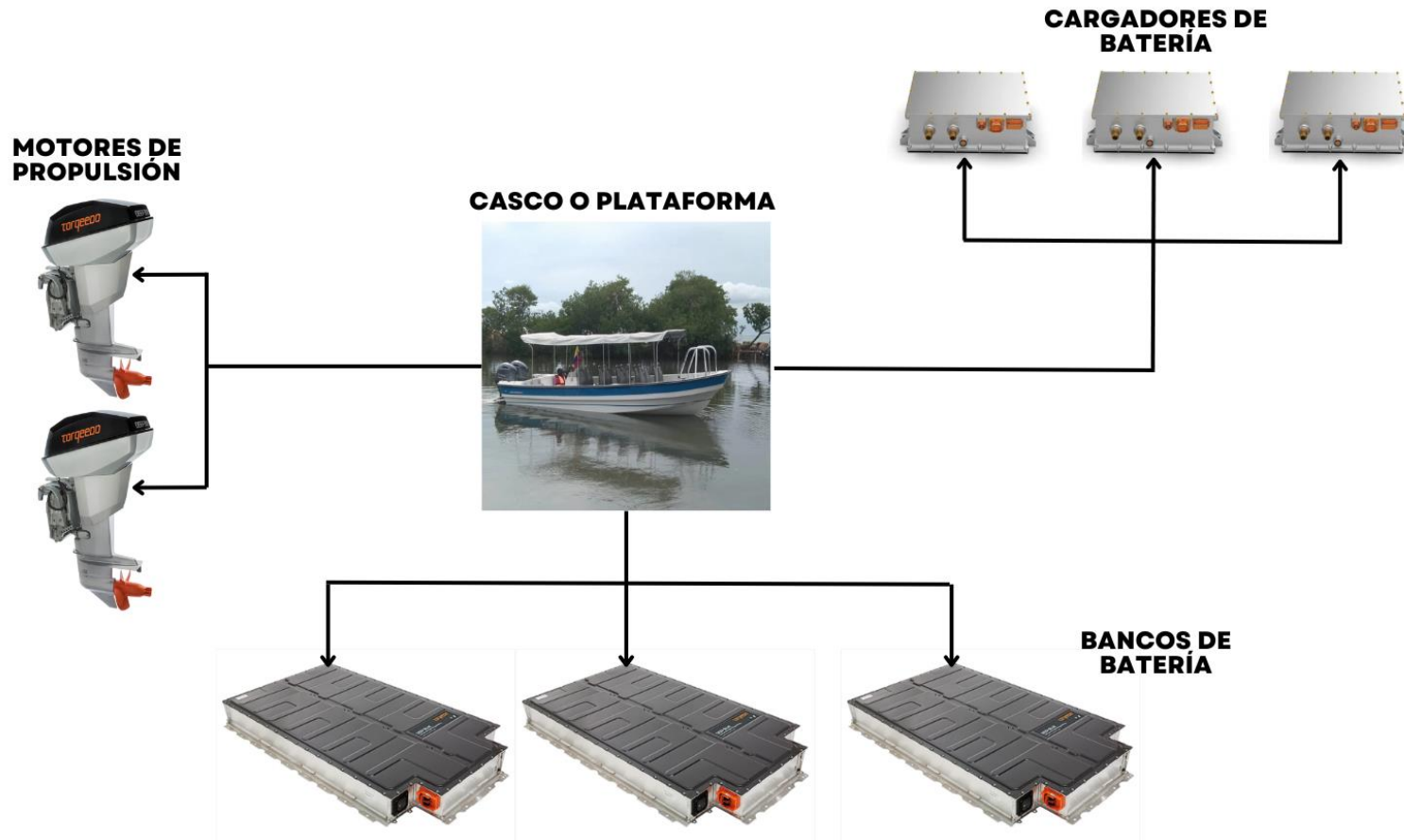


Figura 4. Esquemático de embarcación propuesta para el sistema.

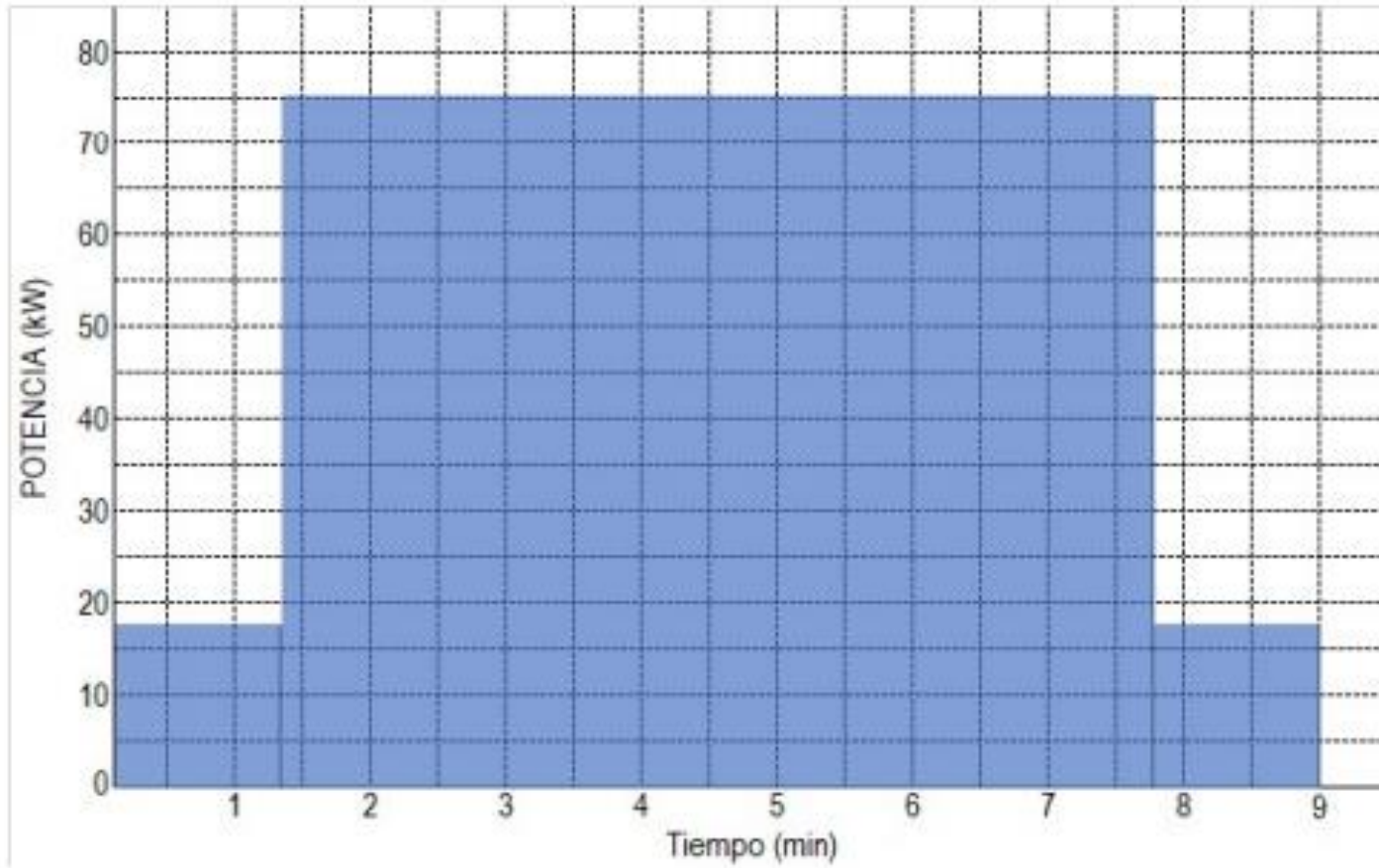


Figura 5. Densidad de energía requerida para un trayecto.

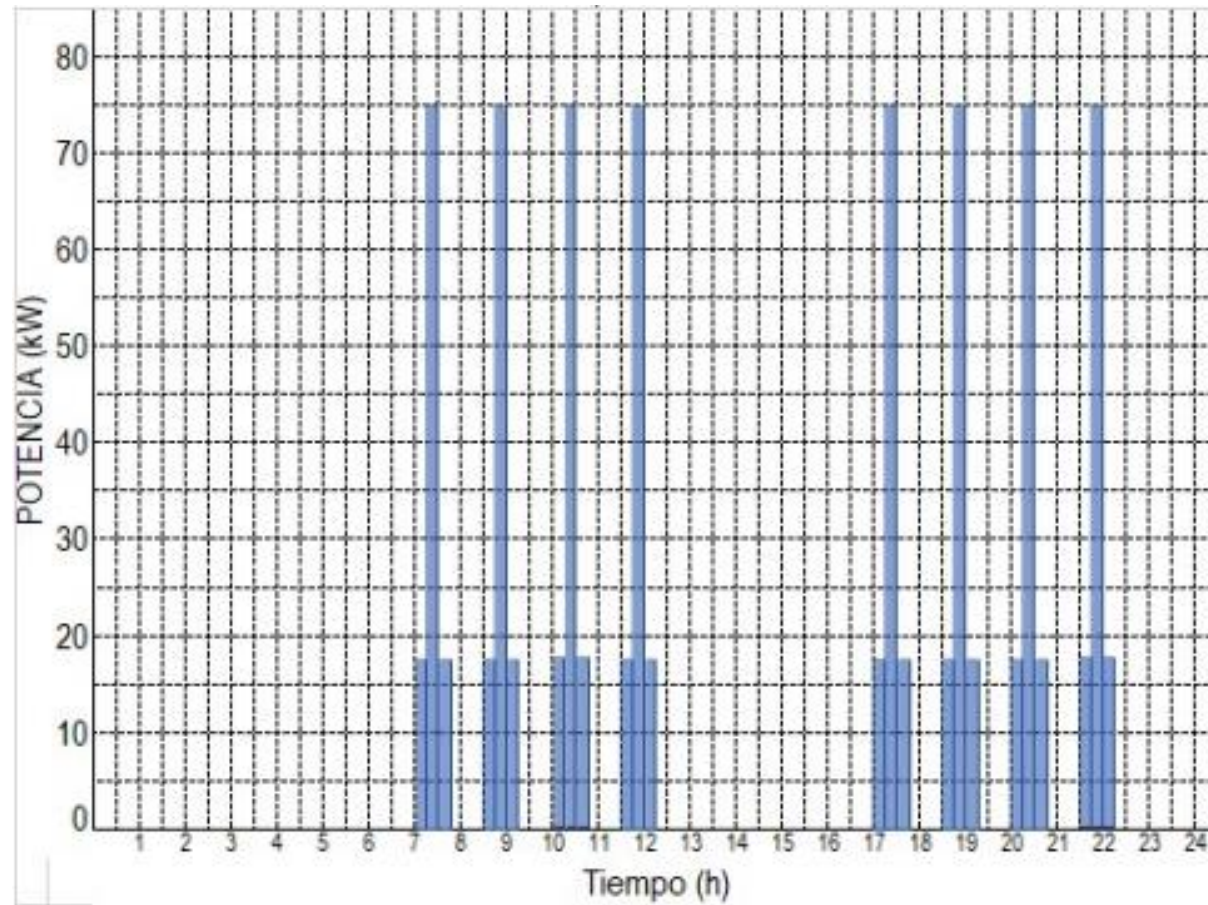


Figura 6. Demanda de potencia para un día de operación.

ANEXO 1

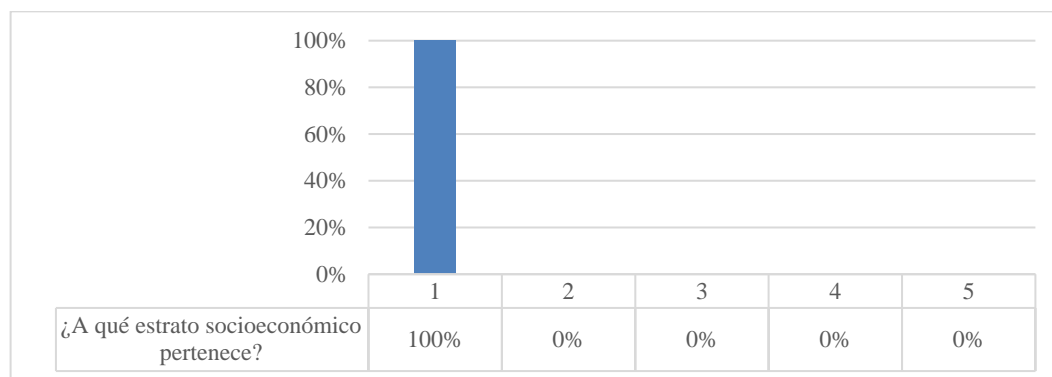
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta realizada durante el desarrollo del presente trabajo de grado.

Generalidades

- Población encuestada: 50 personas
- Ubicación: Bocagrande, Cartagena
- Escenario: Playa de Bocagrande
- Objeto: encuestar usuarios del sistema de transporte actual provenientes de la isla

Resultados

1. ¿A qué estrato socio económico pertenece?

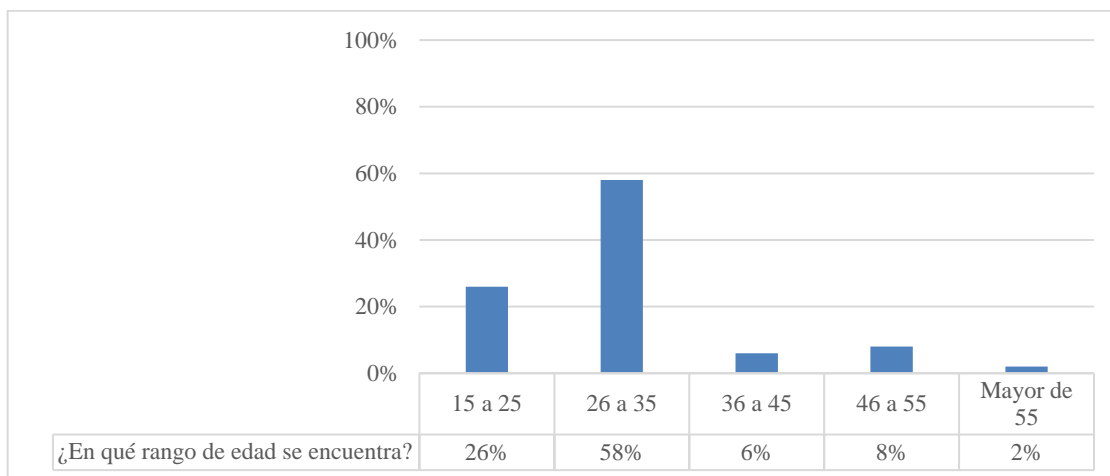


Se evidenció que el 100% de la población encuestada pertenece al estrato socioeconómico 1. Este dato es importante para realizar el análisis financiero y cuantificar la tarifa para los usuarios. Las personas que se encuentran en esta situación tienen ingresos económicos limitados. Por lo tanto, sería recomendable considerar la implementación de una tarifa diferencial, subsidiada y asequible para estos usuarios. Esto podría contribuir a generar una mayor demanda del servicio por parte de la población de la isla.

2. ¿En qué rango de edad se encuentra?

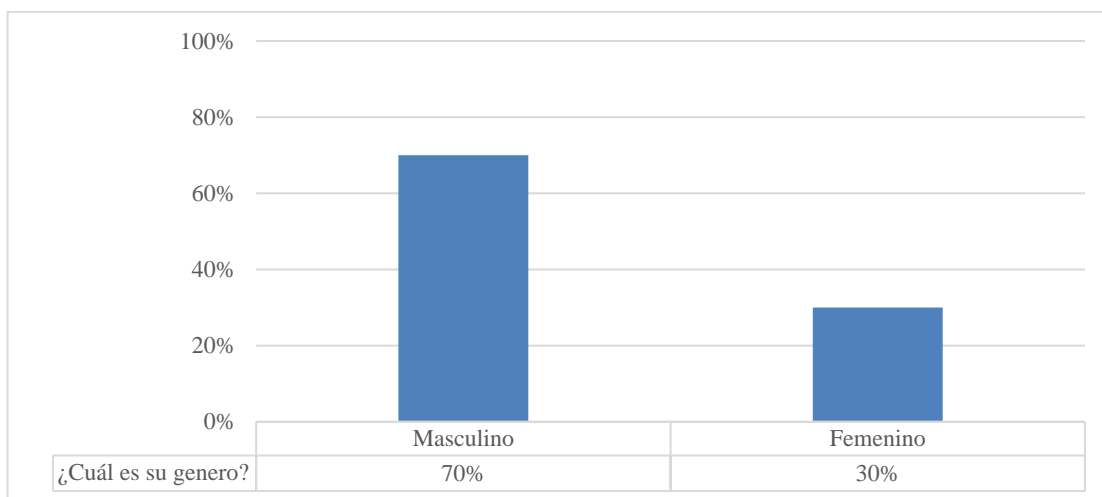
El 84% de la población se encuentra entre los 15 y 35 años por lo que se infiere una población joven en la isla; una población joven es una población que requiere de un sistema

de transporte robusto y confiable que garantice la movilidad de los usuario hacia sus lugares de estudio y trabajo lo cual suele tener una frecuencia diaria.



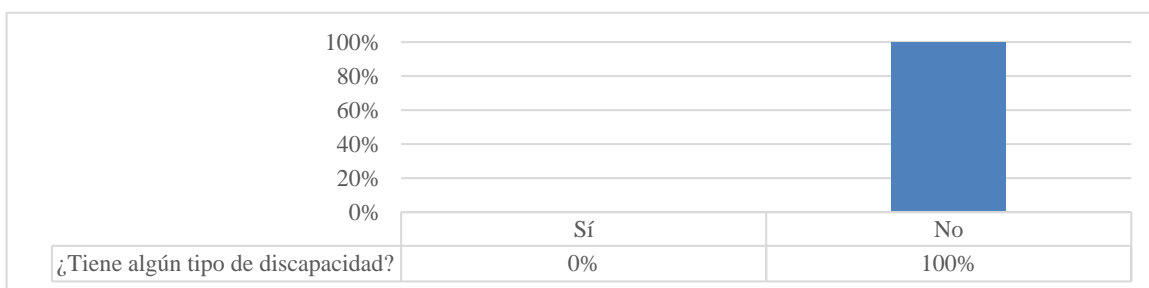
3. ¿A qué género pertenece?

De acuerdo con lo observado el 70% de la población es de género masculino, esto puede obedecer a que culturalmente en la población los hombres salen a realizar oficios como la pesca, construcción, servicios de turismo, entre otros, mientras que las mujeres realizan el trabajo doméstico en casa o en hoteles dentro de la isla.



4. ¿Tiene algún tipo de discapacidad?

El 100% de las personas encuestadas manifestaron no tener una discapacidad o una movilidad reducida, esto por su parte, puede deberse a que actualmente estas embarcaciones no cuentan con el espacio y las instalaciones necesarias para movilizar personas con movilidad reducida o algún tipo de discapacidad.

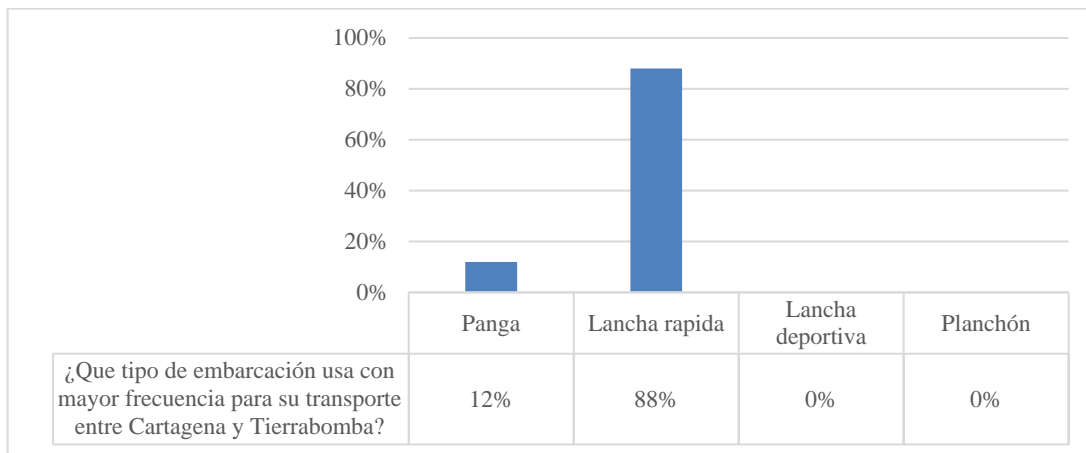


Durante una visita posterior a las entrevistas, se observó una persona de movilidad reducida haciendo uso de una silla de ruedas, desembarcando en condiciones inadecuadas como se observa en la Figura 5, lo cual, deja en evidencia que el sistema de transporte público actual no cuenta con la infraestructura adecuada para el transporte seguro de las personas con movilidad limitada, provocando situaciones de inseguridad para esta población.



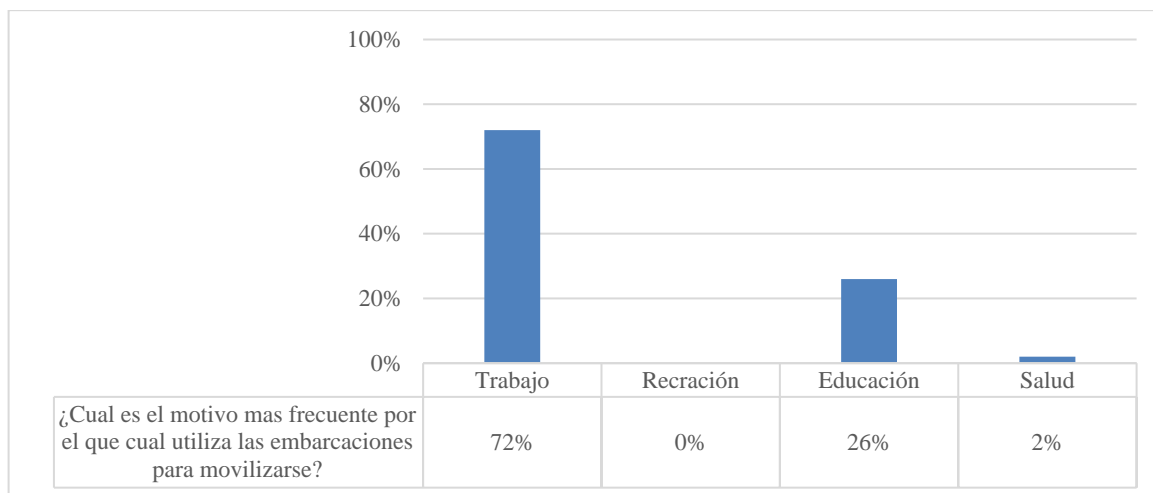
Figura 5. Desembarco de pasajeros en Bocagrande, Cartagena.

5. ¿Qué tipo de embarcación utiliza con mayor frecuencia para su transporte entre Cartagena y Tierrabomba?



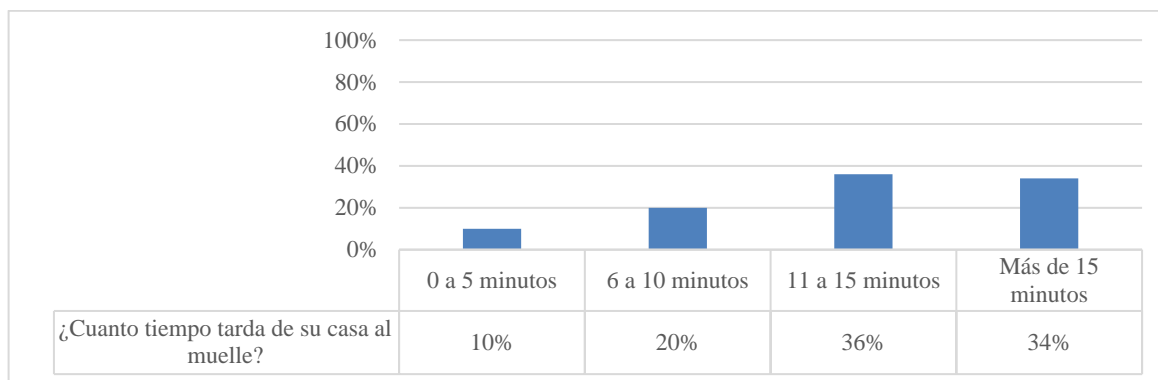
Teniendo en cuenta este resultado se pudo establecer que las embarcaciones usadas por los raizales de la isla son embarcaciones de fabricación artesanal tipo panga, con motores de combustión interna a gasolina, especialmente, del tipo dos tiempos.

6. ¿Cuál es el motivo más frecuente por el que utiliza las embarcaciones para movilizarse?



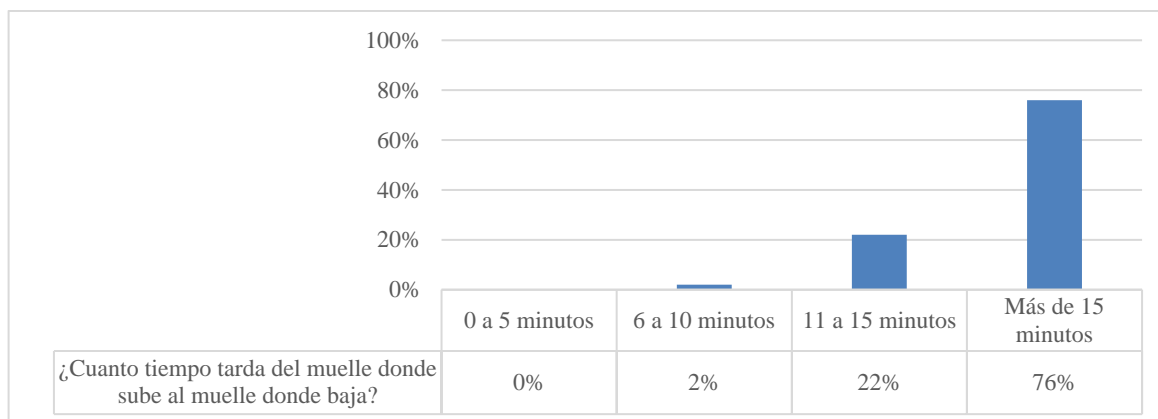
De la mano con los resultados de la edad de la población encuestada se encuentra el presente resultado toda vez que para una población joven el transporte público significa accesibilidad al trabajo, la educación y los servicios de salud, en este caso, brindados por la ciudad de Cartagena.

7. ¿Cuánto tiempo tarda de su casa al muelle?



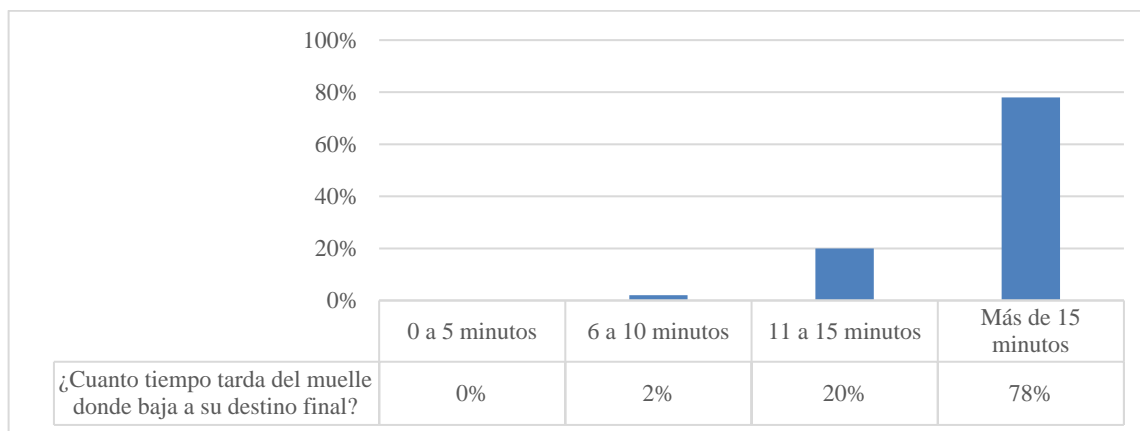
Más del 50% de la población encuestada tarda más de 11 minutos en transportarse de su casa al muelle donde embarca para tomar la lancha hacia Cartagena, esto muestra la falta de un servicio de transporte público terrestre dentro de la isla, la mayoría, de los habitantes manifiestan desplazarse caminando, mientras que otros, cuentan con moto, sin embargo, al ser caminos de herradura, la movilidad aun toma tiempo en transporte motorizado.

8. ¿Cuánto tiempo tarda del muelle donde sube al muelle donde baja?



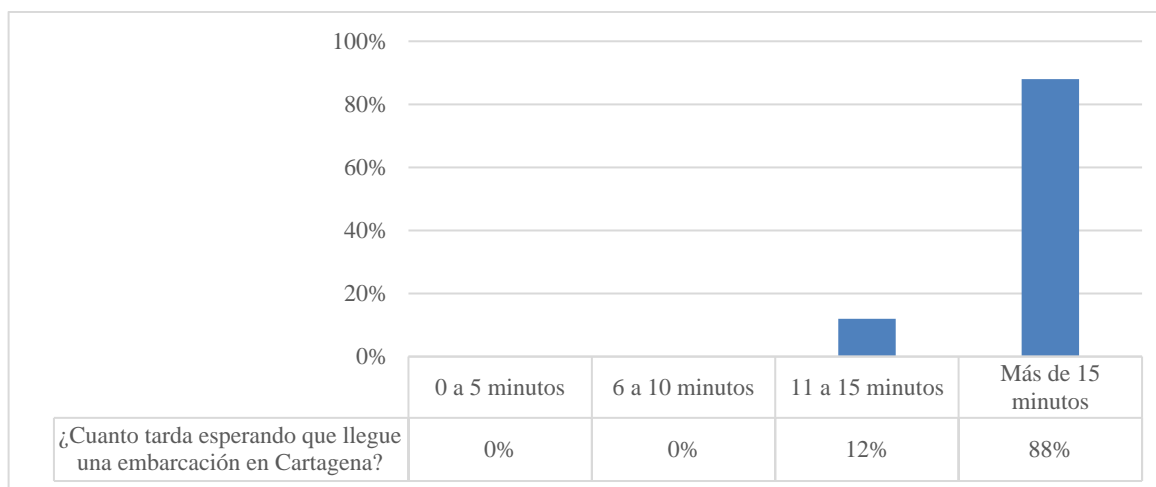
Con un 76% de la muestra, el desplazamiento de muelle a muelle suele tomar más de 15 minutos, lo que podría ser considerado un tiempo extenso teniendo en cuenta que hace parte solo de uno de los tramos de una ruta multimodal donde los usuarios deben realizar 3 trayectos diferentes, entre su casa y el muelle, entre muelles y luego del muelle de bajada a su destino final, la propuesta planteada, oferta un tiempo de navegación de aproximadamente 9 minutos, haciendo estas distancias más cortas.

9. ¿Cuánto tiempo tarda del muelle donde baja a su destino final?



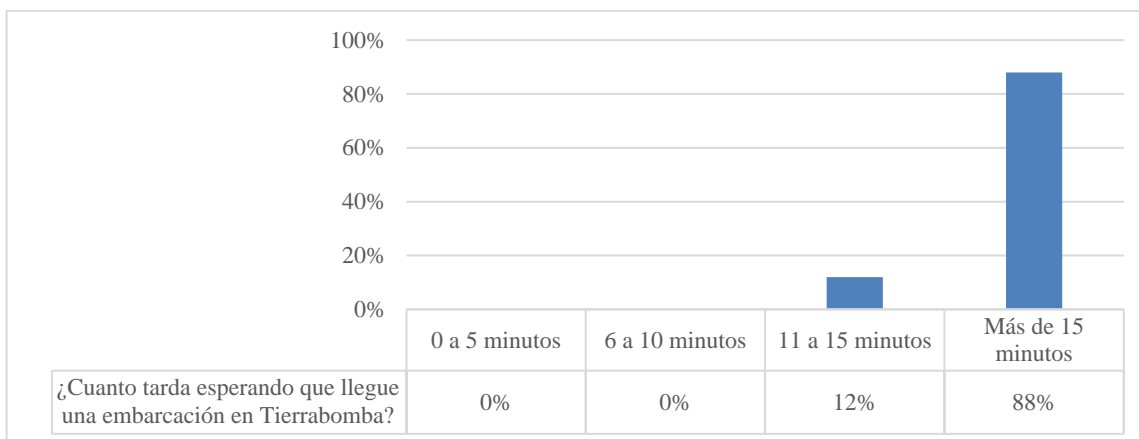
El tiempo de desplazamiento interno en la ciudad de Cartagena, según la encuesta realizada es bastante alto, con más de 15 minutos, se notan indicios de que las personas que vienen de la isla no están subiendo a Transcaribe, sin embargo, también este tiempo puede deberse a que la mayoría de las personas que se desplazan hacia Cartagena se dirigen a los sectores comerciales, alejados de Bocagrande, el cual es un barrio residencial.

10. ¿Cuánto tarda esperando que llegue una embarcación en Cartagena?



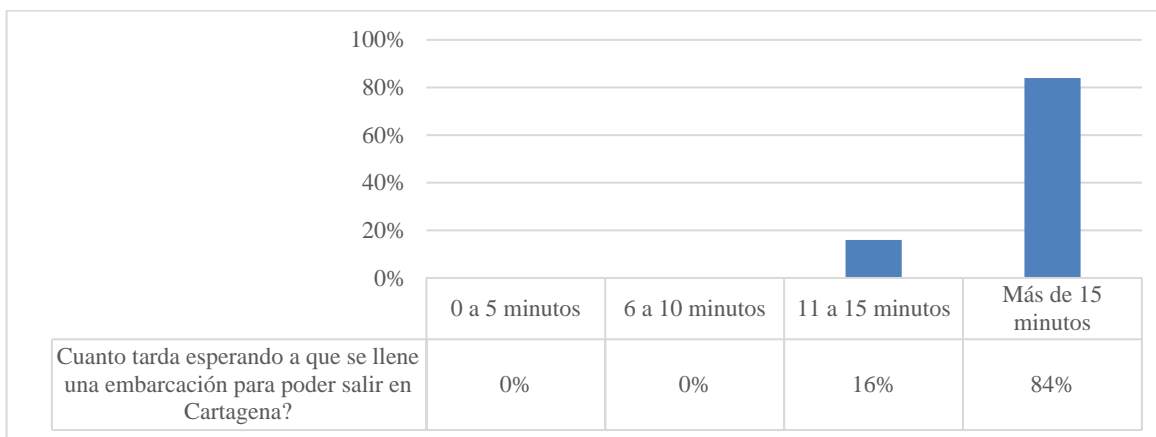
Observando el tiempo de espera para que una lancha de pasajeros salga hacia la isla, se puede ver que la oferta de embarcaciones no es la adecuada para la demanda de pasajeros. La mayoría de las personas encuestadas manifestaron que se forman largas filas para poder acceder a una lancha en las horas de la tarde para retornar a la isla.

11. ¿Cuánto tarda esperando que llegue una embarcación en Tierrabomba?



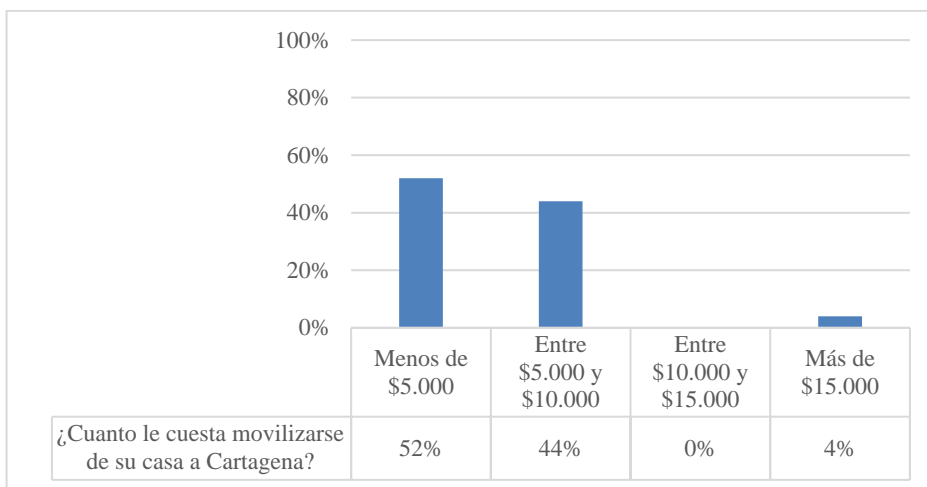
En correlación con la pregunta anterior, sustenta que la oferta de embarcaciones para el transporte de pasajeros entre la isla y Cartagena es deficiente, luego, toma relevancia el modelo propuesto, toda vez que, propone una frecuencia y oferta de acorde a la demanda estimada de pasajeros.

12. ¿Cuánto tarda esperando a que se llene una embarcación para poder salir en Cartagena?



El uso del transporte informal genera un impacto negativo sobre la movilidad de la población, como se observó en la encuesta, los usuarios deben esperar a que la lancha este totalmente llena para poder desplazarse, esto ocasiona altos tiempos de espera, especialmente en las horas valle donde los usuarios necesitan movilizarse, pero la demanda es baja y el dueño de la lancha no sale hasta llenarla.

13. ¿Cuánto le cuesta movilizarse de su casa a Cartagena?

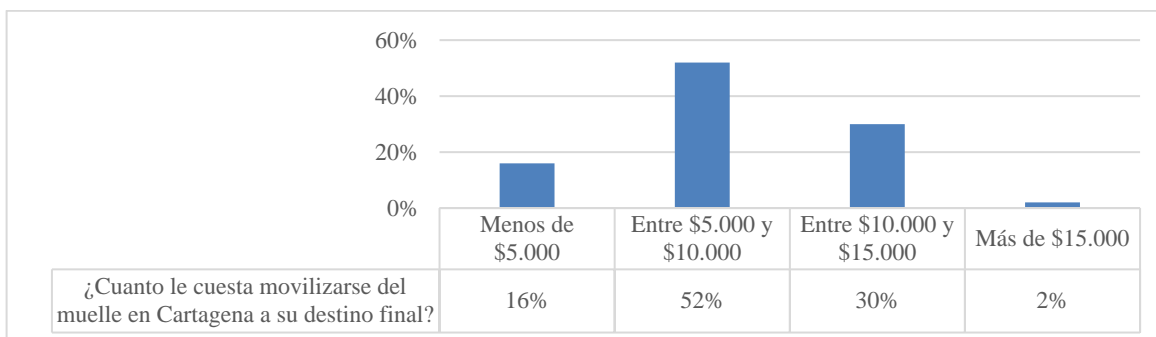


Teniendo en cuenta que la tarifa vigente para 2023 de Transcaribe es de \$ 3.000², se observa que el 44% de los usuarios encuestados tienen un gasto muy superior, que incluso, no cubre el valor total del transporte, este costo obedece solo al trayecto en lancha desde la isla hasta Cartagena, luego estos usuarios deberán tomar otro tipo de transporte, como se muestra en la pregunta 16.

Esto es de relevancia para el modelo, toda vez que, sustenta la necesidad que tienen los usuarios de contar con un sistema de transporte publico multimodal que les brinde la oportunidad de pagar una tarifa única que los movilice desde la isla hasta la zona urbana de Cartagena donde se dirigen.

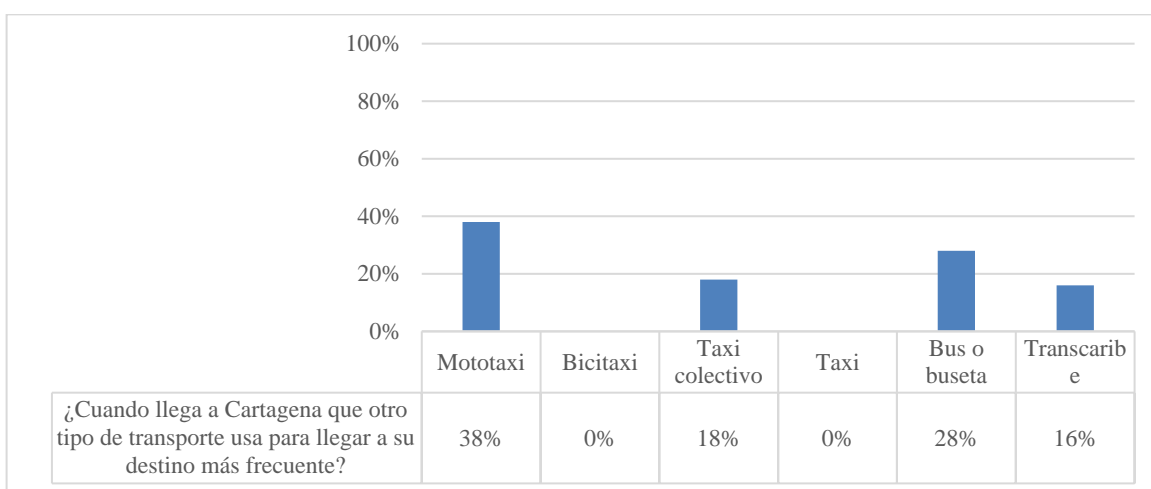
² <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/pasaje-de-transcaribe-en-cartagena-subira-de-precio-desde-este-lunes-733710#:~:text=La%20Alcald%C3%ADa%20de%20Cartagena%20expidi%C3%B3,Transcaribe%20para%20el%20a%C3%B1o%202023.&text=De%20acuerdo%20a%20lo%20establecido,de%20%24%202.700%20a%20%24%203.000.>

14. ¿Cuánto le cuesta movilizarse del muelle en Cartagena a su destino final?



Observando los costos de transporte que manifestaron los usuarios para movilizarse del muelle a su destino final, deja notar que estos usuarios, no acceden al sistema de Transcaribe, lo cual, haciendo una correlación entre la pregunta anterior y la siguiente, se puede determinar que los usuarios pagan una tarifa alta para trasladarse a Cartagena y luego, utilizan transporte formal e informal de alto costo, siendo el 52% entre \$ 5.000 y \$ 10.000 y el 30% entre \$ 10.000 y \$ 15.000, normalmente, tarifas de taxis colectivos o moto taxis.

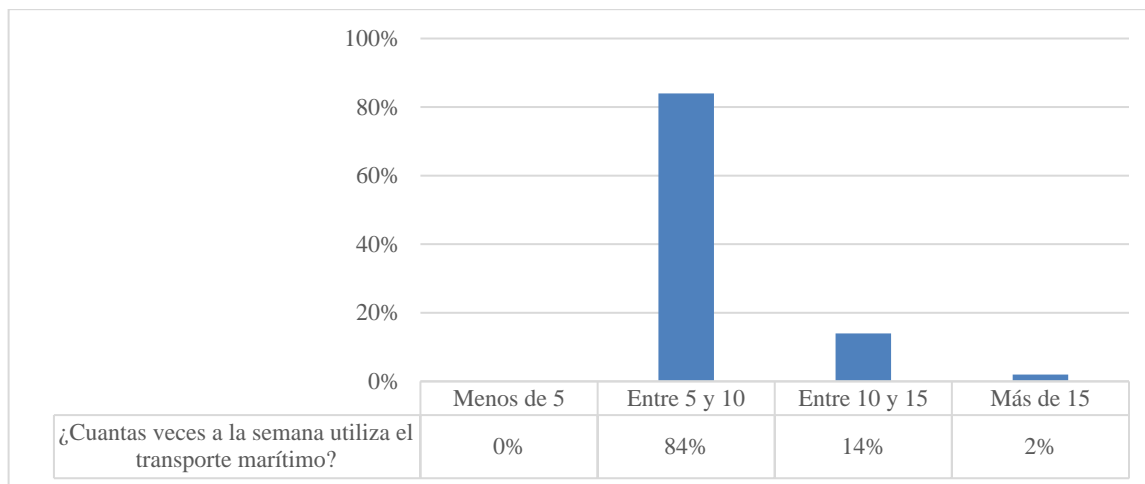
15. ¿Cuándo llega a Cartagena que otro tipo de transporte usa para llegar a su destino más frecuente?



El taxi colectivo, mototaxi y el bus o buseta, están considerados como transporte informal en Cartagena, por tanto, queda en evidencia que el 84% de los usuarios encuestados, acceden a estos servicios informales una vez llegan a la ciudad, observando las rutas de

Transcaribe, los puntos donde desembarcan no cuentan con mucha oferta para acceder al sistema, esto, en parte podría ser una de las causas por la cual estos usuarios prefieren moverse en transporte informal.

16. ¿Cuántas veces a la semana utiliza el transporte marítimo?



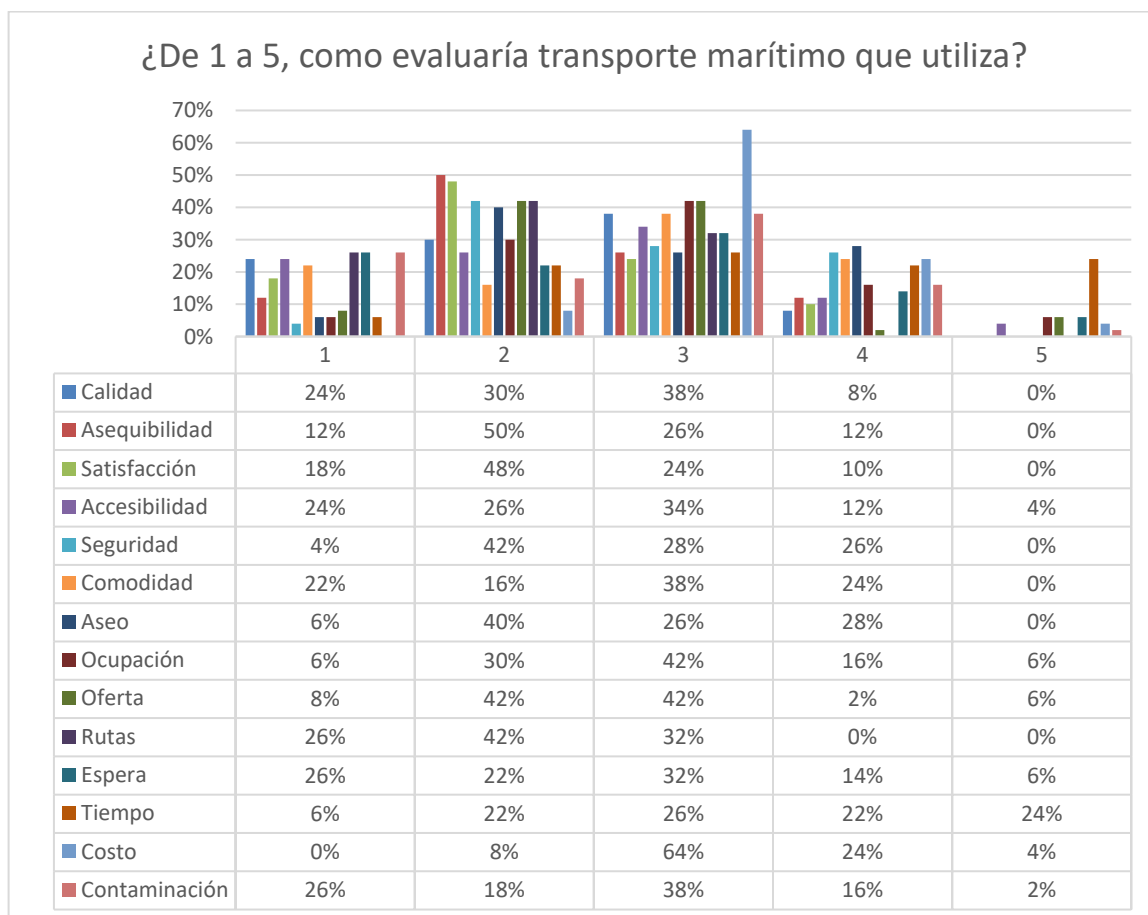
Este resultado soporta el contexto planteado en el modelo, durante el desarrollo del proyecto se pudo evidenciar que la mayoría de los usuarios se movilizan a Cartagena con el fin de llegar a su lugar de trabajo o estudio, por tanto, es razonable que la mayor parte de los usuarios con un 84%, utilice el sistema hasta 10 veces por semana.

17. ¿De 1 a 5, como evaluaría transporte marítimo que utiliza?

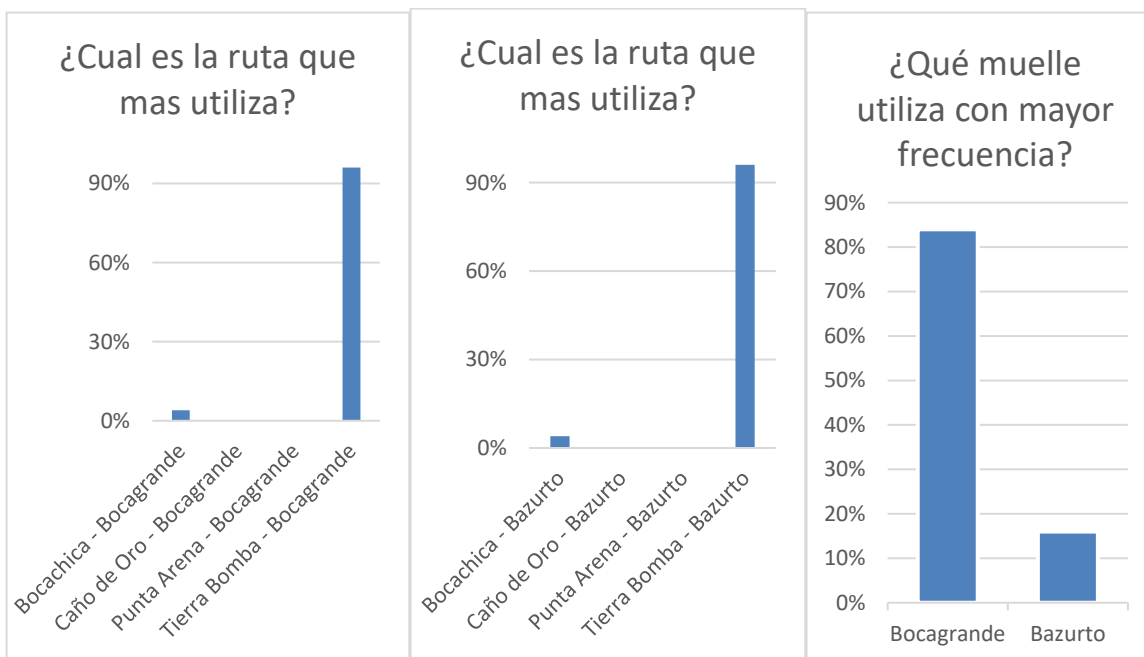
En la siguiente, se agrupa la percepción de los usuarios de 1 a 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno, para los aspectos de calidad, asequibilidad, satisfacción, accesibilidad, seguridad, comodidad, aseo, ocupación, oferta, rutas, tiempo de espera, tiempo del recorrido, costos y contaminación, donde se puede observar una mayor densidad de opinión entre los niveles 2 y 3, es decir, que la mayor parte los usuarios considera que todos estos puntos evaluados presentan deficiencias.

Cuando observamos componentes como ocupación, oferta, rutas, tiempos de espera y desplazamiento y costos con una mala percepción por parte de los usuarios, tendiendo mayor incidencia en la calificación de 2 y 3, se puede concluir que actualmente cuentan con un sistema de transporte que no les proporciona las condiciones mínimas para garantizar un transporte sostenible, confiable y asequible. Por tanto, el modelo de multimodalidad propuesto toma relevancia, en cuanto, busca proporcionar a la población de la isla y demás usuarios, un transporte seguro, accesible y sostenible.

Adicionalmente, los usuarios perciben el medio de transporte actual como un transporte altamente contaminante, en este componente el 26%, 18% y 38% de los usuarios otorgaron una calificación de 1, 2 y 3 respectivamente, concentrando en los niveles más bajos el 82%.

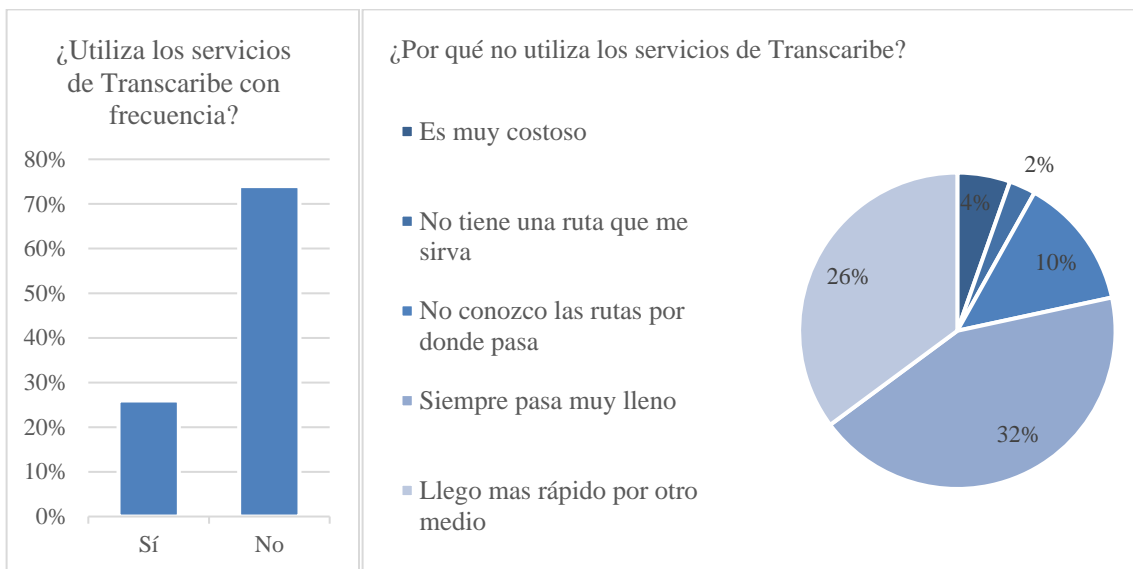


18. ¿ Cuáles son las rutas que más utiliza? ¿Qué muelle utiliza con mayor frecuencia?



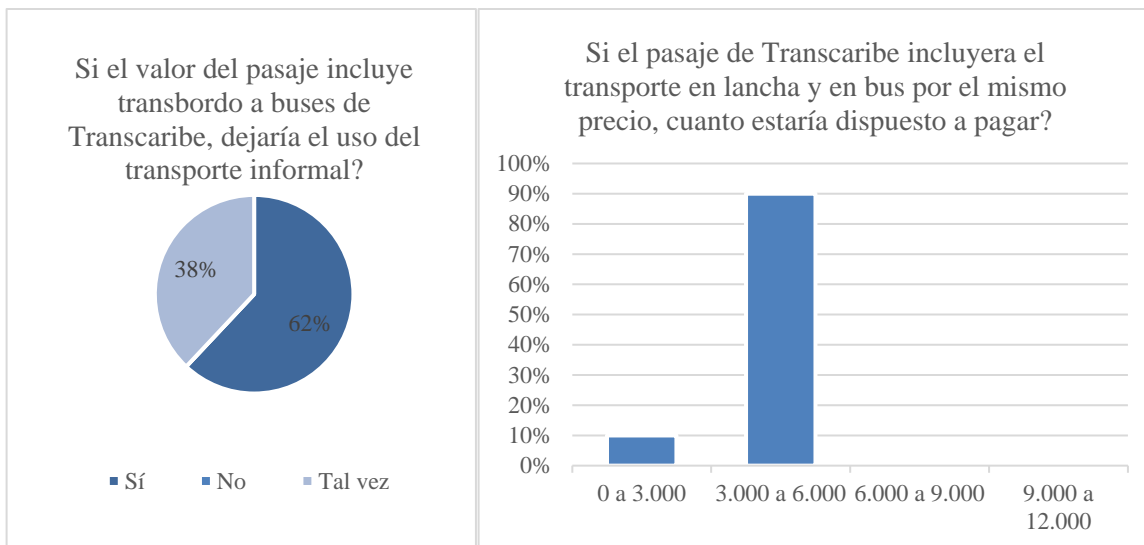
Luego de observar que el 96% de los usuarios utilizan la ruta Tierrabomba – Bazarro y Tierrabomba – Bocagrande, se pudo establecer la necesidad integrar estos dos muelles en el modelo de multimodalidad propuesto, concentrando la mayor o totalidad de la demanda de usuarios entrevistados. No obstante, el modelo propone una tercera ruta entre Tierrabomba y el muelle de la Bodeguita por su ubicación estratégica con una estación principal de Transcaribe, por ser un muelle formal y contar con infraestructura de control y acceso para las usuarios. Así mismo, de manera oportuna se observa que el muelle más utilizado por los usuarios es el muelle de bocagrande, esto debe entenderse porque actualmente es el muelle cuya distancia es menor con la isla, por tanto, es la ruta más rápida para acceder a cualquier otro medio de transporte en Cartagena.

19. ¿Utiliza los servicios de Transcaribe con frecuencia? Si, NO, ¿Por qué no utiliza los servicios de Transcaribe?



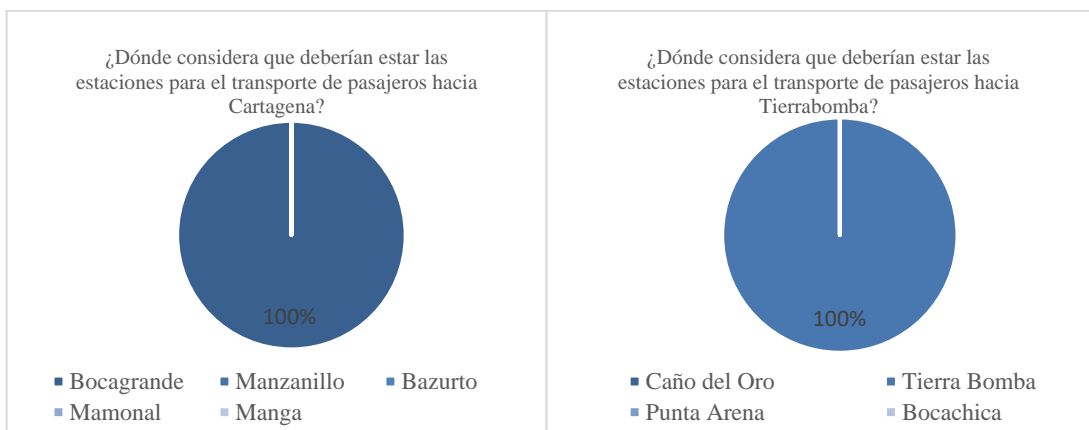
De acuerdo con lo mencionado anteriormente, en este punto de la encuesta se evidencia que los usuarios del sistema actual no acceden a Transcaribe, en cuanto, manifiestan en mayor proporción con un 32%, que los vehículos de Transcaribe presentan alta ocupación lo que se traduce en mayor tiempo de espera para lograr acceder a un vehículo, por tanto, es de esperarse como se observa en la encuesta, que la siguiente razón por la que los usuarios no están accediendo es por que gastan menos tiempo en otros medios de transporte, que según el punto 15 de la presente encuesta, son mototaxi, taxi colectivo y bus o buseta. Por consiguiente, se pone evidencia que en el punto de unión entre el transporte marítimo y terrestre existe una deficiencia en la oferta y que esta no se relaciona con la demanda y por tanto no esa siendo atendida, luego, en el modelo de multimodalidad, se propone la oferta y frecuencia de alimentadores en los puntos de transbordo para atender la demanda de manera eficaz.

20. ¿Si el pasaje de Transcaribe incluyera el transporte en lancha y en bus por el mismo precio, cuanto estaría dispuesto a pagar? ¿Si el valor del pasaje incluye transbordo a buses de Transcaribe, dejaría el uso del transporte informal?



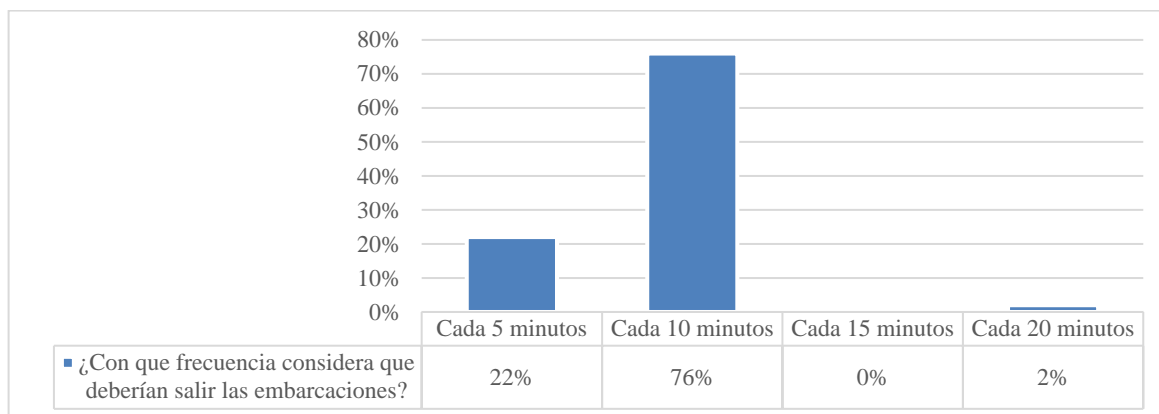
El 62% de los usuarios encuestados manifestaron preferir usar el sistema de transporte masivo Transcaribe si este incluyera el transporte marítimo entre la isla y Cartagena, luego entonces, contar con un Transcaribe multimodal podría contribuir a la implementación de un sistema asequible, además, el 90% está dispuesto a pagar una tarifa entre \$ 3.000 y \$ 6.000, lo cual comparado con la tarifa actual de Transcaribe es mucho mayor.

21. ¿Dónde considera que deberían estar las estaciones para el transporte de pasajeros hacia Cartagena y Tierrabomba?



El modelo propuesto acierta con el resultado de la encuesta en cuanto el 100% de los usuarios encuestados coinciden con que las estaciones deberían estar ubicadas en Bocagrande y Tierrabomba según sus necesidades.

22. ¿Con que frecuencia considera que deberían salir las embarcaciones?



El 76% de la población encuestada consideró que las embarcaciones de pasajeros deberían salir con una frecuencia de 10 minutos, sin embargo, esto puede obedecer a que actualmente, los tiempos de espera son demasiado altos. No obstante, con la flota propuesta en el modelo es posible obtener esta frecuencia, sin embargo, la operación real del sistema ira entregando una retroalimentación de la respuesta a la demanda con la que se deberá ajustar la frecuencia y la oferta de capacidad.