

Transporte Resiliente al Cambio Climático: ¿Cómo priorizar la inversión?

Caso de República Dominicana

Juan Camilo Olaya G.
Annette Suardi
Benoit Lefevre
Manuel Rodríguez Porcel

División de Transporte
División de Cambio Climático

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-02583

Diciembre 2022

Transporte Resiliente al Cambio Climático: ¿Cómo priorizar la inversión?

Caso de República Dominicana

Juan Camilo Olaya G.
Annette Suardi
Benoit Lefevre
Manuel Rodríguez Porcel

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Olaya González, Juan Camilo.

Transporte resiliente al cambio climático: ¿cómo priorizar la inversión?: caso de República Dominicana / Juan Camilo Olaya G., Annette Suardi; editores, Benoit Lefevre, Manuel Rodríguez Porcel.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2583)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Resilience (Ecology)-Dominican Republic. 2. Climatic changes-Economics aspects-Dominican Republic. 3. Transportation-Environmental aspects-Dominican Republic. 4. Sustainable transportation-Dominican Republic. I. Suardi, Annette. II. Lefevre, Benoit, editor. III. Rodríguez Porcel, Manuel, editor. IV. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático. VI. Título. VIII. Serie.

IDB-TN-2583

Códigos JEL: Q54, L91

Palabras clave: resiliencia, cambio climático, red de transporte, inversiones, República Dominicana

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2022] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

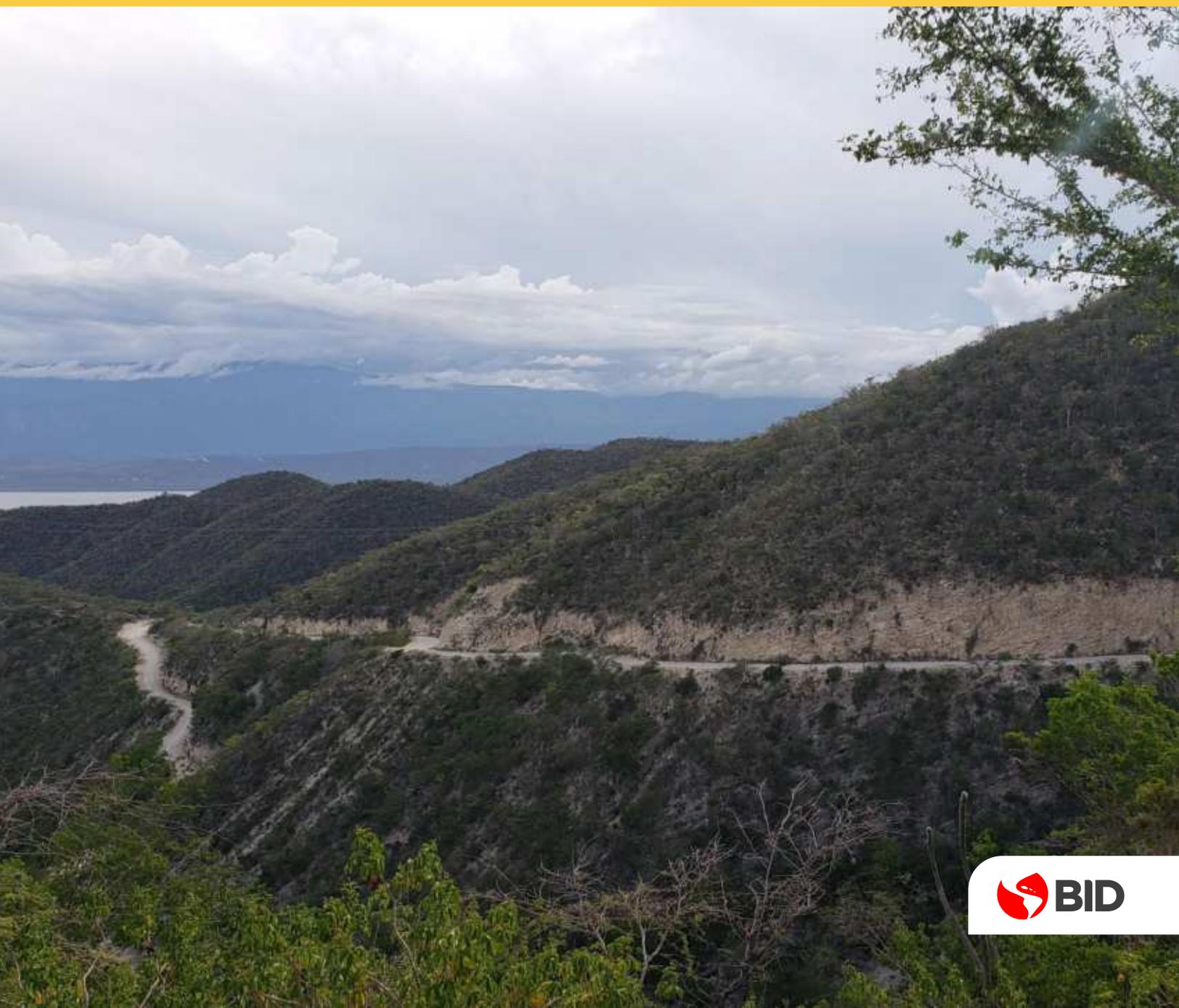


Manuel Rodríguez Porcel (marodriguez@iadb.org)

Benoit Lefevre (benoitl@iadb.org)

Transporte Resiliente al Cambio Climático: ¿Cómo priorizar la inversión?

Caso de República Dominicana



AUTORES

Juan Camilo Olaya G. Ingeniero Civil y Ambiental.
MSc. Especialista en Gestión
del Riesgo de Desastres
y Cambio Climático

**Annette Suardí
Gómez** Ing. Civil, MSc. Ing. Geológica,
Consultora externa en Gestión
de Riesgos en el BID, basada
en República Dominicana

EDITORES

Benoit Lefevre Economista. PhD.
Especialista Senior en
Cambio Climático en el BID

**Manuel Rodríguez
Porcel** Especialista en Transporte
del BID

Los autores agradecen la contribución del equipo técnico del consorcio de firmas DELTARES/CSI, así como el compromiso, la dedicación y los aportes recibidos de: Ángel Tejeda, Viceministro de Planificación del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Cristian Borrero y Ernesto Musa Saba (*Descanse en Paz*), Directores de la Unidad Ejecutora de Proyectos Financiados con Recursos Externos (JEPFRE) del MOPC; Lucía Cedeño, Asistente del Director de la UEPFRE; Marta Souffront y Francisco Holguín (ex), Directores de Gestión de Riesgos y Emergencias del MOPC; así como tantas otras personas e instituciones del Estado Dominicano que de algún modo han contribuido con este trabajo durante su ciclo de vida. Adicionalmente, el equipo agradece a Andrés Pereyra y Ginés Suárez, quienes contribuyeron con sus aportes como equipo revisor del Banco Interamericano de Desarrollo durante el proceso de publicación.

* Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Resumen ejecutivo

La República Dominicana se encuentra expuesta, por su localización geográfica, a una serie de amenazas de origen natural que afectan su población y su infraestructura. A su vez, el cambio climático es un fenómeno real sobre el cual el Sexto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (AR6 – IPCC, 2022) determina que hay un “alto nivel de confianza” que puede afectar la magnitud y frecuencia de los eventos amenazantes y, por tanto, puede generar que los efectos sobre la población e infraestructura sean mayores a futuro en una escala global. La infraestructura de transporte, como carreteras, caminos o puentes, son un componente esencial del desarrollo socioeconómico del país e históricamente se ha visto comprometido por los efectos de amenazas de origen natural, tanto en daños físicos directos que debe reparar el Gobierno, como en pérdidas económicas de la sociedad civil por la no disponibilidad de carreteras, caminos y puentes, y/o por la necesidad de utilizar carreteras alternas para la logística de personas y carga.

Ante esta situación, el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financió el estudio “Infraestructura de Transporte Resiliente - Blue Spot Analysis”, desarrollado por Deltares y CSI Ingenieros, en 2020 como una solución pionera en Latino América y El Caribe para que las instituciones gubernamentales y los tomadores de decisión en República Dominicana tengan por primera vez una herramienta robusta, sencilla, completa, y con metodologías avanzadas que permite obtener: (i) el análisis de daños y pérdidas en la infraestructura vial por efecto de eventos de desastres de origen natural con influencia de cambio climático; (ii) el grado de vulnerabilidad y exposición de la infraestructura de transporte a ser priorizada con el fin de transformarla en infraestructura más segura y resiliente; (iii) recomendaciones técnicas para un adecuado diseño resiliente de la infraestructura; y (iv) una herramienta de visualización de los resultados de priorización de infraestructura de transporte que permite comunicar de forma ágil y novedosa los componentes evaluados.

En ese sentido, este documento presenta los aportes y soluciones de los que ahora disponen instituciones como el MOPC o el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD), así como otras entidades de Planificación y tomadores de decisión, o la sociedad civil y el sector privado en República Dominicana con respecto a la integración de la resiliencia a amenazas de origen natural con influencia de cambio climático de la red de infraestructura de transporte a nivel nacional.

Los aportes más relevantes que se incluyen, responden a:

- i.** Inventario completo de activos del sistema vial y de puentes del país
- ii.** Modelos climáticos recomendados para el país y cada una de sus regiones, atendiendo al efecto potencial del cambio climático en la precipitación y la temperatura
- iii.** Daños y pérdidas en la red vial nacional por amenazas de origen natural y con influencia de cambio climático
- iv.** Identificación de los tramos más críticos del sistema vial nacional sobre los cuales se deben enfocar las inversiones
- v.** Recomendaciones para enfocar las medidas de intervención en los tramos viales más vulnerables
- vi.** Medidas de intervención más costo-efectivas para el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático de la red vial nacional
- vii.** Herramienta y capacitación para la visualización, interacción, priorización de tramos viales, medidas de intervención técnica y cuantificación del nivel inversión requerido

Por último, se presentan dos casos de rehabilitación de tramos de carreteras en República Dominicana en los cuales los aportes mencionados anteriormente jugaron un papel crucial en la gestión y desarrollo de los proyectos. El primer caso es el del Programa de Rehabilitación y Mantenimiento de Infraestructura Vial en República Dominicana, particularmente en Barahona. Y el segundo corresponde a la rehabilitación de la carretera Duarte, en su tramo Navarrete-Montecristi.

Mensajes clave y recomendaciones

PROBLEMA A RESOLVER	¿En un ambiente de incertidumbre económico, de cambio climático, de amenazas naturales, en qué tramos del sistema de red vial nacional debo enfocar la inversión? ¿Qué tipo de intervención debo priorizar y qué costo puede tener?
RECOMENDACIÓN A TOMADORES DE DECISIÓN	Es totalmente relevante hacer procesos de apropiación, difusión, y uso de la herramienta de priorización de intervenciones en la red vial nacional para focalizar proyectos de rehabilitación y mejoramiento de infraestructura en el país.
RECOMENDACIÓN A INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES	La Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), el MOPC, el sector privado y demás actores encargados del diseño de infraestructura vial disponen de nuevos resultados de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para las zonas climáticas más importantes del país a partir de una base de datos robusta y completada como un aporte del proyecto. El MOPC ahora dispone de una base de datos georreferenciada completa de la red vial nacional caracterizada con componentes de criticidad, daños y pérdidas potenciales, proyecciones de tráfico a 2050, entre otros.
RECOMENDACIÓN A SOCIEDAD CIVIL Y SECTOR PRIVADO	Ahora disponen de información de los modelos de cambio climático más apropiados para la modelación de eventos futuros de precipitación extrema, conjunto de curvas IDF construidas para diversos sectores del país que mejor representan las condiciones de precipitación en República Dominicana para ser usados en proyectos de diseño de infraestructura vial, para fomentar de manera sencilla la integración de la resiliencia al cambio climático en el desarrollo del país.

Abstract

The Dominican Republic is exposed to a series of natural hazards that affect its population and infrastructure. Likewise, climate change is a real phenomenon that can affect the magnitude and frequency of hydro-meteorological hazard events and, therefore, can generate greater effects on the population and infrastructure in the future with a “high level of confidence” (AR6 – IPCC, 2022) at a worldwide scale. Transportation infrastructure is an essential component of the socio-economic development of the country and has historically been compromised by the effects of natural hazards, both in terms of direct physical damage that the Government must repair, as well as economic losses to civil society due to the unavailability of the infrastructure, and/or the need to use alternate roads for the logistics of people and cargo.

Given this situation, the Ministry of Public Works and Communications (MOPC) with the support of the Inter-American Development Bank (IDB) financed the study “Resilient Transportation Infrastructure - Blue Spot Analysis”, conducted by Deltares and CSI Ingenieros, in 2020 as a pioneering solution in Latin America and the Caribbean to support government institutions and decision-makers in the Dominican Republic have for the first time a robust, simple, complete tool with advanced methodologies that allows obtaining: (i) the analysis of damages and losses in road infrastructure due to the effect of

natural disaster events influenced by climate change; (ii) the degree of vulnerability and exposure of the transportation infrastructure to be prioritized in order to transform it into safer and more resilient infrastructure; (iii) technical recommendations for an adequate resilient design of the infrastructure; and (iv) a visualization tool of the results of prioritization of transportation infrastructure that allows communicating in an agile and novel way the evaluated components.

In this sense, this document presents the contributions and solutions now available to institutions such as the MOPC or the Ministry of Economy, Planning, and Development (MEPyD), as well as other planning entities and decision-makers, or civil society and the private sector in the Dominican Republic concerning the integration of resilience to natural hazards influenced by climate change in the transportation infrastructure network at the national level.

KEYWORDS

Climate Change Resilience, Disaster Risk Management in the transport sector, Blue Spot Analysis, Disaster Risk Reduction Measures in the transport sector, Dominican Republic, Resilient transport infrastructure

Contexto En un ambiente de riesgos climáticos crecientes, es indispensable priorizar zonas y medidas de intervención

La República Dominicana es uno de los países más afectados por los impactos socioeconómicos sufridos durante las últimas décadas por la ocurrencia de eventos de amenaza de origen natural (sismos, inundaciones, huracanes, etc.). Según la base de datos EM-DAT (Guha-Sapir & Below, 2017), en la región de El Caribe entre 1900 y 2022 el país se ubica en la 3ra posición en total de muertos (5.465) y 6to en daños económicos totales (US\$ 6.426 Millones). La vulnerabilidad ante estos fenómenos se ha incrementado debido a factores como: crecimiento poblacional, pobreza, falta de resiliencia y gobernanza, la expansión de centros urbanos y el desarrollo de proyectos de infraestructura sin las debidas medidas de seguridad (Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial [DGODT], 2012).

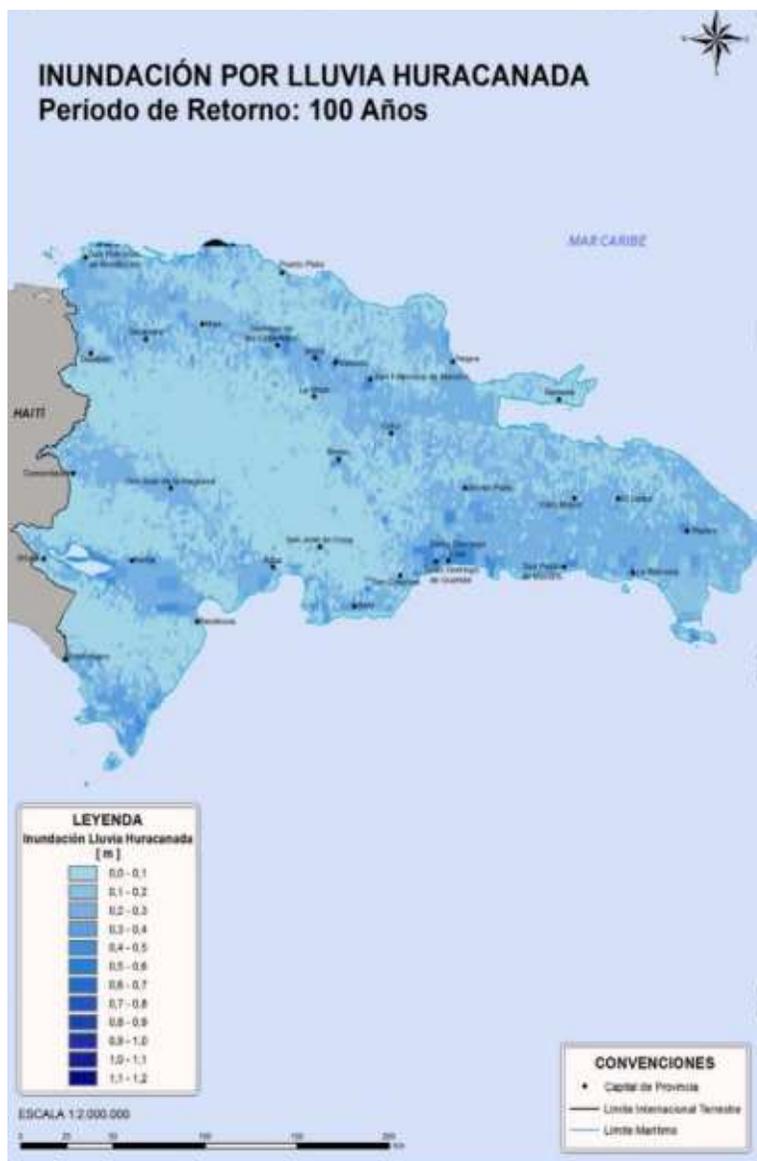
“El cambio climático es el reto más desafiante de la humanidad. Estamos decididos a hacer los esfuerzos necesarios para conciliar la resiliencia económica y climática y lograr el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París”

SR. PRESIDENTE LUIS ABINADER, 2021]

La República Dominicana ocupa la posición número 50 (de un total de 180 países) del Índice de Riesgo Climático (CRI, por sus siglas en inglés) para el período 2000-2019 (Germanwatch, 2021). El país sufre eventos recurrentes como inundaciones por lluvias extremas, ciclones tropicales y sequías, que afectan negativamente la economía nacional, los medios de subsistencia y las oportunidades de desarrollo sostenible. Entre 2014 y 2015, el país sufrió una de las

peores sequías de los últimos 20 años. Este acontecimiento, junto con las inundaciones, desplazó temporalmente a decenas de miles de personas y causó graves daños en la infraestructura vial. Entre marzo y abril de 2017, más de 20 componentes de la infraestructura vial (puentes y corredores principales) tuvieron que ser reconstruidos para mantener la conectividad de la red de transporte. Entre 2016 y 2017, 15 provincias y 644 obras relacionadas con conectividad de la red de transporte (carreteras, caminos, puentes, obras hidráulicas, taludes, etc.) fueron afectadas. Durante este periodo los daños reportados ascendieron a más de US\$394 millones de acuerdo con datos del MOPC (2018).

FIGURA 1. Mapa de amenaza de inundación por lluvia huracanada- período de retorno 100 años. Fuente: DGODT, 2012.



La intensidad y frecuencia de eventos hidrometeorológicos se pueden incrementar a futuro por el efecto del Cambio Climático (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC], 2022). Si bien las tendencias regionales de precipitaciones medias¹ para El Caribe tienden a disminuir (Ver Figura 2), o no son concluyentes, es importante considerar que factores de tipo regional como la topografía, condiciones micro climáticas, patrones cíclicos (ENOS), entre otros, afectan los forzamientos globales y pueden inducir incrementos de precipitación extrema a futuro por efecto del cambio climático en diferentes zonas del país (IPCC, 2022). Además, aunque la media de las precipitaciones totales pueda disminuir (lo cual también puede dar lugar a un mayor número de sequías), el número de eventos intensos podría seguir en aumento. Por lo tanto, es fundamental considerar el efecto de cambio climático a futuro en la Gestión del Riesgo de Desastre (GRD) del país, y en las actividades más relevantes para el desarrollo económico y social. Sumado a ese contexto, se ha observado que los enfoques para evaluar el impacto de los eventos de origen natural sobre la infraestructura de transporte no son de carácter sistémico (es decir, no consideran la red de transporte como un sistema, sino como un

1 Depende del *Global Circulation Model* (GCM) y de los escenarios *Shared Socioeconomic Pathway* (SSP) considerados, se encuentran tendencias de precipitación extrema negativa o positiva. No se puede decir de forma concluyente para El Caribe que las precipitaciones extremas vayan a incrementar, a partir de modelos globales (IPCC, 2021).

conjunto de elementos separados) y el concepto de resiliencia al cambio climático en la red vial no ha sido diseminado de forma amplia (Banco Mundial, 2015) dentro de sectores institucionales técnicos.

Por último y para agravar la situación, los recursos (tiempo y dinero) son finitos dentro de los presupuestos de los países, y República Dominicana no es ajena a esta situación. Existen presiones políticas,

sociales y económicas sobre los presupuestos anuales y los gobiernos centrales y locales tienen tiempos limitados para la ejecución de los recursos en todos los sectores: salud, educación, trabajo, seguridad, transporte, entre otros. En este sentido, el riesgo de desastres de origen natural opera como un pasivo contingente que está latente y en cualquier momento (no se sabe cuándo) se puede materializar y

FIGURA 2.

Mapa de proyección de anomalía anual de precipitación [mm] entre 2080-2099 para escenario SSP2-4.5.



Mapa de proyección de anomalía anual de precipitación [mm] entre 2080-2099 para el escenario SSP2-4.5.



Gráfico de proyección de anomalía anual de precipitación [mm] entre 2080-2099 para el escenario SSP2-4.5.

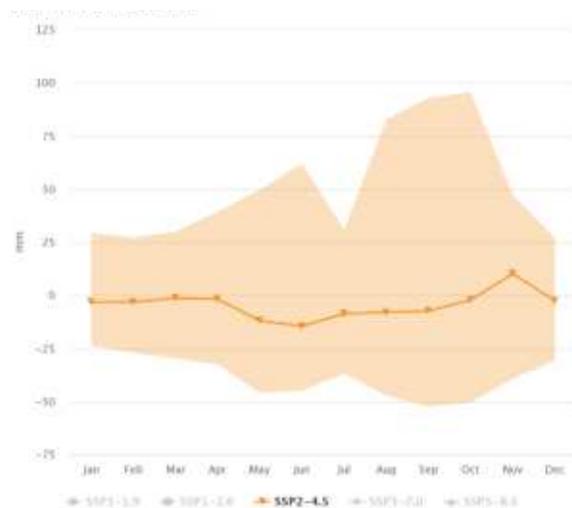
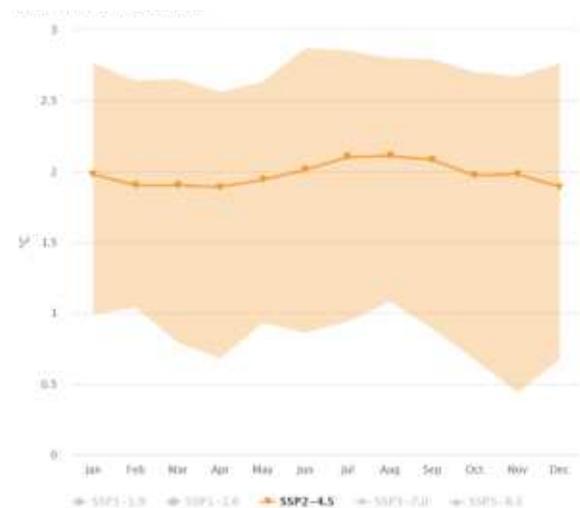


Gráfico de proyección de anomalía anual de precipitación [mm] entre 2080-2099 para el escenario SSP2-4.5.



Fuente: Banco Mundial, 2021.

convertirse en un pasivo real que afecte el presupuesto anual, bianual y, en ocasiones, de décadas en los países. Del total del presupuesto anual de República Dominicana en 2021 (US\$1.101 millones), un 27,1% (US\$299 millones) fueron destinados a infraestructura de transporte, para la creación de obras nuevas, y mantenimiento y reparación de obras existentes (DIGEPRES, 2021). En un contexto de recursos finito, el presupuesto debe ser invertido por los tomadores de decisión con la mayor inteligencia posible a partir de información robusta que les permita identificar de forma racional las mejores opciones de inversión. En este punto surgen varias preguntas totalmente relevantes para la estabilidad económica del país, para la salud de la infraestructura vial y, por tanto, para la salud de todos los demás sectores de desarrollo del país:

- **¿Con qué información cuento para la toma de decisiones de inversión en el sector de infraestructura de transporte?**
- **¿Cómo la puede afectar el cambio climático?**
- **¿Cómo la puede afectar la ocurrencia de un sismo o un tsunami?**
- **¿Existen herramientas que me ayuden a decidir en dónde invertir mejor?**
 - » **¿Cuento con ellas?**
- **¿Existen recomendaciones de soluciones a las principales amenazas que afectan la infraestructura?**
- **¿Puedo desarrollar un plan de medidas a ejecutar?**

Para responder estas preguntas, en 2020 el BID con el apoyo del instituto de investigación holandés Deltares en consorcio con la firma de ingenieros consultores CSI de Uruguay desarrolló en coordinación con varias instituciones públicas dominicanas, lideradas por el MOPC, el proyecto “Infraestructura de Transporte Resiliente - Blue Spot Analysis”, en el cual se estudió el riesgo por amenazas naturales (hidrometeorológicas y geofísicas) que afectan a la red vial nacional y puentes de República Dominicana. En este proyecto se creó una herramienta ágil, robusta, sencilla y que permite la identificación rápida de todos los tramos viales en los cuales se deben focalizar de modo costoefectivo la inversión para fortalecer la resiliencia de la red de infraestructura a amenazas de origen natural con influencia de cambio climático. República Dominicana es, hasta el momento, el país pionero en la región de ALC en implementar metodologías y herramientas novedosas para la toma de decisiones de inversión para el fortalecimiento de la resiliencia de la infraestructura de transporte al cambio climático. Este documento presenta los principales elementos metodológicos y resultados de este proyecto.

CAJA 1. **Amenazas de origen natural**

Geofísicas:

Amenazas naturales de origen geológico. Entre ellos se encuentran: terremotos, actividades y emisiones volcánicas, movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes en superficie y corrientes de barro o escombros).

Hidrometeorológicas:

Amenazas naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico. Entre ellas se encuentran: ciclones tropicales (huracanes), tempestades, granizadas, tornados, tormentas de nieve, nevadas, avalanchas, marejadas, inundaciones, sequías, olas de calor y de frío.

Fuente: (UNISDR, 2009).

Herramienta

“Infraestructura de Transporte Resiliente—*Blue Spot Analysis*” para decidir donde y como invertir mejor

Los aportes novedosos con los que ahora cuenta República Dominicana para la toma de decisión de inversión en infraestructura vial se obtuvieron a partir de la metodología Blue Spot (Hansson, Hellman, & Larsen, 2010). Este método es útil para (i) identificar la ubicación de puntos críticos ante la ocurrencia de eventos de origen natural, y (ii) plantear y seleccionar medidas de intervención más efectivas en un ambiente de gran incertidumbre climática y económica, para incrementar la resiliencia del sistema a los efectos de las amenazas estudiadas².

FIGURA 3. Pasos del método



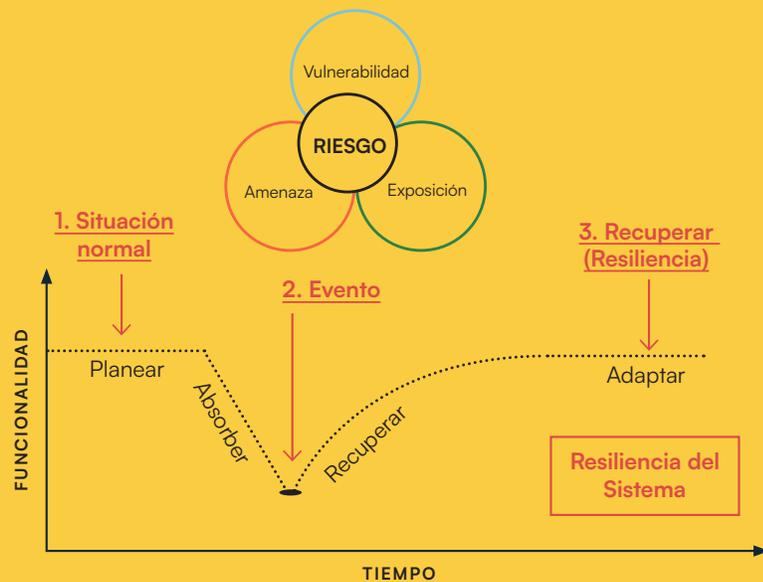
2 Todo el detalle metodológico se puede consultar en los entregables uno al seis del proyecto “Infraestructura de Transporte Resiliente - Blue Spot Analysis” (DELTARES, BID 2021).

CAJA 2.

Concepto de resiliencia

Capacidad de un sistema de volver a su estado original cuando se produce un evento perturbador (p. ej. Amenaza de origen natural: inundaciones, huracanes, sismos, etc.). El concepto de resiliencia está directamente relacionado con la capacidad de adaptación del sistema a eventos de desastre, y estas acciones de adaptación se pueden producir de manera previa a la ocurrencia de un evento o posterior a ella y, como consecuencia de la generación de pérdidas, se identifican acciones para la adaptación y el fortalecimiento de la resiliencia.

(Linkov, Nature Climate Change, 2014).



Soluciones y aportes novedosos

Las metas alcanzadas en el proyecto fueron:

- i.** Determinar un nivel de priorización en los tramos viales de República Dominicana para su intervención, desde una perspectiva económica y funcional, que permita realizar una optimización del uso de los recursos públicos de forma efectiva
- ii.** Determinar las acciones para disminuir las consecuencias de las amenazas de origen natural en la infraestructura vial teniendo en cuenta la incertidumbre climática y económica a futuro, para aumentar la resiliencia de la red vial nacional

Para lograr estos objetivos, se produjeron una serie de resultados que para las instituciones gubernamentales (como el MOPC, ONAMET, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [INDRHI], Ministerio de Economía, MEPyD), la sociedad civil y el sector privado se convierten en soluciones y aportes novedosos que les permiten facilitar su trabajo, dado que se convierten en insumos valiosos y actualizados en temas como: cambio climático, red vial nacional georreferenciada, base de datos de precipitación a nivel nacional, GRD, daños y pérdidas económicas por amenazas hidrometeorológicas y geofísicas, matrices origen-destino, proyecciones de tránsito a futuro, entre otros muchos temas. Las principales soluciones y aportes novedosos que se convierten en un insumo pionero en el país para las instituciones, la sociedad civil y el sector privado, son:

- a.** Inventario completo de activos del sistema vial y de puentes del país
- b.** Modelos climáticos recomendados para el país y cada una de sus regiones, atendiendo al efecto potencial del cambio climático en la precipitación y la temperatura
- c.** Daños y pérdidas en la red vial nacional por amenazas de origen natural y con influencia de cambio climático
- d.** Identificación de los tramos más críticos del sistema vial nacional sobre los cuales se deben enfocar las inversiones
- e.** Recomendaciones para enfocar medidas de intervención
- f.** Portal web (herramienta) que permite la visualización, interacción, priorización de tramos viales, medidas de intervención técnica y cuantificación del nivel inversión requerido

APORTE 1

Inventario completo de activos del sistema vial de República Dominicana

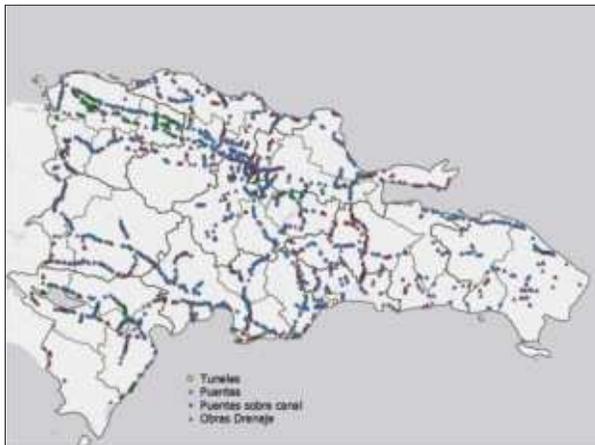
República Dominicana, dispone hoy un inventario completo de todos los tramos, peajes y puentes de la red de infraestructura vial en términos de:

- Modelo geométrico de la red vial consistente y con total conectividad
- Estimación del tráfico actual y proyección del tránsito hasta el año 2050 de acuerdo al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB)
- Estimación de matrices origen-destino hasta 2050

El inventario de activos del sistema puede ser consultado de manera abierta, gratuita y en todo momento en la siguiente dirección web: <https://www.mopc.gob.do/geoportal>.

FIGURA 4. Inventario de la red vial nacional.

Nodos (obras de drenaje, peajes, puentes, etc.)



Tramos viales (red troncal, local y regional)



APORTE 2

Modelos climáticos recomendados para el país y cada una de sus regiones, atendiendo al efecto potencial del cambio climático en la precipitación y la temperatura

Alrededor de los impactos del cambio climático hay pocas certezas y muchas incertidumbres. Dentro de las certezas importantes que ha establecido el IPCC es que el cambio climático existe y es una realidad. Otra certeza importante es que la temperatura media terrestre va a incrementar en este siglo. En particular, para República Dominicana se estima que la temperatura media incremente entre 1,5 y 2,5°C para final del S.XXI (Ver Figura 2). Donde actualmente existen las mayores incertidumbres es en los efectos del incremento de la temperatura de la superficie terrestre en las demás variables meteorológicas, entre ellas la precipitación. Una de las herramientas actuales y científicas para reducir la incertidumbre frente a las condiciones de precipitación futuras con condición de cambio climático son los Modelos de Circulación General (MCG), los cuales generan proyecciones (no predicciones) climáticas a futuro (hasta el año 2100) para todo el globo. En estos se basa el IPCC para sus Reportes de Evaluación (Assessment Report - AR), actualmente en su 6ta versión. Las características principales de estos modelos son:

- Simulan a futuro las variables meteorológicas de todo el globo, a partir de supuestos (escenarios) del comportamiento socioeconómico de los países y su impacto en los Gases de Efecto Invernadero
- Existen numerosos MCG (más de 100) de diferentes centros de investigación en todo el mundo (más de 50 grupos)
- Simulan las condiciones climáticas históricas y con ello se determina su capacidad de proyección a futuro para diferentes zonas del globo
- Cada MCG tiene fortalezas y debilidades de simulación de condiciones climáticas y de su capacidad de simulación de condiciones históricas en diferentes zonas del globo
- Los MCG suelen tener resoluciones espaciales relativamente grandes (superiores a los 100 km). Por lo tanto, es difícil que puedan captar las variabilidades de precipitación que se pueden presentar en zonas montañosas con regímenes de precipitación bimodal, como la que se presenta al norte de República Dominicana. En virtud de esta condición de los MCG, es necesario idear estrategias analíticas para captar dichas variabilidades

PROBLEMA: lo anterior conduce a la siguiente pregunta, **¿Qué MCG debo seleccionar para considerar los efectos del cambio climático de forma correcta?, es decir ¿Qué modelo o grupos de modelos replican mejor las condiciones climáticas de República Dominicana y de cada una de sus regiones?**

Para resolver esta pregunta, se siguió un procedimiento metodológico (Ver Figura 5) que permitió concluir lo siguiente:

- Los modelos climáticos que mejor representan las condiciones climáticas para las cuatro zonas principales del país (oeste, norte, centro, este)
- Los cambios porcentuales a futuro de precipitación y crecimiento de temperatura

FIGURA 5. Metodología de análisis de cambio climático (BID y Deltares/CSI, 2021)

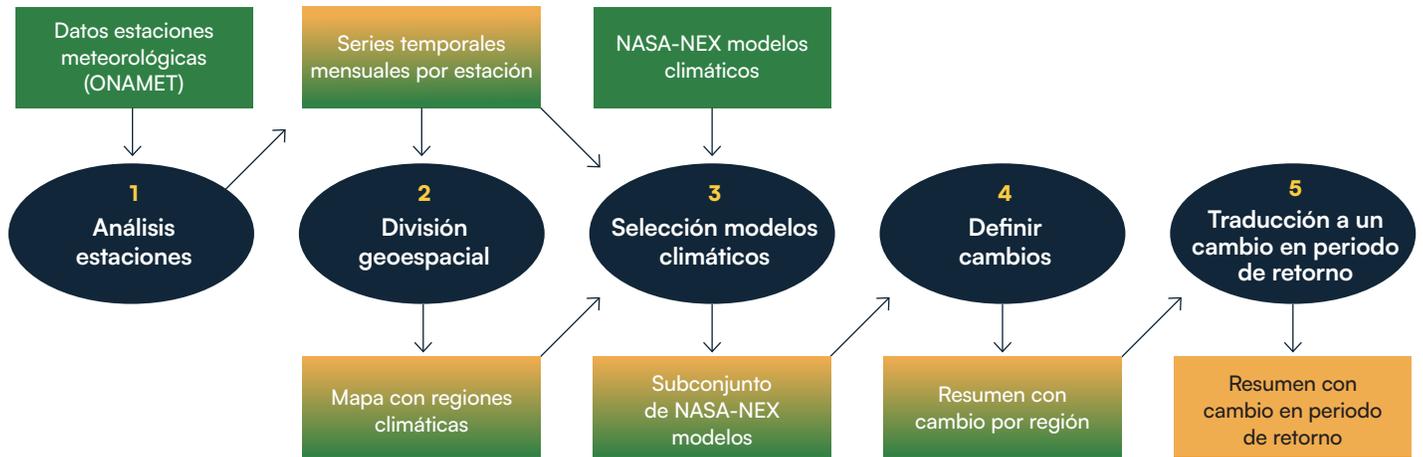
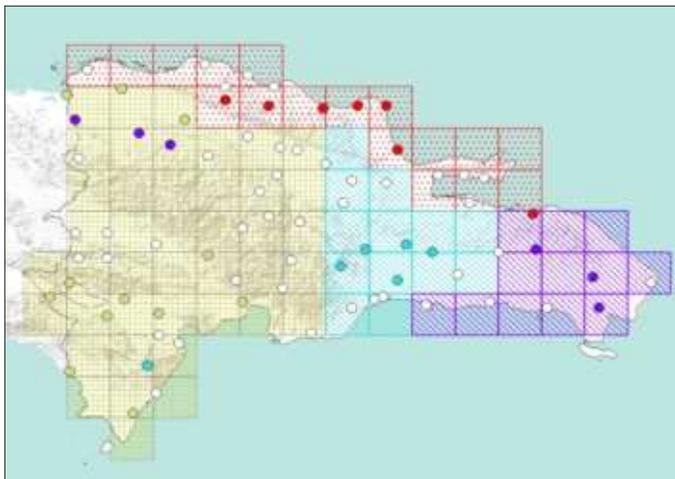
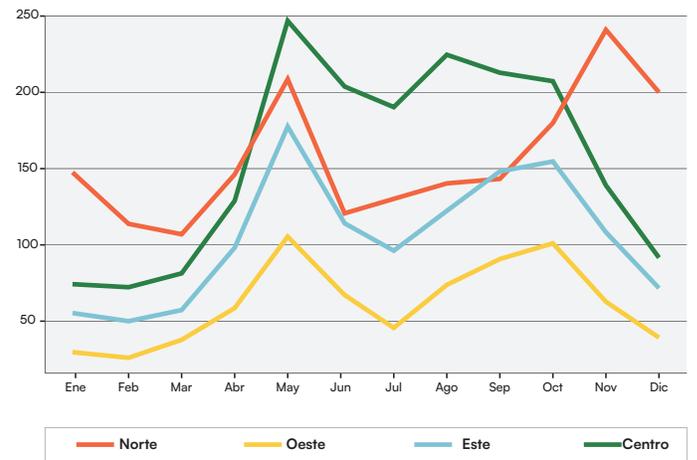


FIGURA 6. (BID y Deltares/CSI, 2021)

Red de estaciones climáticas-ONAMET.



Zonas climáticas del país agrupadas por características de precipitación mensual



SELECCIÓN DEL MCG MÁS APROPIADO A LAS CONDICIONES DE REPÚBLICA DOMINICANA

Los MCG más apropiados para República Dominicana según la zona climática del país, son:

- Zona norte: CNRM-CM5,
- Zona centro: CNRM-CM5, MPI-ESM-MR
- Zona este: MPI-ESM-MR, CNRM-CM5
- Zona oeste: MPI-ESM-MR, CNRM-CM5

Así, para trabajos futuros, los diseñadores e instituciones ya conocen los mejores MCG para todas las regiones del país.

Tendencias (cambio porcentual) de temperatura y precipitación a futuro en República Dominicana

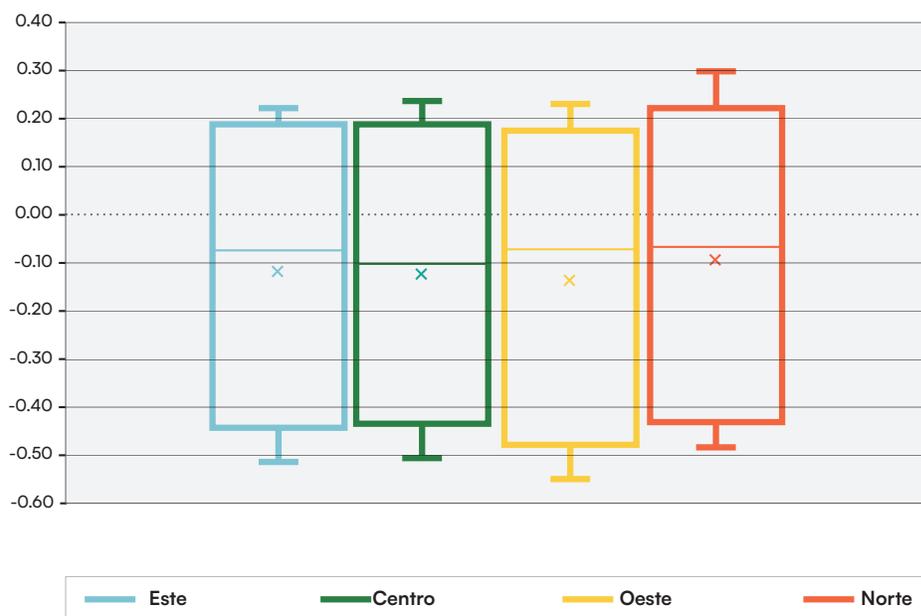
TEMPERATURA: Gracias a los MCG seleccionados para el país, se aporta como un resultado importante que la temperatura media aumentará 1°C a 2100 bajo un escenario MEDIO (RCP 4.5), y 1.4°C a 2100 bajo un escenario más desfavorable “business as usual” (RCP 8.5). Con estos aportes, para cada región, ahora el país dispone de información de proyecciones climáticas con menor incertidumbre para diferentes usos en

sectores agrícolas, energéticos, de política ambiental, de gestión del riesgo por sequías, entre otros.

PRECIPITACIÓN: Gracias a los MCG seleccionados para cada región del país, ahora se tiene como información valiosa para las instituciones, sociedad civil y sector privado, el cambio porcentual de la precipitación media y extrema a futuro debido al cambio climático. Además, se conoce que el período de mayo a julio se volverá más seco en el futuro, y el período de noviembre, los MCG evidencian que se podrá experimentar un aumento en el promedio de las precipitaciones.

Ahora se conoce que, en promedio, la precipitación media en República Dominicana va a tener un decrecimiento del 10% para todas las regiones, pero con límites inferiores de -50% y superiores de hasta +20% (Ver Figura 7). Estos datos, en conjunto con las variaciones proyectadas de precipitación extrema son de extrema valía para los ingenieros diseñadores de infraestructura y para la resiliencia al cambio climático del país.

FIGURA 7. Cambios proyectados de precipitación según MCG para las cuatro regiones del país (BID y Deltares/CSI, 2021)



APORTE 3A

Daños en la red vial nacional por amenazas de origen natural y con influencia del cambio climático

El proceso de cálculo de riesgo tiene en cuenta tres componentes principales:

- Amenazas hidrometeorológicas y geológicas
- Exposición: red vial nacional
- Vulnerabilidad de la red vial nacional

En la metodología utilizada, se hizo la distinción entre dos conceptos clave:

- **DAÑO:** Costo económico para el Gobierno de rehabilitar la infraestructura, expresado en términos anuales (DAE)

- **PÉRDIDA:** Costo económico para la sociedad civil de no realizar el viaje por el daño de la infraestructura, expresado en términos anuales (PAE) que se describirá en la sección 3b.
- El término “esperado” hace referencia al valor promedio de los daños y pérdidas

Las agencias planificadoras y tomadoras de decisión del sistema de transporte en República Dominicana ahora cuentan con valores de DAE y PAE expresados en pesos dominicanos para todos los tramos y nodos de la red vial nacional, considerando las amenazas de inundación por lluvias huracanadas, inundación por desbordamiento de ríos, terremotos y tsunamis.

FIGURA 8. Enfoque para cuantificar el riesgo de infraestructura - DAE (Deltares, 2021)

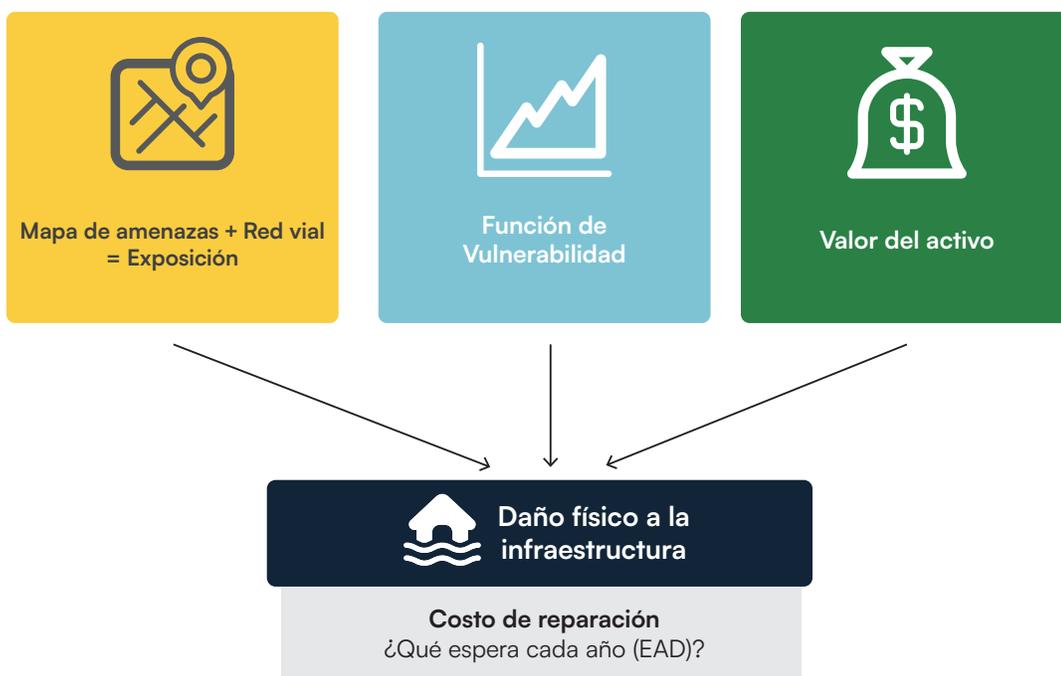


FIGURA 9. DAE por inundación de lluvia huracanada (BID y Deltares/CSI, 2021)

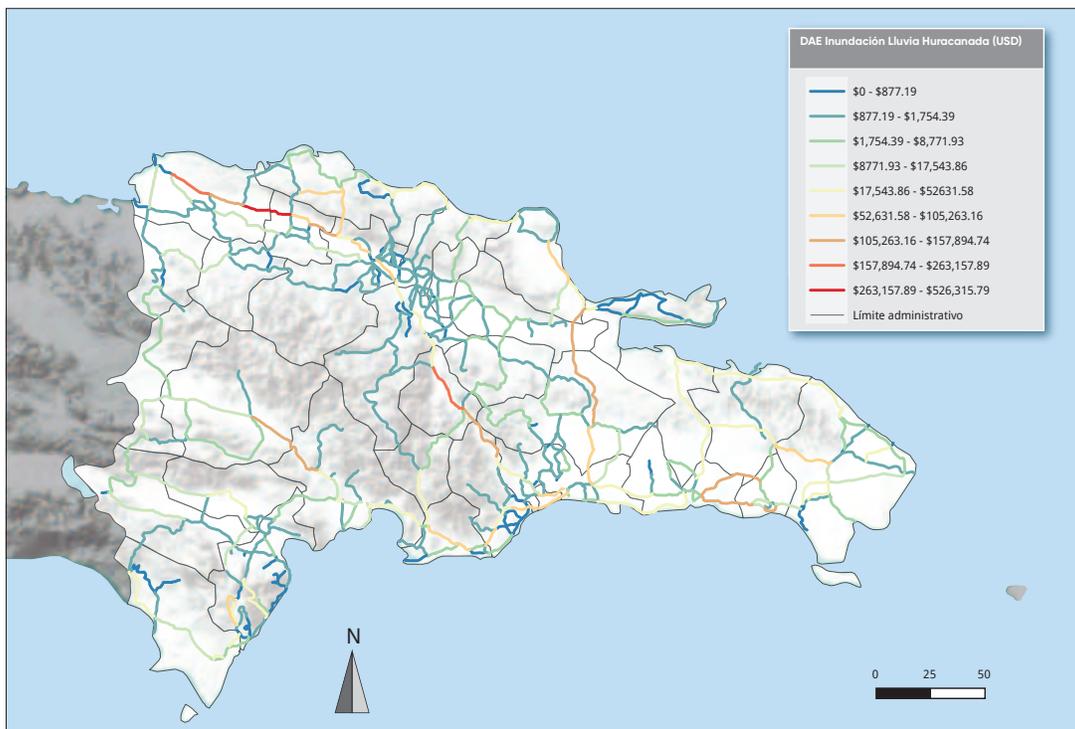


FIGURA 10. DAE por desbordamiento de ríos (BID y Deltares/CSI, 2021)

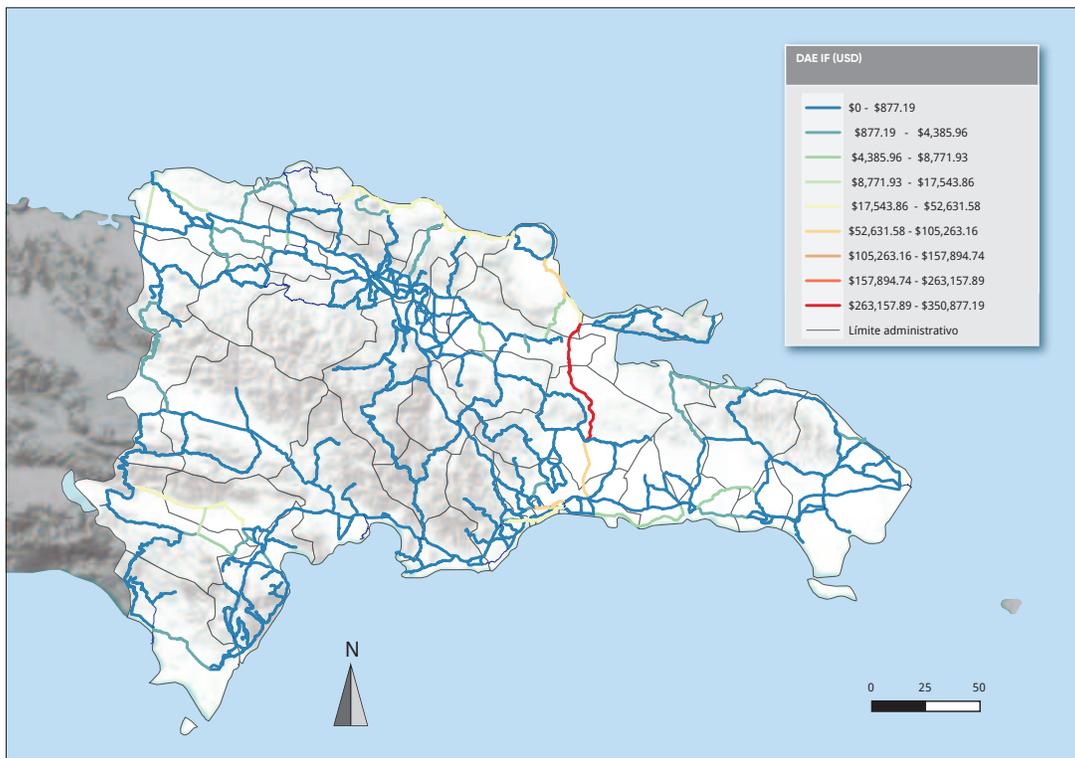


FIGURA 11. DAE por terremotos (BID y Deltares/CSI, 2021)

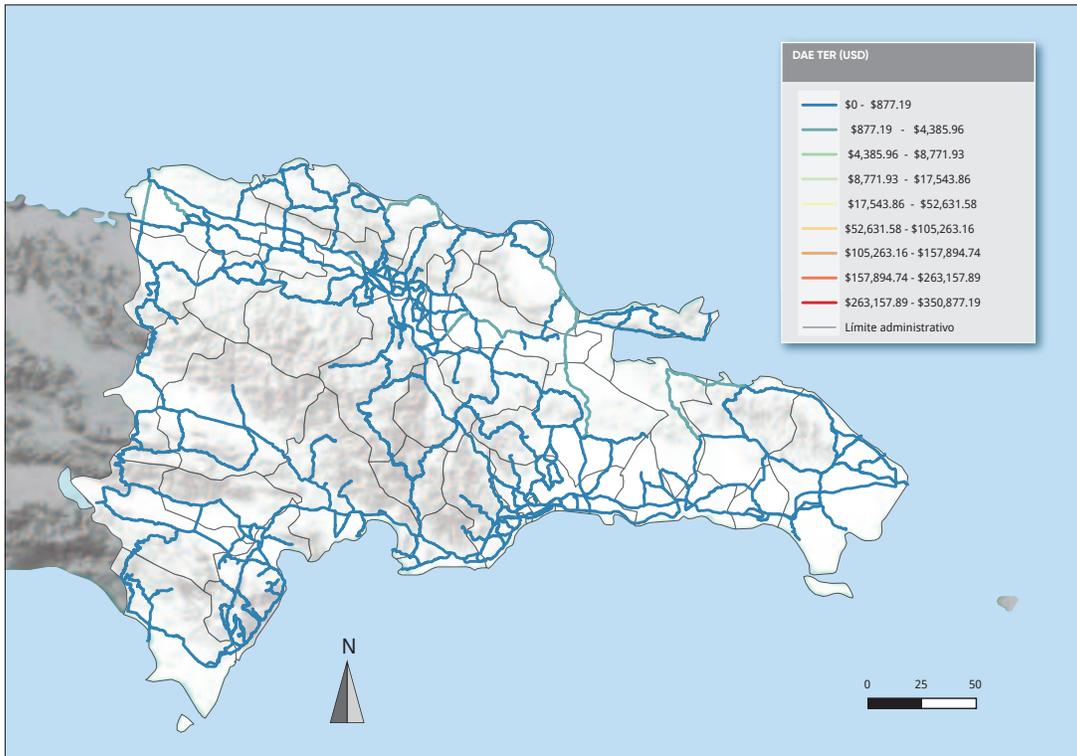


FIGURA 12. DAE por tsunami (BID y Deltares/CSI, 2021)

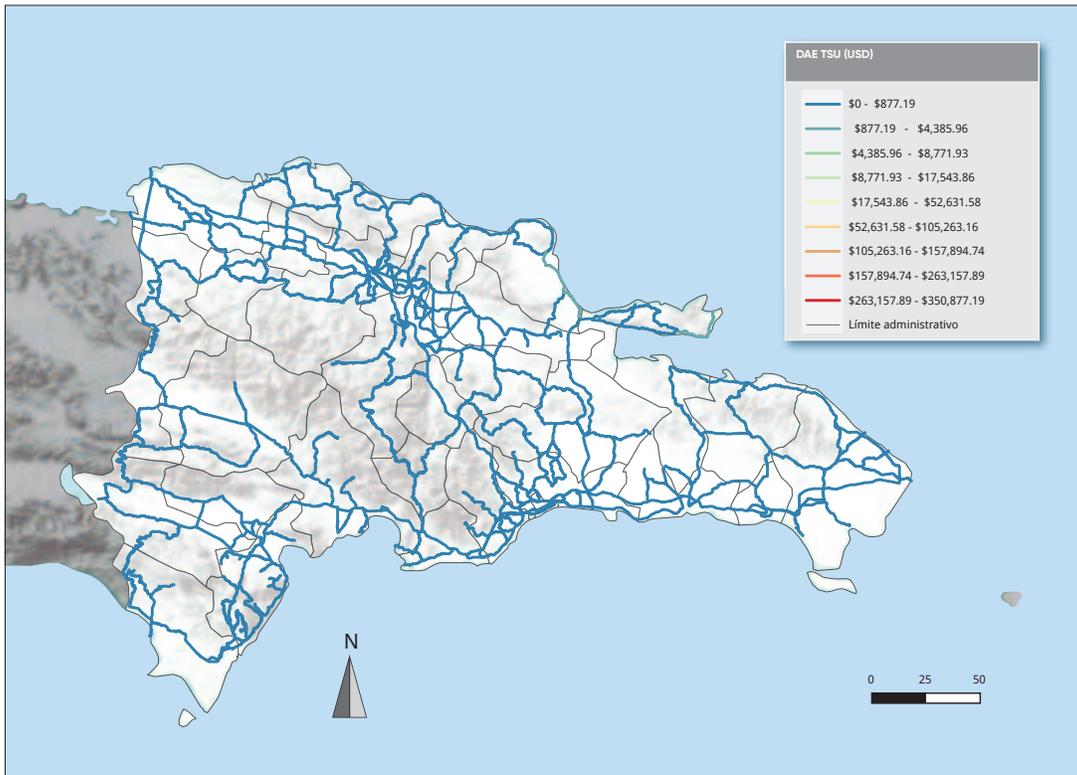


FIGURA 13. DAE totales por las cuatro amenazas analizadas (BID y Deltares/CSI, 2021)

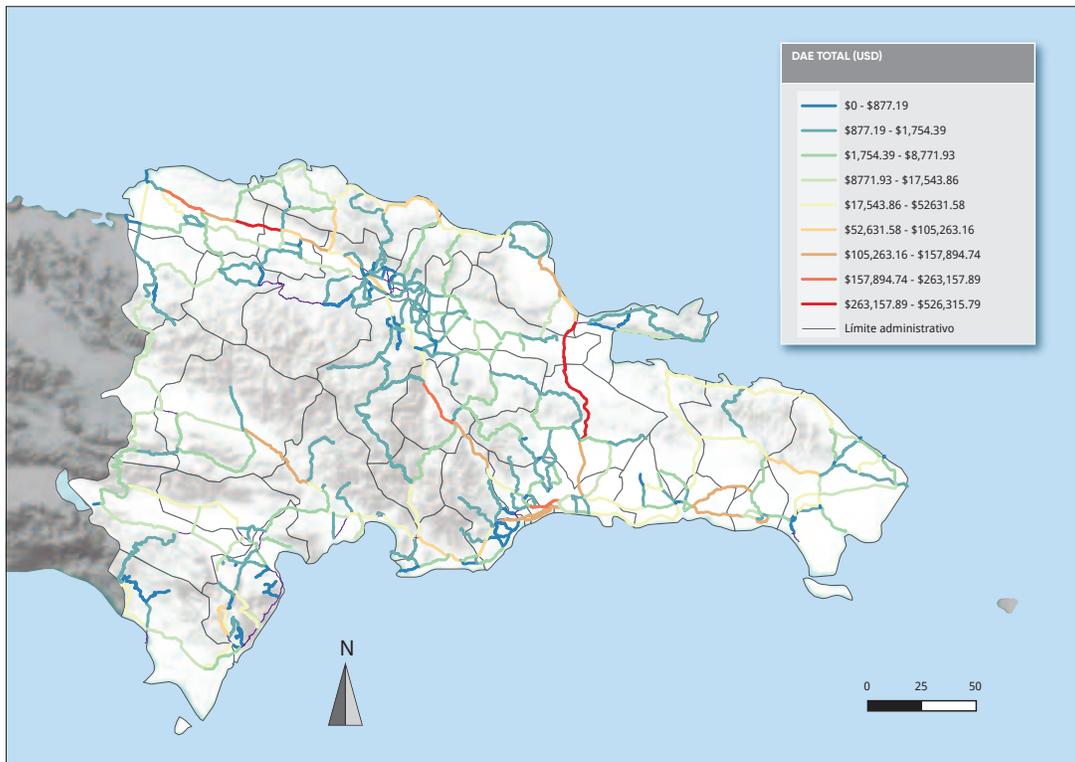


TABLA 1. DAE en 2050

	Millones de Pesos Dominicanos	
	Presente	2050
Inundaciones Fluviales (Bajo CC)	60.4	36.0 (-40%)
Inundaciones Fluviales (Alto CC)	60.4	147.1 (+144%)
Terremotos	1.9	1.9

Para determinar los impactos futuros para la red de activos viales y de puentes de República Dominicana, los resultados de los escenarios climáticos futuros se aplicaron a los cálculos previos de los daños y pérdidas anuales esperados de la evaluación de riesgos. Esto está destinado a proporcionar a los planificadores de carreteras una estimación de los órdenes de magnitud en los que el rendimiento futuro del sistema puede cambiar en varios escenarios futuros inciertos. Los DAE están influenciados únicamente por el cambio climático y las pérdidas anuales esperadas están influenciadas por cambios en el cambio climático y el tráfico. Los daños futuros esperados se calculan a partir de la estimación de un cambio en los períodos de retorno (Ver Documento de resultados de análisis de cambio climático - Capítulo 4). Esto se hace solo para inundaciones fluviales, porque la precipitación influye en el período de retorno de éstas, pero no para terremotos o tsunamis. La Tabla 1 da un panorama de los daños anuales esperados en 2050. Estos varían desde 36 millones de pesos dominicanos (disminución de 40%) a 147 millones de pesos dominicanos (aumento del 144%).

APORTE 3B

Pérdidas en la red vial nacional por amenazas de origen natural y con influencia del cambio climático

De forma análoga al cálculo de la DAE, el proceso para el cálculo de la Pérdida Anual Esperada [PAE], se basa en el siguiente enfoque:

- Amenazas hidrometeorológicas y geológicas
- Exposición: red vial nacional
- Vulnerabilidad de la red vial nacional
- Análisis de criticidad: densidad de tráfico y la interrupción del servicio por tramos

La PAE estima el costo extra en el que debe incurrir la sociedad civil por el no uso de la infraestructura, dado que se ha presentado un daño por efecto de

amenazas de origen natural. Para estos efectos, se hace uso del concepto de “análisis de criticidad”, en el cual se establecen los tramos y nodos críticos de la red vial nacional por los cuales los usuarios deben transitar dado que el tramo predilecto sufrió un daño.

Las agencias planificadoras y los tomadores de decisión del sistema de transporte vial en República Dominicana ahora cuentan con valores de PAE expresados en pesos dominicanos para todos los tramos y nodos de la red vial nacional, considerando las amenazas de inundación por lluvias huracanadas, inundación por desbordamiento de ríos, terremotos y tsunamis.

FIGURA 14. Enfoque para cuantificar el riesgo de infraestructura - PAE (Deltares, 2021)



FIGURA 15. PAE por inundación de lluvia huracanada (Deltares, 2021)

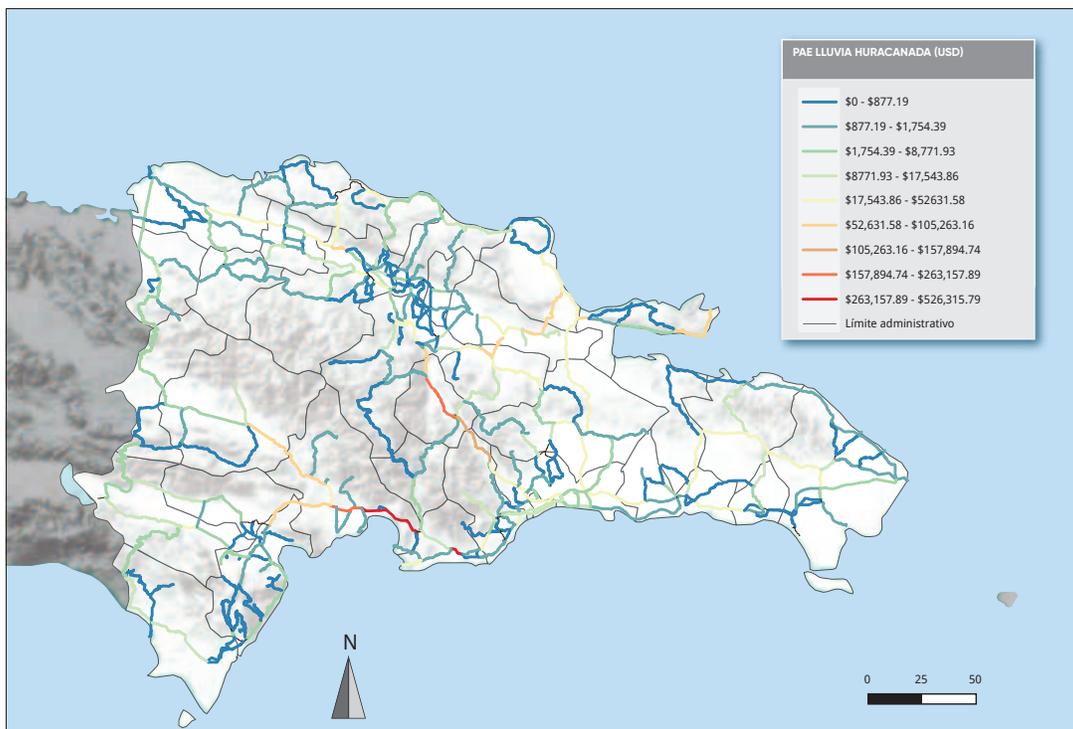


FIGURA 16. PAE por desbordamiento de ríos (BID y Deltares/CSI, 2021)

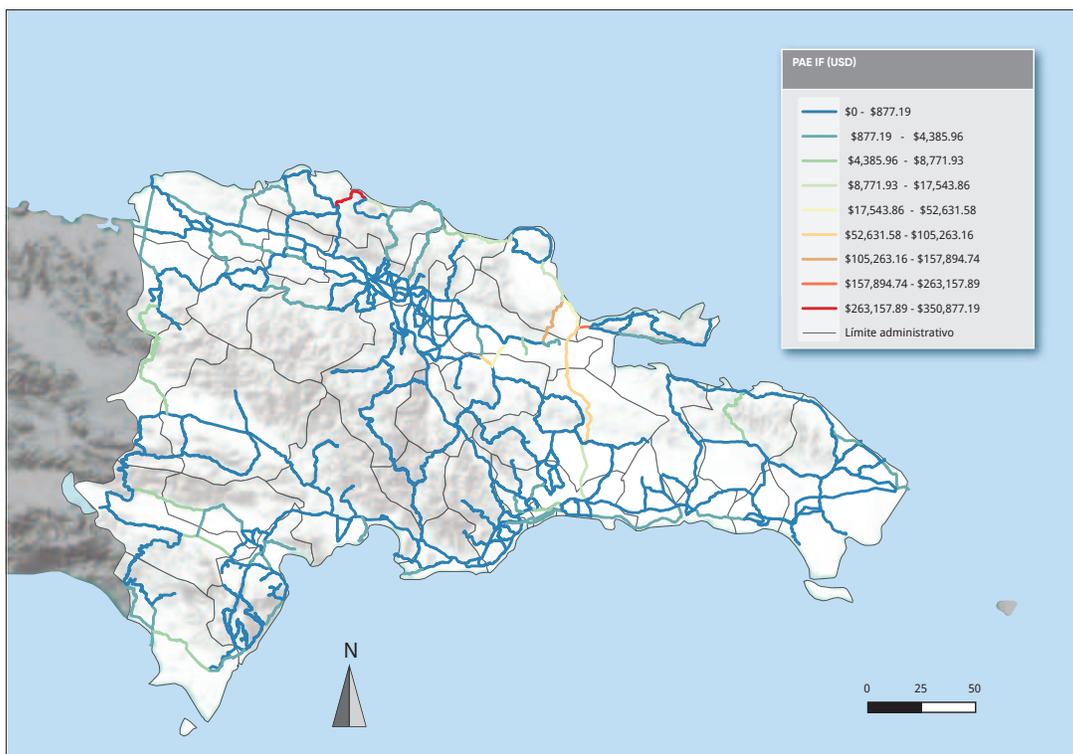


FIGURA 17. PAE por terremotos (BID y Deltares/CSI, 2021)

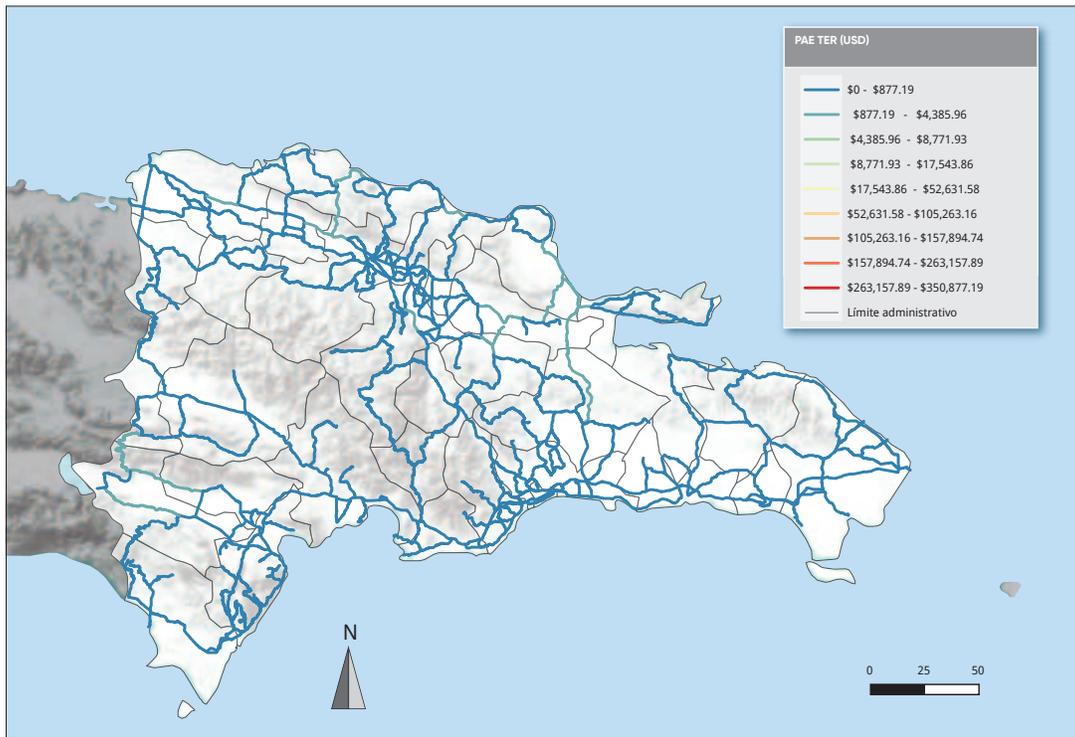


FIGURA 18. PAE por tsunami (BID y Deltares/CSI, 2021)

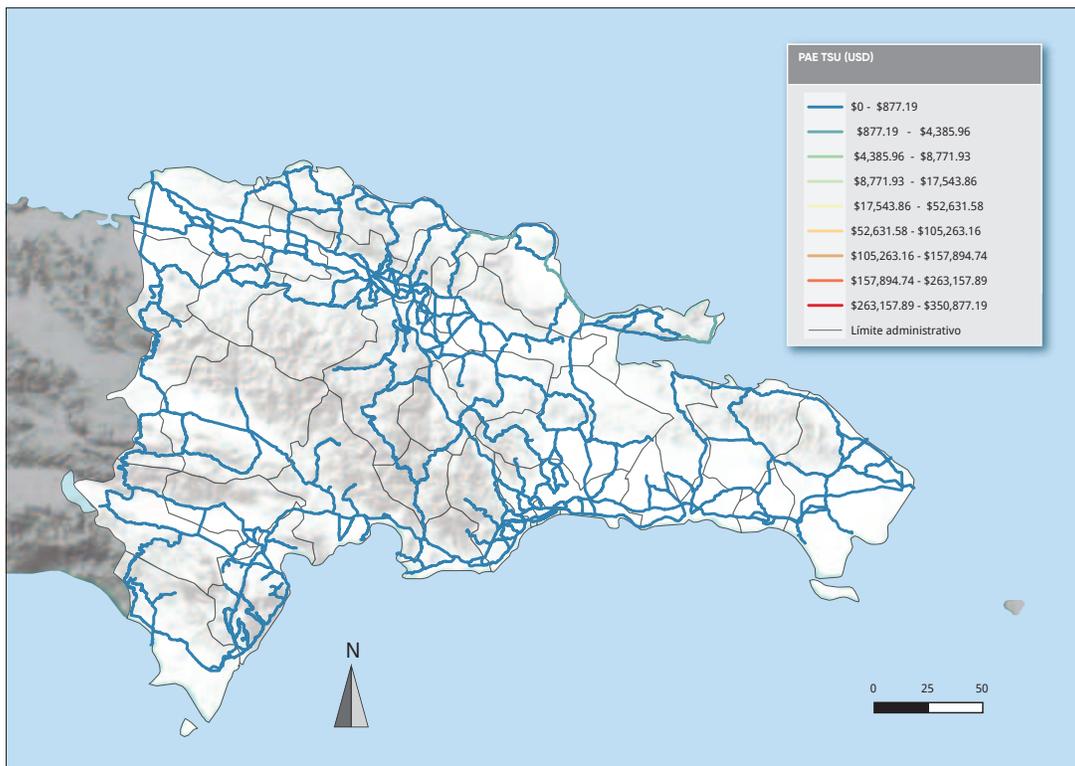


FIGURA 19. PAE totales por las 4 amenazas analizadas (BID y Deltares/CSI, 2021)

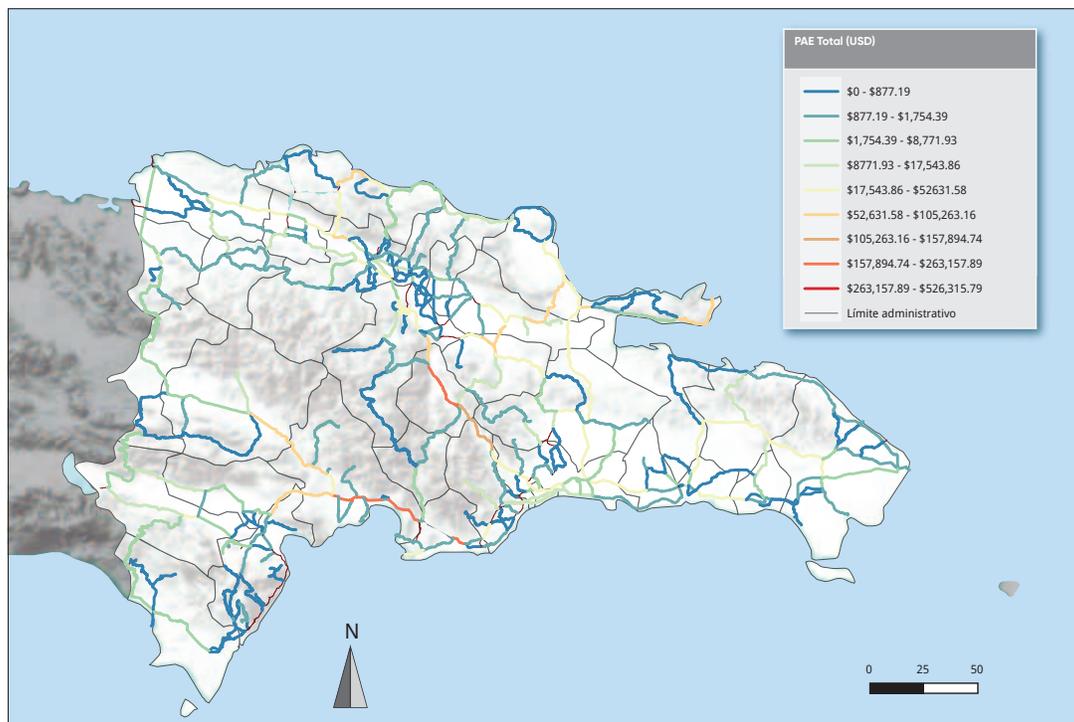


TABLA 2. PAE en 2050 basadas en el escenario futuro de tráfico alto y bajo para todas las amenazas e incluyendo los escenarios de cambio climático bajo y alto para inundaciones fluviales

	Millones de Pesos Dominicanos		
	Presente	2050	
		Bajo tráfico	Alto tráfico
Inundaciones Fluviales (Bajo CC)	115.1	95.2 (-17%)	520.5 (352%)
Inundaciones Fluviales (Alto CC)	115.1	389.1 (238%)	2127.6 (1748%)
Terremotos	5.6	7.8 (39%)	42.8 (659%)

PRINCIPALES OBSERVACIONES

Para determinar los impactos sobre la red vial de República Dominicana, los resultados de los escenarios climáticos y socioeconómicos futuros se aplican a los cálculos previos de los daños y pérdidas anuales esperados de la evaluación de riesgos. Esto proporciona a los planificadores de infraestructura vial una estimación de los órdenes de magnitud en los que el desempeño futuro del conjunto de medidas de intervención de carreteras puede cambiar en un futuro incierto. En términos de Daños Anuales Esperados, se plantean los siguientes escenarios:

- Alto cambio climático: los daños se incrementan en un 144% con respecto al estado actual
- Bajo cambio climático: los daños se reducen en un 40% con respecto al estado actual

En términos de Pérdidas Anuales Esperadas, se plantean los siguientes escenarios:

- Alto cambio climático y alto tráfico: las pérdidas se incrementan 18 veces con respecto al estado actual

- Alto cambio climático y bajo tráfico: las pérdidas se incrementan más de 3 veces con respecto al estado actual
- Bajo cambio climático y alto tráfico: las pérdidas se incrementan más de 4 veces con respecto al estado actual
- Bajo cambio climático y bajo tráfico: las pérdidas se reducen un 17% con respecto al estado actual

Lo anterior implica que:

- » Se estima un mayor impacto en las pérdidas como consecuencia del incremento del tráfico en 2050, que como consecuencia del cambio climático. Así como mayores pérdidas debidas a la interrupción de los servicios en comparación con los daños previstos.
- » El rango de daños en la red vial nacional para escenarios de alto y bajo cambio climático

permite corroborar la amplia incertidumbre que existe en los efectos a futuro del cambio de magnitud y frecuencia de los eventos de amenaza de origen natural.

- » En un contexto de gran incertidumbre sobre el futuro en términos de desarrollo social y económico, así como de los efectos del cambio climático, es necesario enfocar las medidas de intervención en todos los componentes involucrados en el problema (i. gestión de amenazas hidrometeorológicas; ii. Reducción de vulnerabilidad de la red vial). Para hacer una correcta gestión operativa del sistema, es necesario implementar medidas que contemplen el desarrollo de la infraestructura y el tráfico, pero también establecer medidas que consideren los cambios climáticos a futuro.

APORTE 4

Identificación de los tramos más críticos del sistema vial nacional - Análisis de criticidad del sistema

El análisis de criticidad es fundamental para el cálculo de las PAE, y permitió identificar cuáles son los tramos de ruta que son indispensables para transportar personas y/o carga dentro de la red vial nacional, en términos del exceso de distancia que se debe recorrer si dichos tramos de vía entran en suspensión del servicio. Es decir, a partir de la interrupción del tráfico vehicular entre dos puntos de la red, se calculó el exceso de distancia que debería recorrerse por vías alternas para conectar dichos puntos. El análisis de criticidad se dividió en dos escalas:

- **NACIONAL:** tuvo como objeto de estudio la red troncal, regional y local de carreteras
- **BARAHONA Y PEDERNALES:** tuvo como objeto de estudio las carreteras (troncal, regional y local) más los caminos vecinales que se conectan a la red

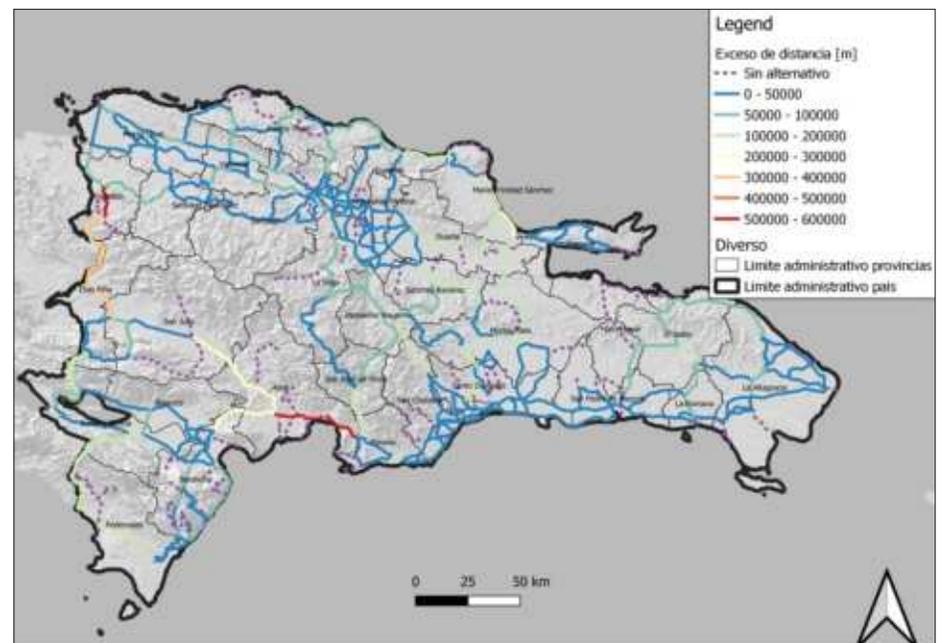
Los tramos más críticos del sistema vial nacional obtenidos tras la caracterización se presentan a continuación.

CAJA 3.

Concepto de criticidad del sistema

Se define como una medida de la importancia de un enlace (o tramo) de transporte y del impacto perturbador (si falla) sobre el resto de la infraestructura de transporte (Raghav-Pant, J. et al, 2015). La evaluación de criticidad clasifica los elementos de la red en función de su impacto relativo en la capacidad de servicio de las redes de transporte (Bramka, A. J., 2017). Los segmentos críticos son aquellos que tienen una alta consecuencia de fracaso, independientemente de la probabilidad de fracaso (Murray et al, 2008. Kaplan & Garrik, 1981).

FIGURA 20. Medida de criticidad del sistema: Distancia de viaje adicional por tramo de carretera en [m]



APORTE 5

Tramos vulnerables sobre los cuales se deben enfocar las medidas de intervención

Uno de los principales objetivos de la metodología seguida en el estudio es la identificación de los tramos y componentes de la red vial que presentan algún grado de riesgo de sufrir daños y/o pérdidas como consecuencia de la ocurrencia de eventos de amenaza de origen natural y con influencia de cambio climático. En ese sentido, los tramos de carretera finalmente identificados como “Blue Spots”, son aquellos que presentan niveles de prioridad alta y muy alta a partir de los análisis de riesgo y criticidad mencionados anteriormente.

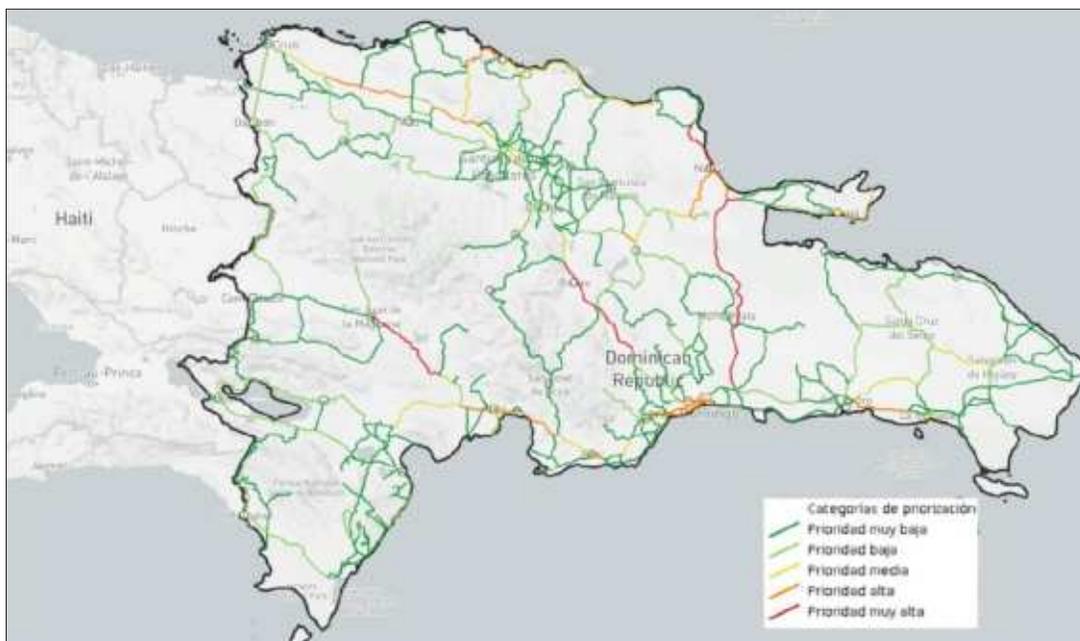
A partir de los aportes 3a y 3b, en los cuales se estimó el DAE para el Gobierno y las PAE teniendo en cuenta la afectación sobre los usuarios, se presenta como una información novedosa para el país la priorización de los tramos de la red vial nacional sobre los

cuales se debe enfocar la inversión para fortalecer su resiliencia a los riesgos de desastres naturales e impactos del cambio climático. La Figura 21 muestra la priorización basada en los daños y pérdidas para todas las amenazas combinadas (total_DAE y total_PAE). Los tramos de carretera de prioridad clasificada como “muy alta”, se indican en color rojo. Mientras que los tramos de carretera de prioridad clasificada como “alta”, se indican en color naranja.

¿CÓMO UTILIZAR ESTE RESULTADO?

Los resultados de esta etapa pueden utilizarse, por ejemplo, para decidir la priorización de las inversiones para mejorar la red vial atendiendo a su nivel de vulnerabilidad y criticidad, o para guiar la decisión sobre qué medidas implementar.

FIGURA 21. Mapa de priorización de tramos de la red vial nacional, basado en DAE y PAE totales



APORTE 6

Medidas de intervención más efectivas para el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático de la red vial nacional

A partir de la priorización de los tramos de carretera, el siguiente paso lógico para la toma de decisiones es la selección de la medida o el conjunto de medidas de intervención que permitan reducir la vulnerabilidad del sistema y aumentar su resiliencia al cambio climático y a los efectos de desastres naturales como los sismos, huracanes, inundaciones, tsunamis, entre otros, a un bajo costo. Para ello, se determinó un conjunto de medidas de intervención más efectivas para la implementación en los tramos de carretera priorizados.

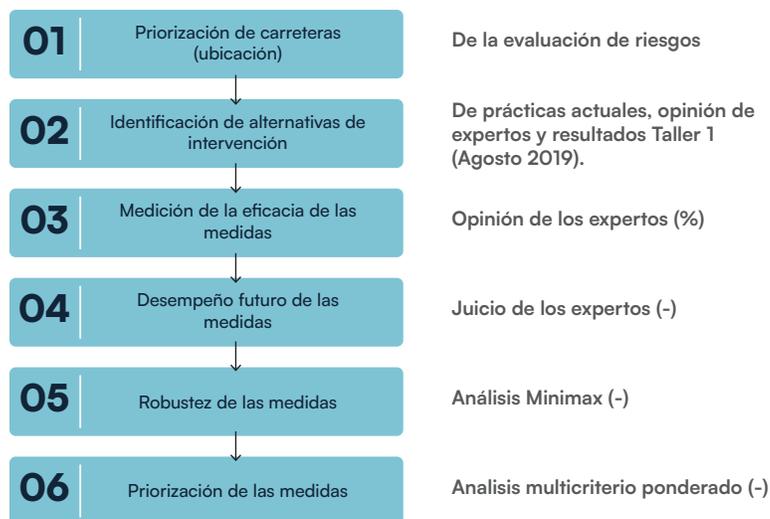
En total, se evaluaron **8 medidas para la gestión de impactos de inundaciones** en carreteras sin drenaje, puentes y obras de drenaje, **12 medidas para la gestión de impactos de tsunamis** en carreteras, puentes y obras de drenaje, **11 medidas para la gestión de impactos de flujo de lodos**, **9 medidas para la gestión de impactos de caída de rocas**, y **6 medidas para la gestión del impacto de terremotos en carreteras, puentes y obras de drenaje**.

La metodología seguida para determinar y evaluar el conjunto de medidas más costo-efectivas para la gestión de los impactos de inundaciones, tsunamis, terremotos y deslizamientos se presenta esquemáticamente en la Figura 22. Dada la magnitud de la red vial de República Dominicana, el análisis toma como punto de partida la priorización de los tramos de carretera, obtenidas en el Aporte 5. Luego, mediante el juicio de expertos, se evalúa el desempeño actual de las medidas de intervención planteadas específicamente para cada tipo de amenaza en términos de eficacia y el desempeño futuro. El análisis incluye el impacto de las incertidumbres futuras tanto climáticas como de tráfico mediante la exploración de los cambios en las DAE y PAE. La robustez de las medidas individuales se evalúa bajo varios escenarios futuros que buscan identificar su capacidad bajo situaciones extremas. Por último, las medidas se priorizan y evalúan de manera semicuantitativa aplicando un análisis multicriterio ponderado.

Siguiendo este enfoque, el aporte principal que se presenta es la calificación, selección y priorización del conjunto de medidas más apropiadas para cada elemento del sistema (tramos de carreteras, puentes, obras de drenaje, entre otros) y para cada amenaza evaluada (inundaciones, terremotos, tsunamis, caída de rocas, y flujo de lodos), de un total de 46 medidas de intervención propuestas. Para cada localización altamente en riesgo, los planificadores ahora pueden seleccionar el tipo de medida de intervención apropiada para proporcionar una evaluación inicial de las medidas potenciales y su priorización.

La consulta, interacción y visualización de las medidas de intervención más costo-efectivas según el tipo de amenaza e infraestructura ahora se pueden realizar por parte de los tomadores de decisión usando la herramienta de visualización de resultados de este proyecto, que se describe a continuación, en el aporte No. 7.

FIGURA 22. Enfoque para la toma de decisiones bajo incertidumbres futuras (BID y Deltares/CSI, 2021)



APORTE 7

Herramienta para la visualización, interacción, priorización de tramos viales, medidas de intervención técnica y cuantificación del nivel de inversión requerido

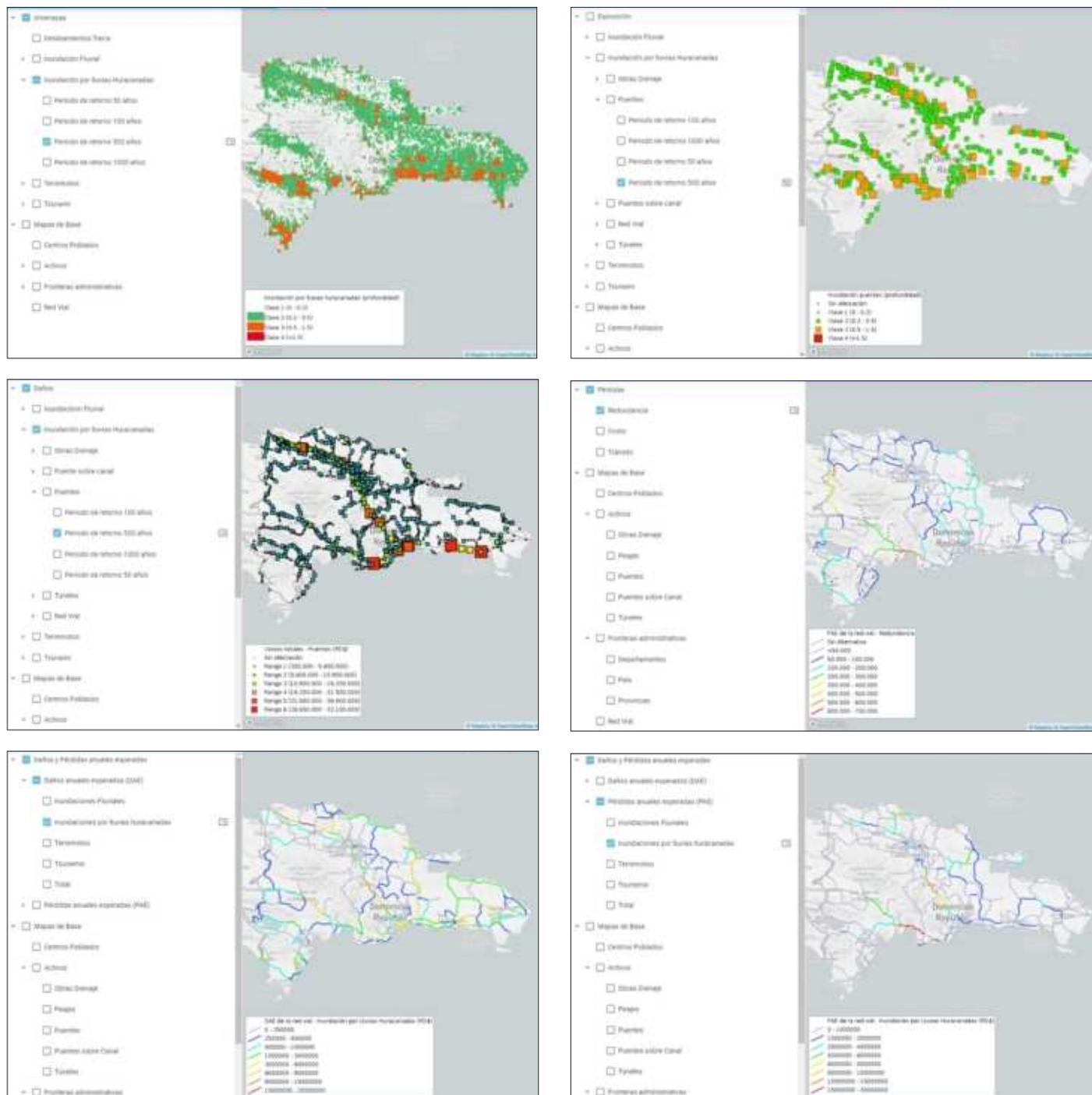
Por primera vez en la historia del país, ahora es posible contar con información Georreferenciada de la red vial nacional, las amenazas hidrometeorológicas e hidrológicas, los daños y pérdidas en el sistema vial y

las estimaciones de inversión requeridas para generar resiliencia. La estructura general de la herramienta de priorización de inversiones se basa en los principales pasos de la evaluación de riesgos.

AMENAZA	<ul style="list-style-type: none">• Con los mapas de amenaza (hidrometeorológicas y geofísicas)• El inventario de activos del sistema:<ul style="list-style-type: none">» Puentes, obras drenaje, túneles, tipo de carretera de la red vial
EXPOSICIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Con los mapas de exposición para cada tramo de la red vial<ul style="list-style-type: none">» puentes, obras drenaje, túneles, red vial• Y para cada amenaza con periodo de retorno• Deslizamiento de la tierra, inundación fluvial, inundación por lluvias huracanadas, terremotos, tsunami
DAÑOS	<ul style="list-style-type: none">• Con los mapas de daños para cada activo<ul style="list-style-type: none">» puentes, obras drenaje, túneles, red vial• Y para cada amenaza con diferentes periodos de retorno<ul style="list-style-type: none">» Inundación fluvial, inundación por lluvias huracanadas, terremotos, tsunami
PÉRDIDAS	<ul style="list-style-type: none">• Mapas de Redundancia (distancia adicional [km])• Pérdidas por tramo por día (\$RD/día/tramo)• Mapas de tránsito (vehículos/día)
PÉRDIDAS Y DAÑOS ANUALES ESPERADAS (PAE Y DAE)	<ul style="list-style-type: none">• Las pérdidas y daños anuales esperados por tipo de amenaza<ul style="list-style-type: none">» Inundación fluvial, inundación por lluvias huracanadas, terremotos, tsunami» Total (la suma de todas las amenazas)
PRIORIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• basándose en la matriz de priorización, los tramos de carretera con mayor prioridad• calculado para las amenazas relacionados con las inundaciones, las amenazas relacionadas con los sismos y la suma de los dos grupos (inundaciones y sismos) de amenazas

La siguiente figura presenta visualizaciones de amenazas, DAE, PAE, daños y priorización final de tramos de carretera generados por el estudio y que se pueden consultar en la herramienta de visualización.

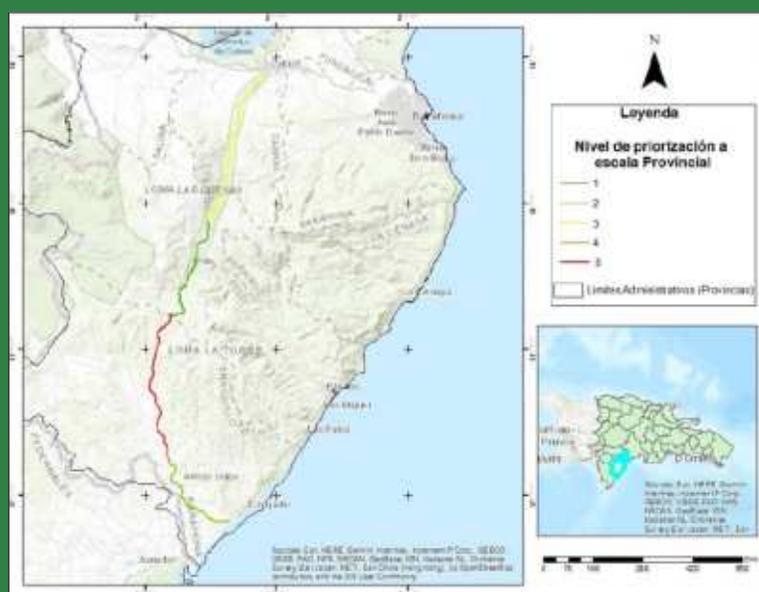
FIGURA 23. Ejemplos de resultados de la herramienta de visualización de resultados de Blue Spot (BID y Deltares/CCI, 2021)



Casos de aplicación de aportes del *Blue Spot Analysis* en República Dominicana

Programa de rehabilitación y mantenimiento de infraestructura vial en la República Dominicana-DR-L1151

FIGURA 23. Enriquillo-Polo, provincia de Barahona



El “Programa de Rehabilitación y Mantenimiento de Infraestructura Vial en la República Dominicana” tiene como objetivo contribuir a mejorar la conectividad regional del país, a través de la provisión de servicios de transporte seguros, confiables y accesibles, garantizando su disponibilidad para el acceso a servicios básicos y mercados. El programa se propone: (i) reducir los costos de operación vehicular en las vías intervenidas; (ii) reducir los costos de tiempo de viaje de los usuarios en las vías intervenidas; e (iii) incrementar la resiliencia de la infraestructura a los efectos del cambio climático.

Para lograr esto, en el primer componente del programa se priorizaron los tramos de la red vial para los cuales se proponen mejoras como la sustitución de superficie asfáltica, la reparación de drenaje longitudinal, la inclusión de elementos de seguridad vial, entre otros.

El método de priorización de las vías consistió en la consulta de los resultados del estudio de Blue Spot Analysis. En la provincia de Barahona se contabilizó el 61,31% de los tramos intervenidos que tienen un nivel de prioridad media, medio-alta y alta. En la Figura 23 se puede observar su ubicación.

En los resultados de la aplicación de la metodología Blue Spot para los caminos de la provincia de Barahona, las amenazas que podrían afectarlos en distintos periodos de retorno son las inundaciones por lluvias huracanadas. Se estima que la ocurrencia de estos eventos puede provocar daños de más 1,9 millones de pesos anuales y pérdidas mayores a 300 mil pesos anuales. Basado en los DAE y PAE, se determinó el desempeño de los tramos, así como la identificación de los que deben ser priorizados al momento de enfocar las inversiones en medidas que pueden lograr un efecto significativo en la reducción del riesgo. Esta priorización fue dividida en cinco categorías, desde el uno hasta el cinco, siendo este último los más prioritarios. Para los tramos a intervenir en Barahona, los niveles de priorización se muestran siguiente tabla. Los niveles de priorización considerados en el cálculo de financiamiento climático son los Niveles 3, 4 y 5, que es más del 60% del total de longitud de tramos pertenecientes al camino.

El segundo componente en el cual el estudio de Blue Spot Analysis proporcionó un aporte al programa consiste en la propuesta concreta de medidas de intervención para la reducción del riesgo de desastres y para el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en los caminos y vías priorizadas. Estas medidas se proponen en función de los resultados del análisis multiamenaza y del tipo de activo vial.

Para el caso de los caminos vecinales de las provincias Barahona y Pedernales, las medidas se presentan en la Tabla 4. De este conjunto de medidas el diseñador debe seleccionar las que más se adapten a las condiciones y características específicas del proyecto, el activo vial y su afectación por la amenaza. Con el objetivo de orientar la toma de decisión sobre el tipo de medida a implementar, el Blue Spot Analysis previamente realiza un Análisis Multicriterio Ponderado (AMP), en el cual se consideran seis criterios de evaluación del tipo de medida y se califican en una escala del 1 al 10, en la que el 1 refleja un rendimiento sólido y el 10 refleja un rendimiento deficiente. La puntuación final del AMP se determina a partir de la suma de los productos de los pesos y las puntuaciones. La herramienta permite que los criterios se mantengan flexibles de manera que en la ejecución de esta operación se puedan añadir/eliminar criterios y cambiar pesos en los casos que se considere necesario. Los pesos de cada criterio pueden variar de 0 a 100% de acuerdo con su importancia.

TABLA 3. DAE y PAE para tramos viales de Barahona y nivel de priorización

Nivel de Priorización	Longitud total de tramos pertenecientes al camino (Km)	Porcentaje correspondiente con el tramo total	PAE (RD\$)	DAE (RD\$)
1*	10,62	20,84	0,00	0,00 - 1.947
2	9,10	17,85	0,01 - 23.593	1.947- 34.346
3	15,98	31,36	23.593- 37.019	34.346-113.267
4	1,12	2,19	37.019- 71.034	113.267-259.256
5**	14,15	27,76	71.034-140.737	259.256- 1.526.070
Longitud total de los caminos vecinales	50,96	100,00		

Específicamente para el caso de los caminos vecinales de las provincias Barahona y Pedernales, el Blue Spot Analysis define que la mejor medida de intervención a implementar es la de creación de una cuenca de retención o desviación del flujo con el objetivo de gestionar el pico de inundación de forma controlada. Se llega a este resultado principalmente

por la calificación de efectividad de la medida. En segundo lugar, se recomienda el aumento de la redundancia de la infraestructura mediante la construcción y/o uso de vías secundarias y terciarias debido a la efectividad, robustez y los bajos impactos negativos que genera en otros sectores socioeconómicos.

TABLA 4. Medidas propuestas para la mitigación de los riesgos en los caminos vecinales de las provincias de Pedernales y Barahona.

Criterios	Costo	E	R	Imp.	FI	M	TOTAL	Ranking
Ponderación	35%	28%	5%	13%	5%	15%		
Cuenca de retención o desviación del flujo (retener el pico en una forma controlada para prevenir daños en el activo)	1	10	8	4	1	4	4,6	1
Carreteras elevadas (con alcantarillas / puentes / carreteras) (incluida la protección contra la erosión)	3	8	8	4	4	7	5,4	4
Camino sumergible (incluida la protección contra la erosión)	6	6	9	6	7	8	6,5	6
Instalar vertederos aguas arriba para disminuir la velocidad del flujo	4	4	7	6	6	8	5,1	3
Protección contra la erosión (vegetación, sintéticos, gaviones, hormigón, etc.)	5	6	7	7	8	8	6,2	5
Gestión del tráfico (redireccionamiento). No se evita la distancia de viaje adicional, pero si el tráfico	10	2	5	7	9	10	7,1	8
Aumentar la capacidad de respuesta y recuperación (incluyendo personal, materiales, equipo)	8	3,5	5	10	8	8	6,9	7
Aumentar la redundancia (carreteras secundarias y/o terciarias)	1	8	8	9	2	5	4,9	2

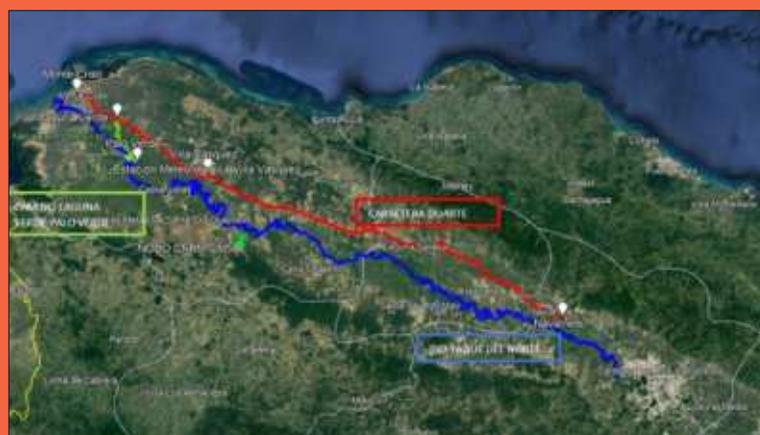
*Efectividad / eficacia (E/E). * Robustez (R). *Impactos Positivos / negativos en el sistema u otros sectores (Imp.). *Facilidad de implementación (FI).

*Mantenimiento (M)

Casos de aplicación de aportes del *Blue Spot Analysis* en República Dominicana

Programa de rehabilitación y ampliación del Puerto de Manzanillo en la República Dominicana DR-L1141- Rehabilitación carretera Duarte (tramo Navarrete-Montecristi)

FIGURA 24. Mapa de priorización de la red vial nacional, basado en DAE y PAE totales. Tramo Navarrete-Montecristi



Como parte del componente de conectividad del Proyecto de Rehabilitación y Ampliación del Puerto de Manzanillo, se priorizó la rehabilitación de la carretera Duarte, en los Tramos Navarrete-Montecristi y Palo Verde - Laguna Verde, los cuales inciden en la actividad logística del puerto y en la actividad de comercio exterior del país como parte del principal eje logístico nacional. La carretera pertenece a la red vial principal del país y conecta los municipios de las provincias Montecristi y Valverde con la región del Cibao y ésta hacia el sur, se extiende hacia Santiago de los Caballeros en la autopista Duarte conectando con la región Centro y Sur de la isla (Ver Figura 24).

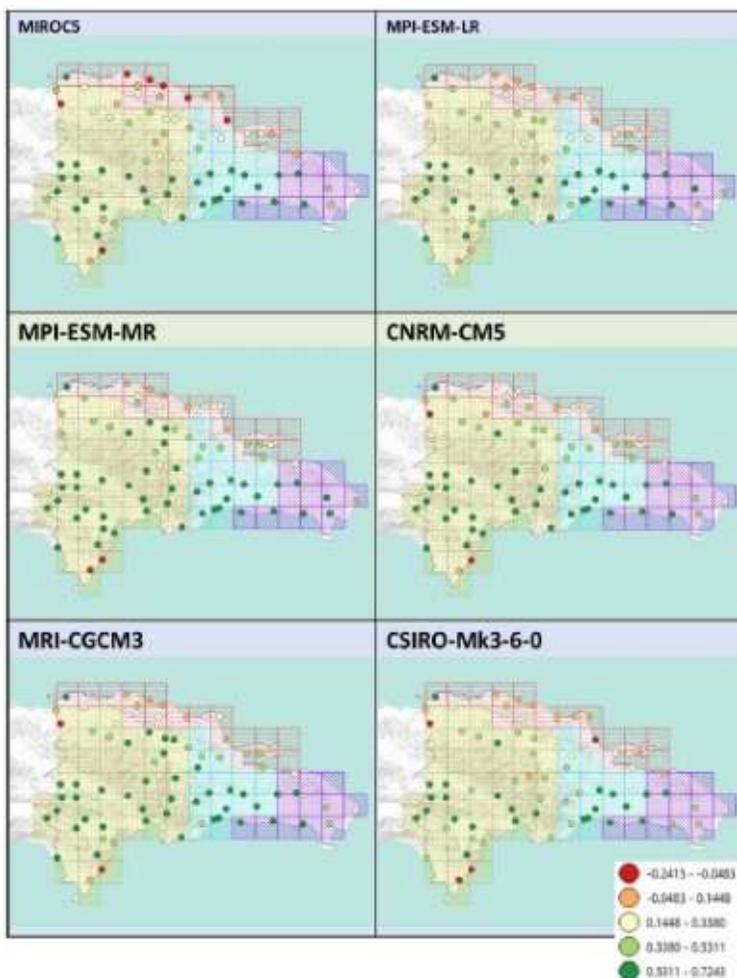
SELECCIÓN DEL TRAMO PARA REHABILITACIÓN

La selección del tramo vial de Navarrete-Montecristi se realizó a partir de la priorización obtenida en el estudio de Blue Spot Analysis (Ver Figura 24), en la cual se catalogó la carretera Duarte como de prioridad alta a partir de las DAE y PAE estimadas para las amenazas de terremoto, inundaciones, y deslizamientos.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE INGENIERÍA PARA OBRAS DE DRENAJE

Con el objetivo de garantizar el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático mediante la inclusión de medidas de adaptación en el proceso de rehabilitación de la carretera Duarte, la ingeniería básica para obras de drenaje del tramo Navarrete-Montecristi consideró datos de precipitación histórica registrada en estaciones del ONAMET, así como la selección de los MCGs más apropiados para la modelación de precipitación extrema futura (Ver Figura 25) en el área de influencia del proyecto. Como consecuencia

FIGURA 25. Modelos de cambio climático y su correlación con patrones de precipitación históricos en el país



de la comparación de eventos, es posible seleccionar la situación más crítica entre el futuro y la historia y, posteriormente, realizar los diseños de obras de drenaje a partir de dicha situación.

El Blue Spot Analysis sirvió como un elemento de referencia fundamental para la selección del modelo climático que mejor se adapta a las condiciones de precipitación históricas de la zona norte de República Dominicana (Ver Aporte 2), donde se localiza la carretera Duarte.

Casos de aplicación de aportes del Blue Spot Analysis en República Dominicana: Programa de rehabilitación y ampliación del Puerto de Manzanillo en la República Dominicana - DR-L1141 - Rehabilitación carretera Duarte (tramo Navarrete-Montecristi)

De forma análoga al ejemplo anterior, para el Programa de rehabilitación y ampliación del Puerto de Manzanillo, el Blue Spot Analysis proporcionó información valiosa en términos de los tipos de medidas de intervención para el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático de la infraestructura y la GRD de la operación. En la Tabla 5 se presentan los tipos de medidas de intervención evaluación a partir del Análisis Multicriterio Ponderado.

De la tabla se concluye que la medida de intervención recomendada es el dragado de canales fluviales, que tiene el objetivo principal de devolver los cauces a un estado previo en términos de sección transversal, lo cual impacta directamente en el caudal de agua que pueden transportar y se incrementa su capacidad de transitar eventos de creciente de inundación más extremos. De forma similar al caso de los caminos vecinales de las provincias Barahona y Pedernales, el Blue Spot Analysis define que una de las mejores medidas de intervención a implementar es la de creación de una cuenca de retención o desviación del flujo con el objetivo de gestionar el pico de inundación de forma controlada.

De esta manera, el Blue Spot Analysis aporta no sólo información útil para la priorización de infraestructura a intervenir, sino que también proporciona elementos de juicio para la toma de decisión del tipo de medidas de intervención a adoptar en cada caso.

TABLA 5. Medidas propuestas para la mitigación de los riesgos en la rehabilitación y ampliación del Puerto Manzanillo

Criterios	Costo	E	R	Imp.	FI	M	TOTAL	Ranking
Ponderación	35%	28%	5%	13%	5%	15%		
Cuenca de retención o Desviación del flujo	1	10	10	3	1	4	4,6	2
Aumentar la capacidad de defensa contra las inundaciones (levantar los diques, elevar el camino, etc.)	3	8	10	4	4	9	5,8	6
Dragado de canales fluviales	5	2	7	2	4	1	3,3	1
Actualización/nuevo diseño del terraplén (incluida la protección contra la erosión y el drenaje).	3	5	8	5	3	9	4,9	4
Caminos sumergibles (incluida la protección contra la erosión)	5	3	8	6	7	8	5,3	5
Gestión del tráfico (redireccionamiento). No se evita la distancia de viaje adicional, pero si el tráfico	10	2	7	9	9	10	7,5	8
Aumentar la capacidad de respuesta y recuperación (incluyendo personal, materiales, equipo)	8	3,5	7	10	8	8	7	7
Aumentar la redundancia (carreteras secundarias y/o terciarias)	1	8	10	8	2	5	4,9	3

*Efectividad / eficacia (E /E). * Robustez (R). *Impactos Positivos / negativos en el sistema u otros sectores (Imp.). *Facilidad de implementación (FI).

*Mantenimiento (M)

Conclusiones

- a. El cambio climático es una realidad global y en República Dominicana tiene la capacidad de impactar drásticamente en el estado de la infraestructura y, por tanto, en la economía del país. Las incertidumbres con respecto al futuro son diversas, pero los nuevos modelos climáticos y métodos de planificación nos ayudan a tener un panorama más claro de la situación.
- b. En un contexto social, político y económico cambiante en el cual los recursos de tiempo y dinero son siempre limitados y en el cual se prevén cambios que afectarán en gran medida las pérdidas, es clave contar con herramientas ágiles y con metodologías avanzadas para que los tomadores de decisión tengan la posibilidad de identificar, analizar y priorizar tramos en los cuales invertir recursos para la integración de la resiliencia por amenazas de origen natural, considerando los efectos del cambio climático en la red vial nacional. A partir de los aportes generados en el estudio “Infraestructura de Transporte Resiliente-Blue Spot Analysis” ahora es posible:
- c. Contar con información georreferenciada de todos los componentes de la red de infraestructura de transporte: puentes, red vial, puertos, aeropuertos, entre otros
- d. Saber qué Modelo de Circulación General representa mejor las condiciones de cambio climático para cada zona climática del país. Es un avance de suma importancia dado que economiza tiempos y genera efectividad en la futura integración de la resiliencia al cambio climático en los diseños de proyectos de infraestructura vial en el país
- e. Saber cuáles son los daños y pérdidas anuales esperadas en la red vial nacional por amenazas de origen natural
- f. Saber cuáles son los tramos con mayor riesgo de daño y pérdida socioeconómica en la red vial nacional y cuáles son las medidas de intervención más costo-efectivas que permiten no sólo reducir el riesgo de desastre, sino que también permiten aumentar la resiliencia al cambio climático de todo el sistema
- g. Saber qué procedimiento y metodología seguir para proponer medidas de reducción del riesgo de desastres sobre los tramos priorizados, de acuerdo con soluciones genéricas previamente definidas a partir de las características del fenómeno amenazante
- h. Interactuar, analizar, mapear, priorizar y definir medidas de intervención a partir del uso de la herramienta de visualización
- i. Las PAE por inundaciones fluviales a la infraestructura vial nacional son estimadas en 115,1 millones de pesos dominicanos en la situación actual. En condiciones con cambio climático al 2050 puede llegar a 389,1 millones con bajo tráfico y a 2127,6 millones con alto tráfico
- j. Las grandes incertidumbres existentes tanto en los resultados de los MCGs, como en los cambios socioeconómicos a futuro, hacen necesario que se deban realizar actualizaciones de este tipo de estudios a futuro cuando se conozca más sobre estos temas
- k. Los DAE por inundaciones fluviales a la infraestructura vial nacional son estimadas en 60,7 millones de pesos dominicanos en la situación actual. En condiciones con cambio climático al 2050 pueden llegar a 147,7 millones
- l. Si se suman los daños y pérdidas en la infraestructura vial, en el presente se asciende a 175,8 millones de pesos dominicanos, lo cual representa un 1% del presupuesto anual destinado a la infraestructura de transporte del año 2021

Recomendaciones

En los casos del Programa de Rehabilitación y Mantenimiento de Infraestructura Vial en República Dominicana y la Rehabilitación de la carretera Duarte en el tramo Navarrete-Montecristi se describieron dos ejemplos en los cuales los resultados y aportes del Blue Spot Analysis fueron referencias cruciales para la gestión y desarrollo de los proyectos, generando efectividad, tanto en la fase de selección y priorización de los tramos de carretera a ser seleccionados para rehabilitación y mantenimiento, como por los insumos técnicos a ser considerados por los equipos de diseño de ingeniería estos proyectos, de modo previo a la fase de licitación de las obras. Basados en los aportes presentados en este documento con base en la metodología desarrollada, y en los casos de aplicación descritos se recomienda

la apropiación, uso, comunicación y divulgación de los resultados del Blue Spot Analysis dentro de las instituciones encargadas de la planificación sectorial y de la gestión del sistema nacional de carreteras de República Dominicana. Para los tomadores de decisión, considerar los aportes del proyecto representa información técnica basada en metodologías robustas y representa no sólo un incremento en la efectividad del proceso de toma de decisiones, sino que representa un conjunto de resultados y datos que reducen el nivel de incertidumbre sobre el conocimiento del estado actual y futuro del sistema nacional de carreteras y puentes en términos de las posibles consecuencias por la ocurrencia de eventos de amenaza de origen natural y con influencia de cambio climático.

Referencias

1. Bramka Arga Jafino. 2017. "Measuring Freight Transport Network Criticality: A Case Study in Bangladesh" (master's thesis, Delft University of Technology).
2. DELTARES, 2021. Infraestructura de Transporte Resiliente - DR - T1173 - P002". Santo Domingo, República Dominicana.
3. IPCC. 2022. "Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability" Summary for policy makers. Working Group II – Contribution to the Sixth Assessment Report (AR6) of the IPCC.
4. Raghav Pant, Jim W. Hall, S. P. Blainey, and J.M. Preston, 2015. "Assessing Single Point Criticality of Multi-Modal Transport Networks at the National-Scale," paper presented at the 25th European Safety and Reliability Conference, Zurich, Switzerland.
5. Tucker, M., Corbally, R., O' Connor, A., Bles, T. and de Bel, M. (2018). Water Management For Road Authorities In The Face Of Climate Change. D5.1 Socio-Economic Analysis Guidelines V3. 3rd ed. CEDR Transnational Road Research Programme Call 2015. Available at: <https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/call_2015/climate_change/watch/WATCH-D5.1-Socio-Economic-Analysis-Guidelines.pdf>.
6. UNISDR, 2009. Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra.

