



Posibilidades de desarrollo de la infraestructura vial en el archipiélago Sabana-Camagüey

Proposal for the development of road infrastructure in the Sabana-Camagüey archipelago

Proposta de desenvolvimento de infraestrutura rodoviária no arquipélago Sabana-Camagüey

Juan Pablo Cabrera Díaz / University of Electronic Science and Technology of China, China-Universidad de La Habana, Cuba
/ juampigeo33@gmail.com

Dunia Cabrera Díaz / Universidad de Pinar del Río, Cuba / duniacabrera69@gmail.com

Recibido: 20/12/2021

Aceptado: 31/10/2022

Publicado: 24/11/2022

RESUMEN

En el archipiélago Sabana-Camagüey, al norte de Cuba, se ha propuesto aumentar la actividad turística. Sin embargo, la infraestructura de transporte de esta región parece insuficiente para soportar este cambio. Por sus características geográficas esta zona es muy vulnerable a la incidencia directa de huracanes, frentes fríos y otros fenómenos naturales, que atentan contra la conectividad y el buen estado de los viales. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una propuesta que permita establecer una conexión entre los principales polos turísticos de esa región. Durante las diferentes etapas de investigación se analizaron los intensos flujos pendulares diarios de trabajadores y la transportación de cargas, materiales y equipos de la construcción. Se analizó además la incidencia de fenómenos de origen natural, como ciclones y frentes fríos, sobre las estructuras ya existentes, tanto en los cayos como conectando los mismos. Se obtuvo como resultado tres variantes de un posible sistema de infraestructura vial que favorezca la vinculación entre los diferentes polos turísticos de la cayería norte de Cuba, basadas en sistemas multimodales de transportación que permitan disminuir la vulnerabilidad de la zona, mejorar la conectividad y favorecer el mantenimiento de la infraestructura de transporte existente.

Palabras clave: conectividad, gestión de recursos naturales, pedraplenes, transporte multimodal

ABSTRACT

In the Sabana-Camagüey archipelago, to the north of Cuba, it has been proposed to increase tourist activity. However, the transport infrastructure of this region seems insufficient to support this change. Due to its geographical characteristics, this area is very vulnerable to the direct incidence of hurricanes, cold fronts, and other natural phenomena, which threaten connectivity and the good condition of the roads. The objective of this work was to develop a proposal that allows establishing a connection between the main tourist poles of that region. During the different stages of the investigation, the intense daily pendular flows of workers and the transport of loads, materials and construction equipment were analyzed. The incidence of natural phenomena, such as cyclones and cold fronts, on existing structures, both in the keys and connecting them, was also analyzed. As a result, three variants of a possible road infrastructure system were obtained that favor the link between the different tourist poles of the northern keys of Cuba, based on multimodal transport systems that can reduce the vulnerability of the area, improve connectivity, and favor the maintenance of the existing transport infrastructure.

Keywords: causeways, connectivity, multimodal transport, natural resource management

RESUMO

No arquipélago de Sabana-Camagüey, ao norte de Cuba, foi proposto aumentar a atividade turística. No entanto, a infraestrutura de transportes desta região parece insuficiente para suportar esta mudança. Devido às suas características geográficas, esta área é muito vulnerável à incidência direta de furacões, frentes frias e outros fenômenos naturais, que ameaçam a conectividade e o bom estado das estradas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma proposta que permita estabelecer uma ligação entre os principais polos turísticos daquela região. Durante as diferentes etapas da investigação, foram analisados os intensos fluxos pendulares diários de trabalhadores e o transporte de cargas, materiais e equipamentos de construção. Também foi analisada a incidência de fenômenos naturais, como ciclones e frentes frias, nas estruturas existentes, tanto nas chaves quanto nas conexões. Como resultado, foram obtidas três variantes de um possível sistema de infraestrutura viária que favorece a ligação entre os diferentes polos turísticos das chaves do norte de Cuba, baseado em sistemas de transporte multimodal que podem reduzir a vulnerabilidade da área, melhorar a conectividade e favorecer a manutenção da infraestrutura de transporte existente.

Palavras chave: calçadas, conectividade, gestão de recursos naturais, transporte multimodal

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las principales fuentes de ingreso de divisas para Cuba lo constituye la actividad turística, la cual presenta además grandes perspectivas de desarrollo futuro, motivo por el cual el estado cubano ha decidido potenciar su consolidación. Además de los valores históricos, culturales y sociales para el turismo, desde el punto de vista físico-geográfico, también existen en el país muchas regiones de alto valor natural y paisajístico, altamente valoradas por los visitantes. Por ello, los planes de desarrollo no se reducen únicamente a los polos tradicionales, sino también a otras zonas de indudable potencial turístico. Una de ellas, es la extensa cayería ubicada al norte de la isla de Cuba, entre las penínsulas de Hicacos y Sabinal, ubicadas en las provincias de Matanzas y Camagüey respectivamente, y que corresponden al grupo de cayos e islotes denominado Archipiélago Sabana-Camagüey.

Una de las características geomorfológicas principales de este archipiélago es que no se encuentra unido a la isla de Cuba de forma natural, por lo que, para el logro de esta vinculación, fue necesario la construcción de un pedraplén de 17 km, que une a Cayo Coco; el más grande e importante del área por su ubicación, extensión y atractivos naturales; con la región de Turiguanó, ubicada al norte de la provincia Ciego de Ávila. La otra posibilidad de conexión con este archipiélago es la que une exclusivamente a Cayo Santa María, a través de un pedraplén de 48 km con la localidad de Caibarién, en la provincia Villa Clara. Este fue construido entre 1989 y 1999. En la actualidad está en fase de

construcción un tercer pedraplén que unirá Playa Jigüey con Cayo Cruz, ambos extremos pertenecientes a la provincia de Camagüey (Barrio *et al.*, 2020). Las dos primeras vías, a pesar de haber sido concebidas inicialmente solo para el tránsito de vehículos turísticos ligeros, a la larga se han convertido en la única forma para el acceso a la cayería de todo tipo de vehículos.

Esto, a su vez, ocasiona un acelerado proceso de deterioro, particularmente de sus puentes, que los hace más vulnerables a los efectos de cualquier evento meteorológico de envergadura. Debe tenerse en cuenta que, además de los vehículos de transporte de trabajadores del turismo y constructores, en las condiciones actuales circulan por ellos rastras con contenedores, silos de cemento, equipos de combustibles, medios pesados de construcción, transportadores de materiales y otros, para los que dichos viales no fueron diseñados. Como consecuencias directas ya se han producido colisiones de vehículos pesados debido a su estrechez, así como accidentes de diverso tipo, debido a las precarias condiciones de seguridad vial existentes.

Además, se constataron algunas afectaciones ambientales alrededor de estos viales, como cambios en la salinidad del agua, eutrofización, procesos de erosión, suspensión y acumulación de sedimentos. También se registraron diferencias en las rutas de desove y de dispersión de larvas, cambios del régimen hidrodinámico y aumento de la turbiedad de las aguas (Quirós y Machado,

2013). Estos problemas fueron abordados por varios autores en diferentes regiones del planeta, como consecuencia de incorrectos procesos constructivos, la incidencia de algún otro fenómeno o simplemente el decursar del tiempo. Por su parte Vickery (2021) describió los efectos en la dinámica poblacional del zooplancton en la bahía *Fort DeSoto* en Tampa, Estados Unidos. Por su parte, Athar *et al.* (2022) estudió las consecuencias provocadas por la deformación en las curvaturas de socavación y deposición en los pedraplenes en el caso particular de la India; mientras que los problemas ambientales del pedraplén sobre el equilibrio hídrico y salino del lago de Urmía, en Irán, fue investigado por Hemmati *et al.* (2021). Mientras que Gerwing *et al.* (2019) analizaron la respuesta positiva de peces y química del agua a la abertura del pedraplén con un puente en el estuario del río Kaouk en British Columbia, Canadá; estos son algunos de los estudios consultados como parte de la presente investigación.

Con el paso del huracán Irma por territorio cubano en septiembre de 2017, se inició un intenso proceso de recuperación que abarcó los territorios del archipiélago Sabana-Camagüey, que habían quedado devastados. Para ese entonces la conexión con las islas fue casi imposible debido a los estragos causados por el fenómeno en ambas vías de acceso, aspecto que dificultó y retrasó las acciones recuperativas, empleándose en muchos casos y con toda urgencia, la variante marítima de transportación (Benedico-Rodríguez, 2017).

La necesidad imperiosa de soluciones a dicha situación resulta evidente. Una vía de acceso, en mejores condiciones constructivas, permitiría disminuir las dificultades en los principales polos turísticos de la región, si de conectividad se trata. Debe tenerse en cuenta también que, al concluir el año 2017, muchas de las inversiones que se aprobaron en el sector del turismo se encontraban en ejecución, por lo que la situación de necesidad de movilidad y conexión con Cuba ha sido cada vez más crítica. Este aspecto debe agravarse a medida que los proyectos pasen a fases futuras de ejecución.

Por lo que el objetivo de la investigación es desarrollar una propuesta que permita establecer una conexión entre los principales polos turísticos del archipiélago Sabana-Camagüey. El posible vínculo entre Cayo Santa María y Cayo Coco, pasando por Cayo Guillermo, puede ser una alternativa viable para hacer frente a los problemas de conectividad que presenta el archipiélago con la isla grande en la actualidad. Además, se favorecería la movilidad a través de un sistema multimodal de transporte, teniendo en cuenta la existencia de los aeropuertos de Cayo Las Brujas y Cayo Coco.

La mayoría de las teorías socio-ecológicas se centran en la interconexión y dependencia entre los seres humanos, los ecosistemas y su naturaleza simbiótica. Sin embargo, estas dos dimensiones de resiliencia socioecológica están en competencia entre sí (Vallejo *et al.*, 2022). Las alternativas propuestas aparentemente pueden mejorar la preparación ante desastres y fomentar el desarrollo económico, pero también pueden tener un

impacto importante desde el punto de vista ambiental, paisajístico y ecológico, pues la zona de los cayos presenta una elevada fragilidad e inestabilidad desde estos enfoques. Es por ello por lo que, además de favorecer el acceso y mejorar la conectividad entre las islas, se debe analizar también como salvaguardar y proteger los valores naturales que allí se encuentran. La finalidad de estas alternativas debe enfocarse a la sostenibilidad y sustentabilidad de los recursos. En tal sentido, dada la situación económica actual de Cuba y la dificultad desde el punto de vista tecnológico que genera un proyecto de este tipo, puede valorarse el acceso a la cooperación internacional que favorezca la realización de alguna de estas propuestas por etapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso investigativo fue dividido en tres etapas. La primera fue una fase preparatoria, donde se consultaron diferentes fuentes bibliográficas y estadísticas, que facilitaron establecer el marco teórico-conceptual y conocer los antecedentes que sobre el tema existían. La información obtenida fue procesada con programas estadísticos y sistemas de información geográfica. Además, fue posible hacer un reconocimiento integral del área de estudio, incorporando elementos naturales y sociales de interés.

Como parte de la segunda etapa se utilizaron varios métodos directos de obtención de información mediante visitas a entidades operadoras y entrevistas a sus directivos, funcionarios y especialistas; definiéndose así la realidad de las condiciones existentes. Mediante la obser-

vación directa del terreno se pudieron corroborar y actualizar datos obtenidos en fuentes bibliográficas anteriores y confirmar las características del oleaje y las mareas del área, obtenidas por simulaciones o estudios de otros autores.

Durante la última etapa se definieron las características del sistema de transporte actual y fundamentalmente sus vulnerabilidades. Teniendo en cuenta los datos analizados se propusieron tres variantes como posibles soluciones para desarrollar un sistema de transporte multimodal que favorezca el desarrollo del área de estudio, posibilite el crecimiento de la actividad turística y disminuya las vulnerabilidades. La primera de estas variantes tiene como base el vínculo marítimo entre la isla de Cuba y los cayos. La segunda propone la creación de un pedraplén entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo y la tercera plantea la conexión de estos dos cayos mediante un viaducto. Por otro lado, se determinan algunos impactos, desde el punto de vista ecológico, paisajístico y ambiental, consecuencia de la implementación de alguna de estas variantes. Entre ellos resaltan la pérdida de la diversidad biológica, el cambio en los flujos de agua en la Bahía de Perros y la llegada de especies invasoras.

A través del método estadístico-matemático fue posible el análisis mediante programas estadísticos y de organización y control de datos. Para ello se utilizó *Statgraphics Centurion (Versión 19.1.2)*, logrando evaluar la frecuencia de ocurrencia de mareas, frentes fríos y huracanes. Además, para las bases de datos se usaron los programas *Microsoft Excell* y *Access* para determinar el flujo de trabajadores

y turistas, así como la proyección de la cantidad y frecuencia de los viajes para transportar a estos. Usando los métodos comparativos se determinaron las principales diferencias en cuanto a las posibilidades de varias áreas para fomentar el desarrollo del sistema de transporte multimodal.

El método histórico-evolutivo sirvió de base para determinar los cambios registrados en el territorio e incorporar ideas acerca de cómo reducir las vulnerabilidades identificadas. El método cartográfico fue muy importante en las diferentes fases de la investigación. Se emplearon varias cartas náuticas que permitieron obtener datos como: profundidad de las aguas del tramo Cayo Santa María-Cayo Guillermo-Cayo Coco, permitiendo de esa forma la determinación de las condiciones físico-geográficas. Además, el uso de herramientas asociadas a las funcionalidades de los sistemas de información geográfica jugó un papel fundamental en la conformación de las propuestas de sistemas de transporte multimodal. Para ello se realizaron varias modelaciones de flujos de agua por corrientes y mareas, se digitalizaron los mapas de batimetría y se determinaron las áreas más favorables para la creación de infraestructuras asociadas a las tres variantes propuestas a través de *ArcGIS (Versión 10.4.1)*.

Finalmente se analiza, según los datos obtenidos previamente, cuáles serían las principales

vulnerabilidades y los riesgos que, como consecuencia del desarrollo de alguna de las variantes propuestas, se pudieran presentar en el área de estudio.

La creación y ejecución final de cualquiera de las variantes propuestas debe responder a cuestiones de factibilidad económica, constructiva y ambiental, por lo cual estos aspectos deberían argumentarse adecuadamente en tanto son indispensables para la toma de decisiones correctas de organización y gestión.

Características del área de estudio

El Archipiélago Sabana-Camagüey, con un área de 7500 km², se extiende al norte de las provincias de Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, y constituye el de mayor agrupación de islas, cayos y cayuelos de Cuba con 2517 (Rocamora *et al.*, 2000).

En el área hay construidos hasta la fecha tres pedraplenes, para garantizar el desarrollo turístico de algunos de sus cayos. El área de interés limita al oeste con la bahía de Buena Vista, al este con Cayo Sabinal y por el sur con la franja costera que abarca las provincias Villa Clara, Santi Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey; mientras que al norte la demarca el talud insular constituido por una especie de flexura con pendiente abrupta, que representa el límite entre la depresión profunda y la plataforma marina insular de Cuba (*figura 1*).

Figura 1. Localización del área de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

En todo este territorio, según González (2006), la estructura espacial del ambiente muestra una variedad de rasgos de vulnerabilidad que se resumen en los siguientes:

1. Simplicidad de estructura geográfica con pocos territorios emergidos.
2. Las zonas emergidas no tienen gran elevación en relación con el nivel del mar.
3. Morfología y perfiles de playa de alta complejidad dinámica.
4. Alta fragilidad geomorfológica, geológica y ante fenómenos meteorológicos.
5. Alta salinidad del sustrato de suelo.
6. Deficiente control de escorrentía pluvial.
7. Fuerte intrusión salina en los acuíferos.
8. Alta complejidad en labores de saneamiento.

Cabe resaltar la fragilidad de estos ecosistemas, unidades expuestas a numerosos peligros naturales, a los que se suman, por razón de sus atractivos paisajes, la presión demográfica promovida por el desarrollo del turismo, la más común y extendida práctica económica de estos territorios. De ahí la importancia de promover a toda costa, la protección y cuidado del medio natural (Rocamora *et al.*, 2000).

Factores para considerar en el desarrollo de la transportación multimodal que amplíe la infraestructura vial en el Archipiélago Sabana-Camagüey

Acuatorios y corrientes marinas

Luego de construidos los pedraplenes, cambiaron diversos aspectos del esquema de circulación general del archipiélago. Con la terminación del pedraplén a Cayo Coco, el sis-

tema de circulación natural de las aguas de la Bahía de Perros varió. Las corrientes resultan aquí muy intensas, con valores promedios del orden de los 50-60 cm/s y máximos cercanos a los 150 cm/s, o sea, que prácticamente se ha triplicado la intensidad del movimiento en el área central de la bahía (Ventura, 2008).

Régimen de mareas

De manera general, en el área la marea es del tipo sinódico, o sea, que depende fundamentalmente de las fases de la Luna y varía en amplitud durante todo el ciclo lunar. En el caso de la zona interior, en la Bahía de Perros, Rodríguez (2008) y Ventura (2008) clasifican las mareas de la siguiente manera:

- Marea semidiurna: se observa en todo el borde exterior de la plataforma de la parte central del archipiélago y al oeste de la Bahía San Juan de los Remedios.
- Marea semidiurna irregular: es común para todo el borde de la plataforma de los extremos occidental y oriental del archipiélago. En el interior de las bahías este tipo de marea se detectó al este de las bahías San Juan de los Remedios y Buenavista.
- Marea con gran influencia meteorológica: es propia de las bahías del este del archipiélago (Perros, Jigüey y La Gloria), cuyas aguas presentan una escasa comunicación.

Sobre la base de datos de marea y corrientes, medidos en diferentes localidades que se encuentran en las bahías, se analizaron los efectos de los pedraplenes existentes actualmente. Según Fernández (2008), estas son las principales modificaciones:

- Una variación en la amplitud y el retardo de la marea al sur de Cayo Santa María y Las Brujas. En los puentes y alcantarillas construidos las velocidades de las corrientes son superiores a los 100 cm/s.
- En la Bahía de Perros, antes de construirse el pedraplén, las mediciones de corrientes detectaron pulsaciones de una marea con carácter semidiurno. Sin embargo, después de construido el pedraplén, la energía de la marea disminuyó en la zona y las corrientes dejaron de responder a las fuerzas de la marea.
- Producto del pedraplén construido, al sur de Cayo Coco quedaron zonas completamente aisladas donde las variaciones del nivel responden totalmente a factores hidrometeorológicos, como las precipitaciones. Se observó una marcada diferencia de nivel al este y oeste del pedraplén.

En el caso de la zona externa de los cayos, frente al Canal Viejo de las Bahamas, Rodríguez (2015) y Zúñiga (2016) explican lo siguiente:

A lo largo de todo el borde exterior central de la plataforma del Archipiélago Sabana-Camagüey, fundamentalmente el área comprendida entre el Canal de San Nicolás y el Canal Viejo de las Bahamas, el carácter de las mareas es semidiurno regular. Las amplitudes máximas medias oscilan alrededor de los 0.51 metros.

La principal componente de las mareas en la zona norte de los cayos es la *principal lunar semidiurna*, con una amplitud de 0.29 metros y una fase de 130.63 grados. Esta componen-

te explica el 60% de las variaciones del nivel del mar. Se encuentra además una componente *larga lunar elíptica* y una *principal solar diurna*, que explican el 15% de los datos del nivel del mar cada una. Los mayores valores de amplitud de marea ocurren durante el período de sicigia (luna nueva-luna llena), originando amplitudes máximas promedio de 74 cm, mientras que los menores suceden durante los

períodos de cuadratura (cuarto creciente y menguante), con amplitudes mínimas de 38 cm.

Los ciclones tropicales

En Cuba, las provincias centrales han sido afectadas mayormente por huracanes de poca intensidad, siendo los meses de octubre y septiembre los más peligrosos (Córdova-García *et al.*, 2018).

Tabla 1. Cantidad de veces que las provincias centrales han sido afectadas por huracanes según su intensidad en el período 1785-2017.

Intensidad	Villa Clara	Sancti Spíritus	Ciego de Ávila	Camagüey
Gran intensidad	6	3	3	4
Intensidad media	17	15	11	14
Poca intensidad	25	18	19	21

Fuente: Instituto de Meteorología (2019).

La incidencia de estos fenómenos establece condiciones temporales desfavorables para toda la cayería. El último caso registrado fue el huracán Irma en 2017, que trajo graves consecuencias para este territorio, debido a la forma de su trayectoria casi paralela a la costa norte de Cuba.

Luego del paso de Irma, la reparación de ambos pedraplenes costó más de 30 millones de pesos. Los daños fueron significativos, especialmente en el carril más oriental, que fue atacado directamente por los fuertes vientos y olas de altura superior a los tres metros. El proceso de recuperación incluyó el desbloqueo

total de puentes y alcantarillas, el movimiento de tierras, grandes rocas, piezas de hormigón y el dragado de varias zonas. El cambio de la morfología del paisaje tras el fenómeno meteorológico dificultó el trabajo de recuperación, siendo necesaria la realización de nuevas cartas náuticas en diferentes áreas (Franquiz, 2017; Benedico-Rodriguez, 2017).

Los sistemas frontales

Los frentes fríos, que revisten mayor importancia por la alta frecuencia con que penetran en esta zona, ocurren durante el período de octubre a mayo.

Tabla 2. *Intensidad de los frentes fríos que han azotado la región central de Cuba en el período 1975-2017.*

Total	Débiles	Moderados	Fuertes
612	511	85	16

Fuente: Instituto de Meteorología (2019).

La principal característica de los frentes fríos es el giro de los vientos que provienen del norte, el descenso de la temperatura del aire y la ocurrencia de chubascos y lluvias a intervalos. En algunos casos esta actividad se incrementa notablemente y tales frentes fríos pueden entonces estar acompañados de tormentas severas, tornados y vientos muy fuertes. El giro de los vientos al norte y el aumento de su velocidad condiciona un cambio significativo del estado del mar en la costa norte, a medida que el frente se desplaza de oeste a este. Generalmente, se arbola una fuerte marejada, con olas de entre 3 y 4 m de altura (Lecha, 1998).

Durante los períodos invernales son muy usuales los procesos de reparación y limpieza de los pedraplenes, debido a la incidencia de los frentes fríos. En este caso, y contrario a lo que sucede generalmente con los ciclones tropicales, es el carril occidental el que más sufre los embates del oleaje y de los sedimentos arrastrados por los vientos. En varias ocasiones se han bloqueado puentes y alcantarillas y los procesos erosivos y de arrastre del material rocoso que conforma estos viales se intensifica.

Transportación de turistas, trabajadores, equipos y cargas

La transportación de los turistas hacia o desde los diferentes destinos turísticos se realiza por vía aérea a través de diversas aerolíneas internacionales que utilizan los aeropuertos

de Cayo Coco y Cayo Las Brujas. Internamente, solo hay comunicación entre Cayo Las Brujas y Cayo Santa María en la parte occidental y entre los cayos: Coco, Guillermo, Romano y Cruz, en la porción oriental del archipiélago. Por lo tanto, para moverse entre los dos principales destinos (Cayo Santa María y Cayo Coco) hay que hacerlo por vía aérea, o realizar un largo recorrido a través de la isla de Cuba. Aunque la principal modalidad de turismo en toda la zona es la de sol y playa, también existen otras potencialidades naturales y culturales en favor de los usuarios mediante excursiones o servicios extrahoteleros fuera del polo turístico donde se pernocta. Con este fin se utilizan autos rentados u ómnibus pequeños que no se consideran causantes de afectaciones al sistema de transporte actual.

Para el área analizada está previsto un gran desarrollo hotelero; se estima que para 2025 estarán en explotación 32 505 habitaciones en esa zona. Si se considera por normas propias del turismo que por cada una de ellas deben existir 1.2 trabajadores, para ese año 39 006 trabajadores estarían prestando sus servicios. Debe destacarse el hecho de que este grupo no pernocta cerca de sus respectivas áreas de trabajo, sino que viaja diariamente desde y hasta su residencia, lo cual hace más complejo el proceso de transportación. Este se traduce en más de 850 viajes diarios de ida y regreso de ómnibus de gran tamaño (45 pasajeros por

ómnibus). Esto representa un uso excesivo del sistema vial existente, afectándolo de forma directa, pues el mismo fue construido para el acceso de vehículos ligeros fundamentalmente.

La mano de obra calificada que requieren las actuales inversiones en ejecución incorpora un número variable de trabajadores que oscila alrededor de los 46 500. Los constructores están divididos en dos grupos: aquellos que proceden de las provincias más distantes del país, que pernoctan permanentemente en los campamentos creados para su estancia, y los que provienen de las provincias que forman parte del área objeto de estudio; estos últimos viajan diariamente desde y hasta su residencia, lo que representa unos 740 viajes diarios en ómnibus de gran tamaño (45 pasajeros por ómnibus). Además de la incidencia negativa de la transportación por ómnibus de los trabajadores, se debe resaltar el traslado de cargas y equipos de la construcción con un peso significativo a través de los pedraplenes. La transportación de pesados bloques de hormigón, silos de cemento, materiales de relleno y otros, ha generado baches, grietas y desniveles en puentes, alcantarillas y pasos a nivel. Este proceso degenerativo del sistema vial existente se acentúa debido a la reiteración y aumento de la frecuencia de estos viajes.

De esta forma, se ha podido constatar que existe una sobreexplotación de los pedraplenes de este territorio, debido al exceso de peso de los medios que circulan y a la cantidad excesiva de viajes que se realizan a través de estos. Al no existir otra posibilidad para mover las cargas, constructores y trabajadores del turismo, los viales se encuentran en un franco proceso de sobreutilización, que dificulta las reparaciones y mantenimientos.

La implementación de un sistema de transportación multimodal para el movimiento (desde, hacia y en la cayería) de los constructores, trabajadores del turismo y los turistas, significa una nueva concepción del sistema que actualmente está en funcionamiento. Este nuevo sistema deberá basarse en las siguientes premisas:

- Crecimiento operativo de los aeropuertos de Cayo Coco y Cayo Las Brujas, para fomentar el número de pasajeros que pudieran acceder por esta vía, teniendo en consideración la ampliación de la cantidad de vuelos con el aumento del desarrollo turístico en la zona.
- Minucioso análisis ambiental y geocológico que determine los problemas e impactos que generará la implementación de esta propuesta, presentando medidas para su mitigación.
- Evaluación espacio temporal de las condiciones del medio natural con el objetivo de mantener y rescatar los valores tanto terrestres como marinos del territorio.
- Analizar las distintas posibilidades de conexión entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo. Una de las variantes posibles es la construcción de un pedraplén utilizando como trampolín al arco de cayos e islas que se encuentra entre ellos.
- Crear o mejorar la señalización de los diferentes tramos viales.
- Disminución de la sobreexplotación de los viales existentes y mejores opciones para el mantenimiento de estos, al encontrar una nueva posibilidad del cierre total de alguna de estas vías de comunicación.

El principal elemento para establecer este nuevo sistema es la creación de una variante de transporte que permita la unión entre Cayo Coco y Cayo Santa María. Las opciones de conexión entre ambos istmos tienen como centro la vinculación vial que existe entre Cayo Coco y Cayo Guillermo, que se construyó en sentido latitudinal y favorece la movilidad entre estos dos últimos territorios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

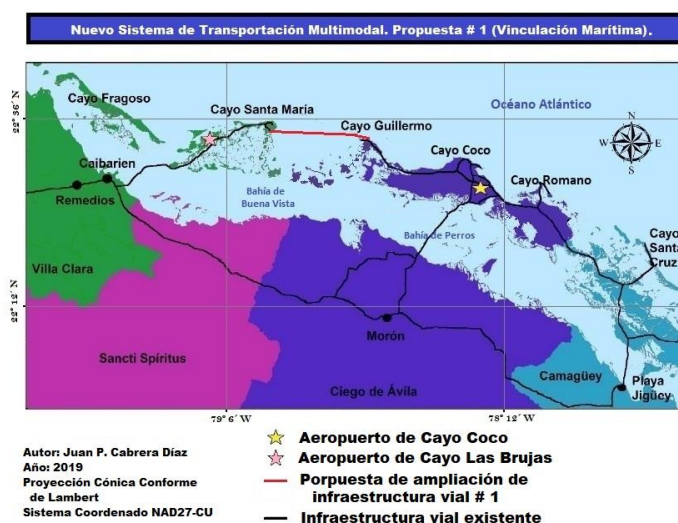
Propuestas para un nuevo sistema de transportación multimodal en el archipiélago Sabana-Camagüey

La primera variante es crear una vinculación marítima entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo (figura 2). Esta opción es factible para la movilidad de personas, pero el tema de la transportación de cargas, combustibles y vehículos pesados, que se utilizan en la construcción, queda un poco al margen por dos factores importantes. El primero es que esta opción no incluye conectividad marítima con la isla de Cuba (la cual pudiera agregarse, agravando en-

tonces el impacto del segundo factor), por lo que se seguirían usando los pedraplenes para el acceso a ambos cayos. En segundo lugar, la poca profundidad de la Bahía de Perros y de la plataforma insular donde se encuentran ambos istmos impide la circulación de embarcaciones con un calado considerable como para transportar este tipo de cargas pesadas.

Pudieran usarse el extremo oriental del pedraplén de Cayo Santa María y la porción más oriental de playa Pilar en Cayo Guillermo como puntos de atraque, teniendo que crear condiciones para ello en ambos litorales. Entre ambos puntos existe una distancia aproximada de 29 km, por lo que una embarcación pudiera realizar más de un viaje diariamente, favoreciendo la disponibilidad y viabilidad del servicio. La variabilidad del fondo marino en las costas de ambos cayos, debido a la incidencia de los fenómenos meteorológicos antes mencionados, determina que se realicen con frecuencia estudios afines y el consecuente movimiento de sedimentos en casos necesarios, para asegurar el acceso de las embarcaciones.

Figura 2. Nuevo Sistema de Transporte Multimodal. Propuesta # 1 (Vinculación Marítima).



Fuente: Elaborada por los autores.

Es importante resaltar además la necesidad de adquirir los medios (embarcaciones) necesarios para el establecimiento de este servicio. Este aspecto encarece sobremanera la posible aplicación de esta opción, siendo aún mayor el presupuesto a utilizar si se analizara la variante de incorporar otro puerto en la isla de Cuba.

La segunda variante analizada consiste en crear un pedraplén que una a Cayo Guillermo y el grupo de islas, islotes y cayuelos que están al sur de este, con la porción oriental de Cayo Santa María (*figura 3*). Para dicha conexión, debe crearse un vial con una extensión aproximada de 55 km. El mismo permitiría la unión entre ambos destinos turísticos y el movimiento de turistas que arriben de forma aérea a los aeropuertos de Cayo Las Brujas y Cayo Coco, aprovechando así la creación de un sistema de transporte multimodal que opere en toda la zona.

Este pedraplén puede realizarse aprovechando una serie de islas que interconectan ambos cayos. Para ello, y partiendo desde el extremo oriental del pedraplén de Cayo Santa María, en un primer momento debe tomar un rumbo sur de aproximadamente 17 km, posteriormente otros 20 km con rumbo este-sureste y finalmente

deben incluirse 18 km hacia el noreste hasta llegar a la zona sur de Playa Pilar, en Cayo Guillermo. Las características constructivas deben cumplir con varias especificidades como las propuestas por Quirós y Machado (2013), especialmente las referidas a la circulación de las aguas por las corrientes marinas y las mareas. Estas tienen gran significación en el área debido a que la zona que se pretende cerrar con el vial es la principal vinculación de la Bahía de Perros con el Océano Atlántico.

Es importante destacar que esta variante permitiría cerrar completamente cualquiera de los viales de acceso a los cayos para su reparación total, facilitando también los procesos de mantenimiento. Otra cuestión de interés, además de la conexión entre ambos destinos, es la ampliación de la zona accesible para el desarrollo de la actividad turística, la cual pudiera aprovecharse dependiendo de sus potencialidades y del cuidado y la preservación que se proyecte sobre el medio natural, debido a la especial fragilidad de esta zona. Se presenta como la opción más viable teniendo en cuenta las condiciones económicas y tecnológicas actuales en Cuba.

Figura 3. Nuevo Sistema de Transporte Multimodal. Propuesta # 2 (Pedraplén).



Fuente: Elaborada por los autores.

La tercera variante es una vinculación directa entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo a través de un viaducto en línea recta (figura 4). Esta opción tiene un costo más elevado que las anteriores y necesita una tecnología de construcción superior y más avanzada. La creación de este viaducto sería en una zona de mar abierto con la incidencia directa de los vientos alisios, aspecto a tener en cuenta para su construcción y posteriores

procesos de mantenimiento. Debe incorporarse además la vulnerabilidad ante los fenómenos meteorológicos presentados anteriormente.

Esta variante permitiría disminuir los tiempos de viajes y el impacto ambiental sobre el territorio (en comparación con el pedraplén), sin embargo, desde el punto de vista económico resulta muy difícil emprender un proyecto de esta magnitud.

Figura 4. Nuevo Sistema de Transporte Multimodal. Propuesta # 3 (Viaducto).



Fuente: Elaborada por los autores.

A partir de las propuestas anteriores, el diseño del sistema de transportación multimodal previsto quedaría definido de la forma siguiente:

La creación de la nueva infraestructura permitiría el ingreso a todos los polos por cualquier vía, previendo, dentro de los procesos de gestión del sistema de transporte, el cierre parcial o total cada cierto tiempo de uno de los pedraplenes, con el objetivo de ejecutar los mantenimientos requeridos. Esto posibilitaría aumentar el tiempo de explotación de estas estructuras. Será necesario también ampliar la capacidad de gestión de los aeropuertos, convirtiendo a ambos en nodos de transporte, conectando los principales destinos del área. Además, se crearía la posibilidad, para los que entren a través de los pedraplenes, de alcanzar todos los destinos turísticos de estos polos sin necesidad de retornar a la isla grande, favoreciendo el ahorro de tiempo y combustible. Finalmente, se pueden programar excursiones y pasadías en autos u ómnibus desde y hacia cualquiera de los destinos de los cayos.

No obstante, no todos los impactos que podría generar la implementación de esta propuesta son positivos. En este caso se explican algunos procesos que pueden convertirse en aspectos negativos. Entre ellos están:

Los cambios de circulación de las aguas por la variación de las corrientes marinas en la Bahía de Perros, un gran espacio con poca profundidad que depende, en alto grado, del contacto con las aguas exteriores por el mismo espacio donde se construiría el nuevo vial. Este aspecto puede tener un paliativo en la inserción de varios puentes en el transepto, especialmente en las zonas donde existan corrientes de intercambio.

La vinculación a través de una vía en línea recta entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo sería más factible para su construcción, sin embargo,

la misma quedaría en mar abierto, aumentando la vulnerabilidad del vial y propiciando su rápido deterioro. Su mantenimiento sería bastante costoso y la situación económica del país hace difícil su sostenibilidad en el tiempo.

Como se espera el crecimiento de la actividad turística en dicha zona, pudiera existir, en un futuro cercano a la implementación de esta propuesta, una sobreexplotación de este vial por la movilidad excesiva a través del mismo, aspecto que se debe monitorear constantemente. Se pueden generar afectaciones a la flora y la fauna que vive en las zonas que se conectarán, especialmente en los manglares y zonas de poca profundidad, debido a los cambios en la circulación del agua, el movimiento de sedimentos y materiales de relleno y la incidencia de los equipos de construcción.

Otro impacto a considerar es el generado por especies invasoras que se inserten en esos ecosistemas, pues la creación del pedraplén elimina barreras de movilidad para animales y plantas que pudieran ser un peligro potencial para el equilibrio ecológico del ecosistema. Esto pudiera generar cambios en las cadenas tróficas y favorecer la desaparición de especies más frágiles.

CONCLUSIONES

Los viales que hoy conectan a la cayería con la isla de Cuba presentan problemas, debido a que se sobrepasa sus capacidades de uso y han sido golpeados por varios fenómenos meteorológicos extremos.

La propuesta del esquema de transportación multimodal, a partir de la creación del pedraplén, permitiría la disminución de la sobreexplotación y la reparación de los viales ya existentes. El aumento de la conectividad permitiría disminuir

la vulnerabilidad de la zona ante fenómenos naturales de gran intensidad.

Entre las principales ventajas se encuentra la posibilidad de conexión entre los polos turísticos más importantes del área, la posibilidad del cierre temporal de los pedraplenes para su correcta reparación y la ampliación de las opciones de evacuación ante fenómenos extremos.

De generarse un proyecto para estos fines, sería importante que los ecosistemas de las bahías de Perros y Buenavista contaran con un seguimiento y que se aplicaran experiencias hidrogeológicas de construcciones anteriores. La protección y cuidado del ambiente en el área de estudio es una premisa relevante para mantener y promover la actividad turística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Athar, M., Saluja, I. S. y Athar, H. (2022). Effect of bends on scour and deposition around causeways. In R. Jha, V. P. Singh, V. Singh, L. B. Roy y R. Thendiyath (Eds) *River Hydraulics. Water Science and Technology Library* (Vol. 110). Springer. <https://doi.org/jj2b>
- Barrio, O., Venegas, C., Maure, K., Martínez, E., Hernández, H., Martínez, J., González, R., García-Quinta, A. y Martín, Y. (2020). Impacto ambiental del vial de distribución principal de Cayo Cruz, Camagüey. *Monteverdia*, 13(1), 21-35. <https://bit.ly/3NqG078>
- Benedico-Rodriguez, O. A. (2017). Resumen meteorológico, en síntesis, de la influencia del huracán de gran intensidad Irma sobre la provincia Ciego de Ávila. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(3), 378-384. <https://bit.ly/3zBq24l>
- Córdova-García, O., García-García, M., Machado-Montes de Oca, A. y Borrego-Díaz, R. (2018). Huracanes que afectaron a Ciego de Ávila y sus periodos de retorno. Periodo 1851 a 2017. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3), 245-255. <https://bit.ly/3zDpSJM>
- Franquiz, J. (2017). *Estudios de factibilidad de la cayería Norte de Villa Clara*. Centro de Investigación y Manejo ambiental del Transporte.
- Gerwing, T. G., Plate, E., Kidd, J., Sinclair, J., Burns, Ch. W., Johnson, S., Roias, S., McCulloch, C. y Bocking, R. C. (2020). Immediate response of fish communities and water chemistry to causeway breaching and bridge installation in the Kaouk river estuary, British Columbia, Canada. *Restoration Ecology*, 28(3), 623-631. <https://doi.org/10.1111/rec.13110>
- González, M. (2006). Gestión preventiva de impactos ambientales. Implantación geoespacial del turismo en el sector Oeste de Cayo Santa María, Jardines del Rey-Cuba. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 15, 350-366. <https://bit.ly/3DWkQe2>
- Hemmati, M., Ahmadi, H., Ahmad, S. y Naderkhanloo, V. (2021). Environmental effects of the causeway on water and salinity balance in Lake Urmia. *Regional Studies in Marine Science*, 44, e101756. <https://doi.org/gkx3hq>

- Instituto de Meteorología de Cuba. (2019). *Datos generales de los fenómenos meteorológicos en Cuba*. Instituto de Meteorología de Cuba.
- Lecha, L. B. (1998). *Clima. Estudio de Línea Base Ambiental de Cayo Santa María*. GEOCUBA.
- Quirós, A. y Machado, R. (2013). Experiencias hidrogeológicas en el diseño del pedraplén de Caibarién (2). *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(3), 70-76. <https://bit.ly/3U5SnYI>
- Rocamora, E., Cerdeira, S., Torres, J. C. y Molerio, L. F. (2000). *Interpretación digital de imágenes en la evaluación de impactos ambientales en el Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba*. CESIGMA S. A. <https://bit.ly/3FM0c1z>
- Rodríguez, Y. (2008). *Afectaciones provocadas por la limpieza de las playas del destino turístico Jardines del Rey. Caso de estudio: Playa Larga, Cayo Coco*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad de La Habana.
- Rodríguez, Y. (2015). *Influencia potencial de las olas y la marea sobre la eficiencia del REALCO. Caso de estudio Punta Raza, Cayo Coco, Cuba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3EiQLFr>
- Vallejo, J., Sanchez, K., Roozee, E. y Temby, O. (2022). Disaster resilience versus ecological resilience and the proposed second causeway to south Padre Island. *Case Studies in the Environment*, 6(1), e1714379. <https://doi.org/10.1525/cse.2022.1714379>
- Ventura, Y. (2008). *Carga real de las playas del destino turístico Jardines del Rey. Caso de estudio Playa Larga, Cayo Coco*. [Tesis de Diploma no publicada]. Universidad de La Habana.
- Vickery, Ch. G. (2021). *Factors controlling circulation at the terminus of a shallow seagrass-dominated estuary, Fort DeSoto Bay, West-Central Florida*. [Tesis doctoral, Universidad de la Florida]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3DXWmpX>
- Zúñiga, A. (2016). *Evaluación del potencial del Sistema Renovador de Aguas de Lagunas Costeras (REALCO) para la rehabilitación de Laguna Larga, Cuba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3hwfE7T>