

Análisis de la vulnerabilidad de infraestructuras críticas como represas, puentes y carreteras ante eventos asociados al fenómeno de: El Niño – Oscilación Sur en la Costa ecuatoriana

Analysis of the vulnerability of critical infrastructures such as dams, bridges and roads to events associated with the phenomenon of: El Niño – Southern Oscillation on the Ecuadorian Coast

- ¹ Daniel Santiago Paredes Gaibor
Universidad Estatal de Bolívar (UEB)
daniel.paredes@ueb.edu.ec
 <https://orcid.org/0009-0005-3591-7008>
- ² Joel Fernando Montero Jiménez
Investigador independiente
Joel_fer_95@hotmail.com
 <https://orcid.org/0009-0003-4174-3863>
- ³ José Luis Palacios Vélez
Investigador independiente
josepalaciosvelez98@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0009-6583-7403>



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/12/2023

Revisado: 28/01/2024

Aceptado: 06/02/2024

Publicado: 01/03/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v6i1.1.454>

Cítese:

Paredes Gaibor, D. S., Montero Jiménez, J. F., & Palacios Vélez, J. L. (2024). Análisis de la vulnerabilidad de infraestructuras críticas como represas, puentes y carreteras ante eventos asociados al fenómeno de: El Niño – Oscilación Sur en la Costa ecuatoriana. AlfaPublicaciones, 6(1.1), 45–61. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i1.1.454>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves:

Inundaciones,
cambio
climático,
infraestructuras
críticas,
resiliencia y
fenómeno del
niño.

Resumen

Introducción: El artículo analiza la vulnerabilidad de infraestructura críticas seleccionada en la costa ecuatoriana frente a eventos climáticos extremos, como El Niño mediante la revisión de información a eventos ocurridos en las zonas, revisión de procesos hidrológicos en las cuencas y estado de las infraestructuras con la finalidad de proponer medidas preventivas que contribuyan a mitigar el impacto de estos eventos. En consecuencia, se examina la represa Daule Peripa, Aeropuerto de Guayaquil, Hospital del IESS de Milagro y Puerto de Aguas Profundas de Posorja. **Objetivo:** Analizar la vulnerabilidad existente de las infraestructuras críticas (represa Daule Peripa, Aeropuerto de Guayaquil, Hospital del IESS de Milagro y Puerto de Aguas Profundas de Posorja) frente a eventos climáticos extremos como el fenómeno del niño, mediante la revisión de estudios previos e identificación de consideraciones técnicas de estas infraestructuras que puede influir en su vulnerabilidad con la finalidad de proponer medidas de mitigación. **Metodología:** Consiste en la revisión y análisis de datos e información de los eventos ocurridos a lo largo del tiempo, para determinar la vulnerabilidad existente de estas infraestructuras. Además, se trabaja con una muestra intencional de cuatro edificaciones que son: Hospital del IESS en Milagro, Represa Daule Peripa, Aeropuerto de Guayaquil y Puerto de Aguas Profundas de Posorja. Al ser una muestra pequeña, se reduce el sesgo de muestreo ya que se pueda analizar cada elemento con mayor detalle y precisión. El estudio es longitudinal y descriptivo, analizando la importancia de las infraestructuras, factores de vulnerabilidad, intensidad de inundaciones y pérdidas económicas. **Resultados:** Al analizar infraestructuras críticas es trascendental que se analice su importancia y capacidad de recuperación ante eventos extremos. También, los eventos extremos, como las inundaciones por El Niño, plantean desafíos significativos para la gestión del riesgo y la planificación de infraestructuras críticas. Por otro lado, las interdependencias y las interconexiones con la dinámica de las ciudades en la que se encuentran son de vital importancia para cuantificar las afectaciones a nivel económico y social. **Conclusiones:** Es esencial invertir en el mantenimiento adecuado de las infraestructuras críticas para garantizar su seguridad y sostenibilidad frente a los desafíos del cambio climático. Por otro

lado, el estudio destaca la importancia de comprender y abordar los riesgos asociados a eventos climáticos extremos, como inundaciones, en infraestructuras como la represa Daule-Peripa y el Hospital del IESS de Milagro. Además, se resalta la necesidad de implementar tecnologías avanzadas, como el sistema RTIM, para monitorear y mitigar riesgos en represas. En el caso de los aeropuertos, la correcta gestión del drenaje es crucial para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente, como se demuestra en estudios que utilizan modelos hidrodinámicos como “MIKE FLOOD”. **Área de estudio general:** Gestión del riesgo. **Área de estudio específica:** Vulnerabilidades.

Keywords:

Floods, climate change, critical infrastructures, resilience and ENOS.

Abstract

Introduction: The article analyzes the vulnerability of selected critical infrastructure on the Ecuadorian coast to extreme climatic events, such as El Niño, by reviewing information on events that occurred in the areas, reviewing hydrological processes in the basins and state of the infrastructures with the purpose of proposing preventive measures that contribute to mitigating the impact of these events. Consequently, the Daule Peripa Dam, Guayaquil Airport, IESS Hospital of Milagro and Deep-Water Port of Posorja are examined. **Objective:** Analyze the existing vulnerability of critical infrastructures (Daule Peripa Dam, Guayaquil Airport, IESS Hospital of Milagro and Deep-Water Port of Posorja) to extreme climate events such as the El Niño phenomenon, through the review of previous studies and identification of technical considerations of these infrastructures that may influence their vulnerability in order to propose mitigation measures. **Method:** It consists of the review and analysis of data and information of events that occurred over time, to determine the existing vulnerability of these infrastructures. In addition, we are working with an intentional sample of four buildings that are: IESS Hospital in Milagro, Daule Peripa Dam, Guayaquil Airport and Posorja Deep Water Port. Being a small sample, sampling bias is reduced since each element can be analyzed with greater detail and precision. The study is longitudinal and descriptive, analyzing the importance of infrastructure, vulnerability factors, flood intensity and economic losses. **Results:** When analyzing critical infrastructures, it is essential to analyze their importance and capacity to recover from extreme events. Also, extreme events, such as El Niño floods, pose significant challenges

for risk management and critical infrastructure planning. On the other hand, the interdependencies, and interconnections with the dynamics of the cities in which they are located are of vital importance to quantify the effects at an economic and social level. **Conclusions:** It is essential to invest in the adequate maintenance of critical infrastructure to guarantee its safety and sustainability in the face of the challenges of climate change. On the other hand, the study highlights the importance of understanding and addressing the risks associated with extreme climate events, such as flooding, in infrastructure such as the Daule-Peripa dam and the IESS de Milagro Hospital. Additionally, the need to implement advanced technologies, such as the RTIM system, to monitor and mitigate risks in dams is highlighted. In the case of airports, proper drainage management is crucial to ensure their safe and efficient operation, as demonstrated in studies using hydrodynamic models such as “MIKE FLOOD”.

Introducción

La costa del Ecuador debido a su geografía presenta una mayor probabilidad de inundaciones por eventos climáticos que están asociados por el fenómeno de El Niño que provoca niveles mayores de precipitaciones. El Ecuador es un país considerado vulnerable, según Ruiz (2012), “vulnerabilidad se define siempre en relación con algún tipo de amenaza, sean eventos de origen físico como sequías, terremotos, inundaciones o enfermedades, o amenazas antropogénicas como contaminación, accidentes, hambrunas o pérdida del empleo” (p. 73).

Es importante indicar que los eventos climáticos tienen un impacto significativo en las poblaciones debido a la vulnerabilidad física existente, pobreza, falta de oportunidades y asentamientos humanos en zonas de riesgo por la inexistencia de regulaciones. Al mismo tiempo, la inexistencia de capacidades por parte del estado que permita mitigar estas vulnerabilidades.

Según Tárrago et al. (2020), “la vulnerabilidad de un sistema frente al cambio climático es el grado en que dicho sistema es susceptible, o incapaz de hacer frente, a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos” (p. 661). En ese sentido la definición de vulnerabilidad frente al cambio climático es fundamental para comprender la importancia de evaluar y abordar los riesgos asociados a eventos climáticos extremos en las infraestructuras críticas del Ecuador para que se

pueda abordar con medidas que mitiguen estos riesgos.

Las infraestructuras consideradas críticas en el país son: las represas, hospitales, puertos y redes viales, ya que desempeñan un rol fundamental en el desarrollo económico y social del país. Sin embargo, su exposición ante los eventos naturales previsibles o no previsibles, como los fenómenos climáticos, geológicos o fenómenos climatológicos como El Niño plantean un desafío significativo para la sostenibilidad y la seguridad de estas estructuras de primer uso en el Ecuador. Enfocándonos en el fenómeno de El Niño, caracterizado por el calentamiento no regular de las aguas superficiales del océano Pacífico, provoca modificaciones no habituales climáticas a escala global y puede desencadenar lluvias intensas provocando inundaciones, deslizamientos de tierra y otros eventos catastróficos, lo que plantea desafíos considerables para la sostenibilidad y la seguridad de la nación (Lampis, 2013).

Las infraestructuras críticas en la costa ecuatoriana son esenciales para el desarrollo socioeconómico de la región, es importante indicar que enfrentan una amenaza constante ante los eventos extremos producto del fenómeno del niño. En ese sentido la problemática central radica en cómo estos fenómenos climáticos extremos pueden comprometer la integridad y funcionalidad de represas, puertos, hospitales, puentes y carreteras, generando consecuencias negativas en términos de seguridad, estabilidad económica y sostenibilidad ambiental. Además, de evaluar los efectos a largo plazo y la capacidad de resiliencia de las poblaciones. En lo que se refiere a la estabilidad económica, es importante indicar que la etapa de recuperación ante un desastre representa un mayor costo que la etapa preventiva. Por lo tanto, es importante hacer hincapié que se debe fortalecer la etapa de prevención ante posibles eventos naturales y antrópicos.

Según Toulkeridis et al. (2015):

Las inundaciones son, en términos de pérdidas económicas, segundos en importancia entre los eventos naturales para los países de la cuenca del Pacífico. Los países más afectados entre 1951 y 2013 han sido Colombia y Ecuador, particularmente afectados por una serie de más frecuentes inundaciones a partir de 2001. Las pérdidas económicas entre 1951 y 2013 ocasionadas por las inundaciones alcanzan los 10,3 mil millones de dólares. (p. 79)

Según Recalde & Racines (2019), “la Infraestructura crítica continúa creciendo en su complejidad e interdependencia. Esto, la hace importante para que los gobiernos nacionales procuren su protección a través de medidas de gobernanza entre los sectores públicos y privados con la finalidad de garantizar los servicios” (p. 2). Tomando como referencia la infraestructura crítica es un componente esencial para el funcionamiento de la sociedad moderna y su protección es de suma importancia. La creciente complejidad e interdependencia de estas infraestructuras subraya la necesidad de una colaboración

estrecha entre los sectores público y privado para garantizar su seguridad y continuidad operativa.

Las represas, hospitales, puertos, redes viales son elementos fundamentales para el desarrollo de un país, por un lado, las represas proporcionan agua de manera controlada a los ríos y canales y estas generan energía por medio de hidroeléctricas. Además, regulan los caudales de los ríos y en el caso de los puentes y las carreteras, son parte fundamental para los mecanismos de transporte y conectividad de personas y mercancías en todo el país, anexando el uso de ayuda emergente en caso de ser necesario. Sin embargo, estas infraestructuras también son particularmente vulnerables a los impactos de El Niño y otros eventos naturales aquellas que pueden generar una problemática más anexada a las consecuencias de un fenómeno natural. Además, la vulnerabilidad de estas infraestructuras críticas también se ve agravada por la falta de mantenimiento y la inversión insuficiente en obras civiles. El no realizar una planificación en cuanto al mantenimiento puede debilitar estas estructuras y volverlas vulnerables frente a eventos naturales y más aún en el Ecuador considerado un país multiamenazas.

Según Gómez (2001), “por un lado, las intervenciones humanas como la deforestación en áreas de proómetección pueden dar lugar a que fenómenos meteorológicos como lluvias torrenciales, que en circunstancias normales no tendrían que generar mayores daños, se conviertan en inundaciones” (p. 14). En ese sentido se resalta la interconexión entre las acciones humanas y los fenómenos meteorológicos, destacando cómo las intervenciones humanas, como la deforestación en áreas de protección, pueden exacerbar el impacto de eventos climáticos extremos, como las lluvias torrenciales.

En términos de seguridad, la vulnerabilidad de las infraestructuras plantea riesgos tanto para la población como para el medio ambiente. Las inundaciones y los deslizamientos de tierra pueden poner en peligro vidas humanas y causar daños ambientales significativos. Por ejemplo, la ruptura de una represa podría inundar áreas pobladas y causar devastación. Además, la vulnerabilidad de los puentes y las carreteras también puede dificultar la evacuación de áreas afectadas por desastres, lo que aumenta el riesgo para la población (Aules & Cañarte, 2022).

Se ha planteado analizar la vulnerabilidad de las siguientes infraestructuras críticas: Hospital del IESS en la ciudad de Milagro, Represa Daule Peripa, Puerto de Aguas Profundas de Posorja y Aeropuerto de Guayaquil, su relación a los eventos asociados al fenómeno del niño, mediante la revisión de estudios previos con la finalidad de proponer estrategias que permitan reducir los daños y pérdidas e incrementar la resiliencia en las poblaciones.

El fenómeno del Niño, caracterizado por condiciones climáticas extremas, puede desencadenar eventos extremos con graves repercusiones en las infraestructuras críticas

por ello es importante relacionar estos dos eventos. Además, la identificación de estos eventos y sus alteraciones en las infraestructuras es crucial para entender la vulnerabilidad estructural.

Para mitigar estos riesgos, es esencial examinar las problemáticas subyacentes y proponer medidas de mitigación y adaptación. Por otro lado, ampliar las capacidades de respuesta y recuperación de las poblaciones ante eventos extremos es fundamental para garantizar su seguridad y sostenibilidad a largo plazo de estas poblaciones. Adicionalmente, el identificar las infraestructuras críticas más susceptibles y evaluar su impacto económico y social proporciona la base para implementar medidas preventivas y estrategias de gestión de riesgos, fortaleciendo la resiliencia del país ante la amenaza latente del fenómeno del Niño.

La hipótesis de esta investigación se fundamenta en la premisa de examinar cómo las infraestructuras críticas asentadas en esta zona geográfica del país pueden fortalecerse y adaptarse de manera efectiva frente a eventos climáticos extremos derivados del fenómeno del Niño.

Metodología

Consiste en la revisión y análisis de datos (cuencas hidrográficas cercanas, eventos de inundaciones ocurridos, sistemas de drenajes, importancia a nivel nacional y ubicación geográfica) e información de los eventos sucedidos, por medio de análisis del contenido de artículos académicos referentes a la vulnerabilidad de las infraestructuras críticas en diferentes contextos locales e internacionales.

Para el presente artículo se eligió una muestra intencional, seleccionada en función de la importancia estratégica de las infraestructuras para cada una de las localidades que son beneficiadas por las mismas. Por lo tanto, los individuos son: el Hospital del IESS ubicado en la ciudad de Milagro, Represa Daule Peripa en la provincia del Guayas, Aeropuerto de Guayaquil y Puerto de Aguas Profundas de Posorja, y están claramente definidos y son accesibles para la recopilación de datos.

El estudio por realizarse para la presente investigación es de tipo longitudinal ya que se analizarán los distintos eventos a lo largo del tiempo para determinar los efectos que tienen las inundaciones en las infraestructuras críticas. Además, en función de los objetivos básicos de la investigación este estudio se caracteriza por ser descriptivo ya que se analizan variables como: importancia de las infraestructuras, factores que contribuyen a la vulnerabilidad, intensidad de las inundaciones, pérdidas económicas ocasionadas y costos asociados a la falta de preparación para desastres.

Resultados

Al presentarse diversos enfoques de estudio en esta investigación, dependerá de la variabilidad y de sus características como es las personas, tiempo y el lugar donde se encuentra estas infraestructuras. Se destaca lo último, por la relación que tiene con este estudio y la población referencial correspondiente.

Al examinar los enfoques en los sitios de referencia en la costa ecuatoriana para este estudio, nos enfrentamos a una diversidad de perspectivas específicas que requieren atención.

Según Fakhruddin et al. (2020), “se hace evidente que estos cambios temporales de vulnerabilidad dependen de la sensibilidad y la capacidad de adaptación o de las opciones de respuesta, y es esencial que un análisis exhaustivo examine las características estándar de dichas respuestas de manera sistemática” (p. 218).

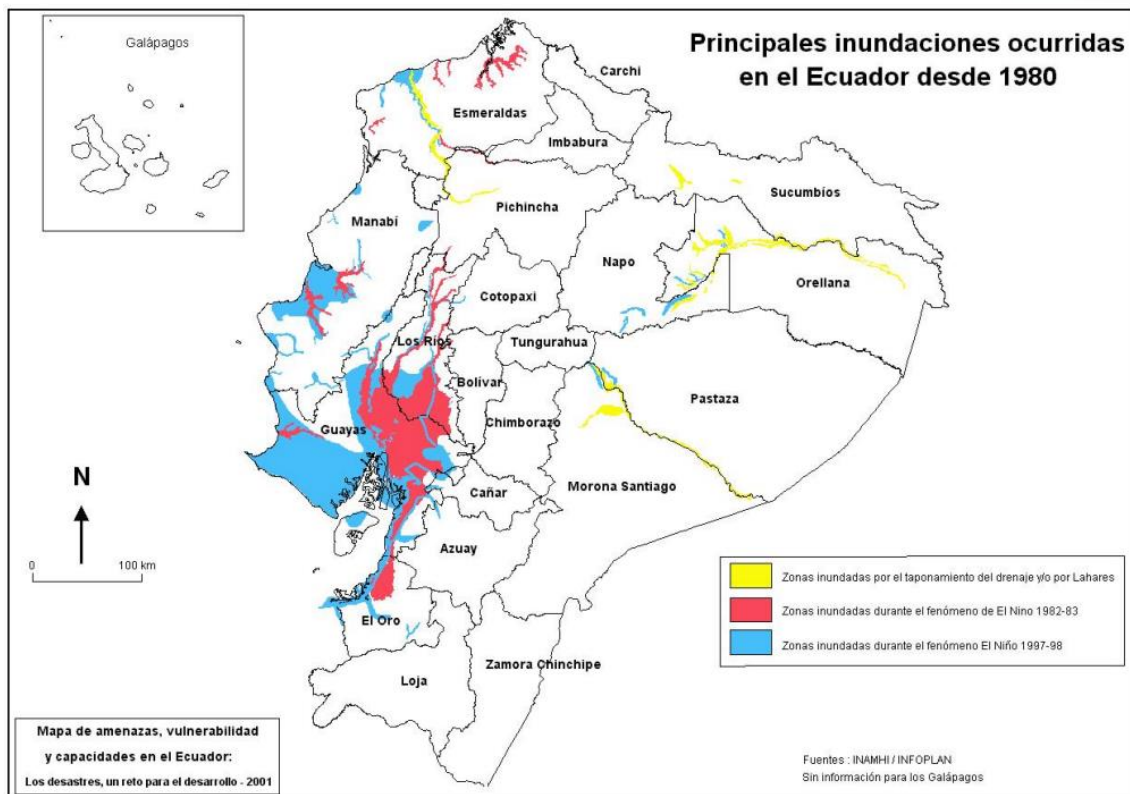
Por consiguiente, se resalta la importancia de considerar tanto la sensibilidad como la capacidad de adaptación cuando se evalúa la vulnerabilidad de una infraestructura como el Hospital del IESS en Milagro. La sensibilidad se refiere a la susceptibilidad de la infraestructura a sufrir daños debido a cambios en el entorno, como las inundaciones causadas por el aumento del caudal del estero San Miguel y el río Milagro. Por otro lado, la capacidad de adaptación se relaciona con la capacidad de la infraestructura y de las personas que la gestionan para ajustarse y responder eficazmente a esos cambios.

El Hospital del IESS en la ciudad de Milagro, Provincia de Guayas, se encuentra en una situación vulnerable debido a su proximidad tanto al estero San Miguel como al río Milagro. Durante la época invernal, el caudal de estos cuerpos de agua tiende a aumentar significativamente, lo que puede provocar inundaciones en varias áreas de la ciudad, incluyendo la ubicación del hospital. Este riesgo de inundación representa una amenaza para la infraestructura hospitalaria y para la capacidad de brindar atención médica a la población local en momentos críticos.

Según Yi et al. (2023), “los eventos de desastres extremos pueden surgir con poca frecuencia, pero su ocurrencia abrupta en el tiempo y el espacio se muestra como "picos" que no se pueden modelar correctamente con base en el método promedio” (p. 310). Por lo tanto, la imprevisibilidad de los eventos de desastres extremos plantea un desafío significativo para la gestión del riesgo en Ecuador y otras regiones propensas a fenómenos climáticos extremos, esta observación destaca la necesidad de adoptar enfoques flexibles y adaptativos en la planificación y respuesta ante desastres. Los picos repentinos de eventos extremos, como las inundaciones que puede producirse por el fenómeno del niño pueden incidir directamente en las afectaciones de estas infraestructuras.

Figura 1

Mapa de las principales inundaciones ocurridas en el Ecuador desde 1980



Nota: el mapa presenta las zonas inundables en la región costa. Se observa que con el pasar de los años hasta el último evento registrado en 1997, la zona inundable ha ido aumentando y abarca toda la zona del cantón Milagro perteneciente a la provincia del Guayas.

Fuente: Demoraes & D'Ercole (2001)

Como se observa en la figura 1, el aumento de las zonas inundables en la región costa, especialmente en el cantón Milagro de la provincia del Guayas, es alarmante y resalta la urgencia de tomar medidas para proteger las infraestructuras críticas. Por lo tanto, se requiere la implementación de medidas de mitigación, como sistemas de bombeo, barreras físicas, mejora de sistema de drenaje, así como generar mapas que permitan conocer las zonas que se encuentran más vulnerables ante amenazas de inundaciones.

Al analizar la infraestructura de la represa Daule Peripa en la provincia del Guayas, es importante indicar que el diseño a nivel constructivo de la misma tiene como uso aproximado de 50 años estipulados en las Normativas de la Construcción del Ecuador por los Ministerios de Obras Públicas y Energía del Ecuador. Además, estos estudios proporcionan información detallada sobre la estructura misma de la represa, su diseño, capacidad de almacenamiento, sistemas de drenaje y otros aspectos relevantes para evaluar su resistencia ante eventos climáticos extremos.

De manera que a causa del cambio climático con el pasar de los años las precipitaciones han aumentado drásticamente en el Ecuador. Gründemann et al. (2022), menciona que uno de los retos dentro de la ciencia climática es la dificultad de predecir los cambios a futuro en lo que se refiere a las precipitaciones. Sin embargo, se anticipa que los eventos climáticos extremos de precipitaciones aumenten en los años venideros con respecto sus valores históricos. Además, se sugiere la necesidad imperante de actualizar las normativas de diseño en cuanto a ingeniería.

Esto plantea una señal de alerta ya que las inundaciones severas superarían la capacidad de manejo de estas infraestructuras generando una sobrecarga hidráulica que puede influir en su colapso. Además, los elevados caudales favorecerían a un proceso de erosión de suelo aguas abajo debilitando su estructura.

El Aeropuerto José Joaquín de Olmedo Provincia Del Guayas al prestar sus servicios con vuelos nacionales e internacionales tiene un alto nivel de prioridad a nivel país. En consecuencia, las lluvias intensas pueden incrementar la probabilidad de inundaciones y deterioro en la pista y demás infraestructuras.

Al establecerse esta infraestructura en un sector residencial de la ciudad de Guayaquil, las zonas de las pistas del aeropuerto se han inundado debido a la saturación de los sistemas de drenaje de los alrededores, provocando pérdidas de tracción en la pista pudiendo provocar accidentes mayores.

Para hacer frente a estas situaciones, los aeropuertos suelen implementar medidas de gestión de riesgos y procedimientos operativos especiales durante condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas. Estos pueden incluir el monitoreo del clima en tiempo real, la mejora de la infraestructura de drenaje en la pista, la aplicación de tratamientos en la superficie para mejorar la tracción.

Según Siviruelo (2019), “el costo y la esperanza de vida inicial de las distintas alternativas debe basarse en la experiencia del ingeniero con la consideración dada a los materiales locales” (p. 70). Este enfoque resalta la importancia de considerar tanto la viabilidad económica como la durabilidad de las infraestructuras al seleccionar las alternativas de diseño y construcción.

De ahí la necesidad de analizar la frecuencia de las tormentas en relación con las fases extremas de la variabilidad climática asociada a los fenómenos de El Niño en los últimos eventos en el que el país fue afectado. No en vano, es necesario considerar las alternativas de reubicar el aeropuerto, bajo normas internacionales y tomando en cuenta en el diseño las cotas y la infraestructura existente de los alrededores para que los eventos naturales no afecten estas infraestructuras.

El Puerto de Aguas Profundas de Posorja, al ser un anexo portuario del país vinculado al

río Guayas, desempeña un papel crucial como uno de los primeros puertos marítimos en el Pacífico del siglo XXI. Además, su ubicación estratégica lo convierte en un punto de referencia para embarcaciones de gran calado que realizan desembarcos y trasbordos de cargas.

Estableciéndose entre diversas infraestructuras como un caso ejemplo por su evaluación técnica. Según Tobar (2001), “el puerto de aguas profundas se prepara para el futuro inmediato por lo largo del canal de ingreso de 40 millas tiene un límite de hasta 9.5m”. (p. 5). Sin embargo, se ha confirmado que este puerto enfrenta el riesgo de sufrir afectaciones directas e indirectas debido a eventos naturales, lo que podría resultar en daños a las embarcaciones y al ecosistema circundante.

Según Cepeda (2010):

Para el acceso al puerto se tiene que el dragado de mantenimiento es nulo, el fondo de esta zona desde Posorja hasta Guayaquil y que la profundidad garantiza al buque de 16.16 m. considerando que los canales de esta zona son de 18 m. evitando que una nave tenga un factor de seguridad para evitar varamientos. (p. 50)

Al establecerse como una infraestructura primordial está puede verse afecta directamente por la variabilidad climática, debido que al presentarse un colapso de los ríos que conectan al océano estos traen sedimentos suaves como pesados los cuales se ven comprometido contra la estructura del puerto y de las naves que circulan en el mismo.

Al definir una infraestructura crítica o de primer orden estas serán siempre evaluadas de manera individual o independiente para evitar impactos económicos producto de su destrucción o fallo, este tipo de infraestructuras generan un alto valor estratégico y fomentan el desarrollo para la zona donde están ubicadas.

Según Roman (2016):

La falta de consideración de factores claves que aportan y aceleran el proceso de sedimentación, como es el fenómeno del equilibrio dinámico, la resedimentación por el efecto trampa que produce la sección dragada y la poca precisión en la identificación del fondo marino a dragar, por lo que quizás se tomó como fondo un estrato denso, despreciando el material de menor densidad que se encuentra en constante movimiento por la fuerza de arrastre de los sedimentos ubicados en este sector. (p. 18)

Por esta razón el exceso de precipitaciones producto de la variabilidad climática provocaría la intensificación de la sedimentación en el Puerto de Aguas Profundas de Posorja, esto alteraría la topografía submarina y requerirá estrategias de dragado para

mantener los niveles de calado deseados y no poner en riesgos su normal operación.

Uno de los hallazgos más importantes que producen una mayor vulnerabilidad es la falta de mantenimiento y la inversión insuficiente en obras civiles. De manera que la falta de mantenimiento adecuado ha debilitado estas estructuras, disminuyendo su capacidad para resistir eventos naturales extremos como es el fenómeno del niño. Además, la ausencia de inspecciones regulares, reparaciones y actualizaciones ha incrementado su vulnerabilidad y ha conducido a daños severos o incluso a la falla completa durante un desastre. Además, la inversión insuficiente en obras civiles como los sistemas de drenaje y la gestión de aguas pluviales con el fin de minimizar la entrada de sedimentos limita la gestión preventiva y la mejora de la resiliencia de estas infraestructuras ante eventos climáticos extremos.

Discusión

Es fundamental reconocer la importancia de la inversión en mantenimiento y la asignación de recursos adecuados para garantizar la seguridad y sostenibilidad de las infraestructuras críticas frente a los desafíos del cambio climático y los eventos extremos asociados. Además,

El estudio resalta la importancia de comprender y abordar los desafíos asociados a eventos climáticos extremos en las infraestructuras críticas de la costa del Ecuador. Además, el abordar las vulnerabilidades con la adecuada inversión en mantenimiento son puntos claves para garantizar la seguridad y sostenibilidad de estas infraestructuras frente a la amenaza del cambio climático.

En lo que se refiere a la represa Daule-Peripa, según Echeverría (2009):

La vida útil del embalse está íntimamente relacionada con el nivel de sedimentos; por lo tanto, con un manejo adecuado de la cuenca y del embalse, se puede evitar la sedimentación y la contaminación del agua tanto en el embalse, como el río abajo. (p. 52)

Por lo cual se establece que al desarrollarse eventos climáticos adversos provocaría la reducción de vida útil del embalse afectándolo continuamente, por las condiciones que provoca un evento de este tipo. En efecto existe el potencial riesgo de que producto de la variación de la cuenca hidrográfica del río Daule como consecuencia de las actividades antrópicas como la deforestación provoquen que desaparezcan las zonas de amortiguamiento de la cuenca y generen procesos de erosión hídrica que pueden afectar directamente la infraestructura.

Los avances tecnológicos garantizan el salvaguardar la integridad de las infraestructuras como las represas. En ese sentido Tagg et al. (2016), plantean que el sistema RTIM, que

integra sensores, modelos predictivos y computación en la nube, demuestra ser una estrategia efectiva para supervisar y analizar el riesgo de fallos en represas e inundaciones. Se ha probado exitosamente en tres ubicaciones en Europa (Estuario de Humber, Presa de los Peninos y Windsor) en Reino Unido, y ha recibido una valoración positiva por parte de los evaluadores de la Unión Europea.

El Hospital del IESS de Milagro, ha sido uno de los afectados de manera directa e indirecta, ya que, al no mantener un estudio correcto de factores ambientales y seguimiento a las normativas estipuladas hasta la fecha de construcción, Esto ha creado vulnerabilidades los cuales, una reconstrucción correspondiente puede habilitar el funcionamiento correspondiente de las instalaciones evitando amenazas a la salud.

La resiliencia de los hospitales es fundamental para garantizar que puedan mantener sus operaciones durante y después de eventos adversos, como desastres naturales, emergencias de salud pública o situaciones de crisis.

Al respecto Sun et al. (2022), establecieron una definición de la resiliencia de la infraestructura de salud específicamente enfocada en los hospitales, destacando que un hospital considerado resiliente es aquel capaz de resistir los impactos derivados de desastres, mientras continúa ofreciendo servicios y cubriendo las necesidades de los pacientes.

El Aeropuerto internacional al ser vulnerable a las amenazas por su cota de las pistas generan problemas tanto económicos como físicos, por lo cual al abordar la inversión y las correcciones de las cotas y el seguimiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y de Aviación garantizarían la seguridad y funcionamiento de esta infraestructura ante las diversas amenazas que se atravesasen en la misma y en los alrededores. Sathurshan et al. (2022), plantea que es fundamental considerar el impacto asociado con los daños o fallos en la infraestructura, ya que el evaluar las interdependencias entre los sistemas que la conforman nos permite evitar una cascada de fallos y un colapso de todos servicios que facilita la misma.

La insuficiencia del drenaje y las inundaciones son problemas críticos que afectan la operación y seguridad de los aeropuertos en todo el mundo. Cuando los sistemas de drenaje no son capaces de manejar adecuadamente el agua de lluvia u otros tipos de precipitación, se pueden producir inundaciones que obstaculizan las operaciones aeroportuarias y representan riesgos para la seguridad de aeronaves y pasajeros. Cabe indicar que Tingsanchali & Eng (2009), establecieron en su estudio con la finalidad de encontrar un sistema de gestión de inundaciones y drenaje más efectivo, capaz de evacuar el agua de inundación de un área de 624 kilómetros cuadrados con el menor daño posible y con un impacto reducido en las condiciones sociales y de vida de los habitantes del área en estudio, es el foco de esta investigación. Este estudio implica el uso del modelo

hidrodinámico “MIKE FLOOD” para evaluar los efectos comparativos del sistema de gestión de inundaciones y drenaje en los alrededores del aeropuerto. cita

Conclusiones

- Este tipo de estudios abren un abanico de posibilidades en el manejo de infraestructura aeroportuaria cercana a zonas inundables y mediante el análisis de modelos hidrodinámicos como “Mike Flood” se gestiona de mejor manera las inundaciones y así evitar pérdidas en las infraestructuras.
- El Puerto de Aguas Profundas de Posorja, como enclave portuario estratégico en la región, enfrenta una serie de desafíos significativos relacionados con la sedimentación y la falta de mantenimiento adecuado. En ese sentido, la variabilidad climática, junto con la ausencia de dragado de mantenimiento y la inversión insuficiente en infraestructura civil, aumentan su vulnerabilidad ante eventos naturales extremos como el fenómeno del Niño, lo que podría comprometer su operatividad y seguridad.
- Es fundamental implementar medidas de gestión de riesgos y mejorar la resiliencia de la infraestructura portuaria mediante la realización de dragados regulares, inspecciones y reparaciones. Además, se requiere una inversión adecuada en obras civiles para minimizar la sedimentación y proteger contra eventos climáticos extremos, garantizando así la seguridad y continuidad operativa a largo plazo del Puerto de Aguas Profundas de Posorja.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés que afecten la redacción de este manuscrito ni la realización de este proyecto de investigación.

Referencias Bibliográficas

- Aules, A., & Cañarte, L. (2022). *Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos naturales para la parroquia de Aloasí, cantón Mejía* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23432>
- Cepeda, F.-S. (2010). *Factibilidad y urgente necesidad del puerto de aguas profundas para Guayaquil* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Litoral, Guayaquil]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/123456789/21139>
- Demoraes, F., & D’Ercole, R. (2001). *Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en Ecuador*. https://www.researchgate.net/publication/299561868_
- Echeverría, G. (2009). *Auditoría ambiental al plan de manejo del embalse Daule Peripa*

- [Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil, Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/6103>
- Fakhruddin, B. S. H. M., Boylan, K., Wild, A., & Robertson, R. (2020). Assessing vulnerability and risk of climate change. In *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814895-2.00012-4>
- Gómez, J. (2001). Vulnerabilidad y medio ambiente. Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL).
https://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana_pla_sis_amb/Vul_medio%20ambiente.pdf
- Gründemann, G. J., Van de Giesen, N., Brunner, L., & Van der Ent, R. (2022). Rarest rainfall events will see the greatest relative increase in magnitude under future climate change. *Communications Earth and Environment*, 3(1).
<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00558-8>
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 17–33.
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37017>
- Recalde, F., & Racines, P. (2019). La protección de las infraestructuras críticas en el ámbito de las Fuerzas Armadas. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 5(5), 1–22. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/RCSDV5N1ART01/pdf>
- Roman, J. (2016). *Development of a strategic plan for Port Authority of Guayaquil - Case of Guayaquil* [Tesis de maestría, University Rotterdam, Rotterdam].
<https://thesis.eur.nl/pub/37239/Thesis-Final-Version-Julieth-Roman.pdf>
- Ruiz Rivera, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 77(Mx), 63–74.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56923353006>
- Sathurshan, M., Saja, A., Thamboo, J., Haraguchi, M., & Navaratnam, S. (2022). Resilience of critical infrastructure systems: a systematic literature review of measurement frameworks. In *Infrastructures*, 7(5):1–26.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures7050067>
- Siviruelo, D. (2019). *Relación entre el diseño estructural de pavimentos aeroportuarios y el costo–efectividad de construcción*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Los Andes, Huancayo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/925>

- Sun, P., Entress, R., Tyler, J., Sadiq, A., & Noonan, D. (2022). Critical Public Infrastructure Underwater: The Flood Risk Profile of Florida Hospitals. *SSRN Electronic Journal*, 117, 473–489. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4212724>
- Tagg, A., Murphy, A., Davison, M., & Goff, C. (2016). The use of smart infrastructure in dams to protect communities from flooding. *CDA 2015 Annual Conference*, 1, 1–14. <https://eprints.hrwallingford.com/1160/>
- Tárrago Garay, N., Royo Abancéns, F. J., & Torreira de la Hera, I. (2020). Vulnerabilidad de las infraestructuras frente a eventos climáticos. Inundación de carreteras. *Dyna*, 95(6), 661–667. <https://www.revistadyna.com/search/vulnerability-of-infrastructures-to-climate-events-road-flooding>
- Tingsanchali, T., & Eng, D. (2009). Flood impact assessment in the surrounding area of Suvarnabhumi airport, Thailand. In *Advances in Geosciences: Volume 11: Hydrological Science (HS)* (pp. 283–297). <https://doi.org/10.1142/7073-vol11>
- Tobar, H. (2001). *Exposición de motivos y planificación para la construcción del puerto de aguas profundas en Posorja* (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ed.). Publicaciones - FIMCBOR. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/7675>
- Toulkeridis, T., Bernabé, M., Baile, S., & Carreón, D. (2015). *Gestión de Riesgo en el Ecuador* (T. Toulkeridis & D. Andrade, Eds.; ESPE). ESPE. https://www.researchgate.net/publication/283272498_Gestion_de_Riesgo_en_el_Ecuador
- Yi, C., Chen, Z., & Chen, H. (2023). Opportunity knocks but just once: Impact of infrastructure investment decision on climate adaptation to flood events. *Omega*, 121: 102–130. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2023.102934>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

