



**Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura**  
**Carrea De Ingeniería Marítima**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de**  
**Ingeniero Marítimo**

**Modalidad Proyecto de Investigación**

“Evaluación de la Vulnerabilidad de la Infraestructura y Operaciones Marítimas  
ante el Cambio Climático: Estrategias de Adaptación Tecnológica”

**Autor:**


Manuel Alejandro Ramírez Fernández

**Tutor Académico:**

Ing. Efrey Alcívar Vélez

Manta – Ecuador

2026

	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b> <b>CERTIFICADO DE TUTOR(A).</b>	<b>CÓDIGO: PAT-04-F-004</b>
	<b>PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO  BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	<b>REVISIÓN: 1</b> Página 1 de 1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Ramírez Fernandez Manuel Alejandro, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniera Marítima, período académico 2025-2, cumpliendo el total de 40 horas, cuyo tema del proyecto es “Evaluación de la Vulnerabilidad de la Infraestructura y Operaciones Marítimas ante el Cambio Climático: Estrategias de Adaptación Tecnológica”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 19 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Efrey Alcívar Vélez, MSc.  
Docente Tutor

**Declaración De Autoría**

Yo, MANUEL ALEJANDRO RAMIREZ FERNANDEZ identificado con C.I. 096045806-5; declaro que el proyecto de grado denominado “Evaluación de la Vulnerabilidad de la Infraestructura y Operaciones Marítimas ante el Cambio Climático: Estrategias de Adaptación Tecnológica” es de mi total autoría, el cual se ha desarrollado de manera íntegra, respetando los derechos intelectuales de las personas que han desarrollado conceptos mediante las citas las cuales indican su autoría y cuyos datos se detallan de manera más completa en la bibliografía.

En virtud de lo antes expuesto, me responsabilizo del contenido y el alcance del presente proyecto.

Manta, 05 de febrero de 2026

Atentamente,



---

Manuel Alejandro Ramirez Fernandez  
096045806-5



---

Ing. Efrey Alcivar Vélez, MSc  
Docente Tutor

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad y a la carrera de Ingeniería Marítima por la formación recibida y por contribuir a mi crecimiento académico y profesional; de igual manera, expreso mi gratitud a mis docentes por los conocimientos impartidos a lo largo de mi etapa de estudios. Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo incondicional, paciencia y motivación constante, y a mis amigos y compañeros por su acompañamiento durante este proceso. Finalmente agradezco a mi tutor de tesis Efrey Alcívar Vélez, MSc. Docente Tutor, quien ha sido un pilar fundamental en mi formación, como docente y tutor. Gracias por guiarme y estar siempre presente en este proceso.

## Tabla de contenidos

Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas .....	IX
Síntesis .....	X
Abstract.....	XI
Introducción .....	12
Planteamiento del problema.....	13
Problema de la investigación .....	13
Objeto de la investigación.....	14
Campo de acción.....	14
Hipótesis .....	14
Objetivo general.....	14
Variables.....	14
Objetivos específicos .....	14
Capítulo 1: Introducción y Contexto General.....	16
1.1: Conceptos y Causas del Cambio Climático .....	16
1.1.1 Concepto de cambio climático .....	16
1.1.2 Diferencia entre cambio climático y calentamiento global.....	16
1.1.3 Causas naturales del cambio climático .....	16
1.1.4 Causas antropogénicas del cambio climático.....	17
1.1.5 Interacción entre causas naturales y antropogénicas.....	18
1.1.6 Consecuencias de no atender las causas del cambio climático .....	18
1.2. Efectos del cambio climático en las actividades marítimas .....	18
1.2.2 Erosión costera y aumento del nivel del mar: Amenazas para infraestructuras .....	21

1.2.3 Alteraciones en los patrones de navegación y comercio marítimo .....	23
1.3. Justificación de la necesidad de adaptación tecnológica en puertos .....	24
1.3.1. Limitaciones de las infraestructuras portuarias tradicionales frente al cambio climático.....	26
1.3.2. Beneficios de la implementación de medidas adaptativas y resilientes.....	27
<b>Capítulo 2: Estudio de campo, análisis e interpretación de resultados. ...</b>	<b>30</b>
2.1. Método de investigación .....	30
2.1.1. Método descriptivo.....	30
2.1.2. Método analítico.....	30
2.2. Tipo de investigación .....	31
2.2.1. Investigación bibliográfica.....	31
2.2.2. Investigación de campo.....	31
2.3. Población y muestra .....	32
2.4. Técnicas de investigación .....	33
2.4.1. Encuesta .....	33
2.5. Resultados de instrumentos de investigación.....	34
2.6 Análisis e interpretación general de los resultados .....	45
<b>Capítulo 3: Propuesta de instalación de un rompeolas flotante modular .</b>	<b>48</b>
3.1 Concepto general del sistema y componentes principales .....	48
3.2 Criterios de diseño hidráulico y estructural .....	48
3.2.1 Régimen de oleaje y condiciones ambientales de diseño.....	48
3.2.2 Principios de disipación de energía y coeficiente de transmisión (Kt) .....	49
3.2.3 Cargas hidrodinámicas y fuerzas actuantes.....	49
3.2.4 Diseño estructural y durabilidad .....	49
3.2.5 Comportamiento dinámico y estabilidad .....	49
3.3 Esquema de ubicación propuesto en el Puerto de Manta: Tramo 1 (protección de dársena/atraque pesquero).....	50

3.4 Implementación definitiva del Tramo 1: procedimiento paso a paso .....	51
3.4.1 Estudios previos y preparación del sitio.....	51
3.4.2 Ingeniería de detalle del sistema (módulos, conexiones y fondeo).....	51
3.4.3 Fabricación y control de calidad .....	52
3.4.4 Transporte y posicionamiento en el área de instalación.....	52
3.4.5 Instalación del sistema de anclaje y tendido de líneas .....	52
3.4.6 Conexión e integración de los módulos (cierre del tramo) .....	52
3.4.7 Puesta en servicio, operación y mantenimiento .....	53
3.5 Evaluación de viabilidad técnica y adaptación al Puerto de Manta.....	53
3.5.1 Condiciones oceanográficas y morfodinámicas.....	53
3.5.2 Compatibilidad con batimetría y fondo marino .....	53
3.5.3 Compatibilidad operativa .....	54
3.5.4 Desempeño estructural y durabilidad.....	54
3.5.5 Viabilidad frente a alternativas tradicionales .....	54
Conclusiones .....	55
Recomendaciones .....	56
Bibliografía .....	57
Anexos .....	62
Anexo # 1 Encuesta.....	62

## Índice de figuras

<b>Ilustración 1.</b> Cargo Ejercido.....	35
<b>Ilustración 2.</b> Afectación del puerto por eventos meteorológicos o climáticos extremos.....	36
<b>Ilustración 3.</b> Caracterización del impacto de eventos climáticos en la infraestructura y operaciones portuarias .....	37
<b>Ilustración 4.</b> Evolución de la magnitud de los daños e interrupciones por eventos climáticos .....	38
<b>Ilustración 5.</b> Disponibilidad de información climática y oceanográfica en el puerto.....	39
<b>Ilustración 6.</b> Identificación de tendencias en los datos climáticos y oceanográficos .....	40
<b>Ilustración 7.</b> Necesidad de respuestas de adaptación frente a tendencias climáticas.....	41
<b>Ilustración 8.</b> Existencia de medidas de respuesta ante emergencias climáticas en el puerto	42
<b>Ilustración 9.</b> Análisis de la vulnerabilidad portuaria ante eventos meteorológicos .....	44
<b>Ilustración 10.</b> Realización de estudios o trabajos para identificar medidas de adaptación climática.....	45

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Cargo ejercido .....	34
<b>Tabla 2.</b> Afectación del puerto por eventos meteorológicos o climáticos extremos.....	35
<b>Tabla 3.</b> Evolución de la magnitud de los daños e interrupciones por eventos climático.....	37
<b>Tabla 4.</b> Disponibilidad de información climática y oceanográfica en el puerto.....	38
<b>Tabla 5.</b> Identificación de tendencias en los datos climáticos y oceanográficos .....	40
<b>Tabla 6.</b> Necesidad de respuestas de adaptación frente a tendencias climáticas.....	41
<b>Tabla 7.</b> Existencia de medidas de respuesta ante emergencias climáticas en el puerto.....	42
<b>Tabla 8.</b> Análisis de la vulnerabilidad portuaria ante eventos meteorológicos .....	43
<b>Tabla 9.</b> Realización de estudios o trabajos para identificar medidas de adaptación climática .....	44

## Síntesis

El puerto de Manta, reconocido por su actividad pesquera y su importancia económica local, enfrenta crecientes riesgos asociados al cambio climático; por tanto, el problema de estudio se centra en evaluar la vulnerabilidad de sus infraestructuras y operaciones marítimas y en proponer medidas de adaptación adecuadas. Como objetivo se estableció identificar los efectos climáticos relevantes, evaluar la vulnerabilidad del puerto y proponer la implementación de rompeolas flotantes como medida tecnológica de adaptación para mitigar la energía del oleaje y proteger las zonas de atraque. Para ello se aplicó una metodología mixta, de tipo bibliográfica y de campo, que incluyó revisión de literatura especializada, modelación hidrodinámica, evaluación estructural y recolección de datos mediante encuestas y entrevistas a actores portuarios. Como principal hallazgo se determinó que el puerto de Manta presenta niveles significativos de exposición y vulnerabilidad frente al aumento del nivel del mar y eventos extremos, y que la opción de rompeolas flotantes es técnicamente viable y preferible en determinadas áreas por su adaptabilidad y menor impacto ambiental. En consecuencia, se concluye que la implementación de rompeolas flotantes, acompañada de estudios de diseño detallados, monitoreo oceanográfico y medidas operativas complementarias, constituye una solución técnica y sostenible para fortalecer la resiliencia portuaria y asegurar la continuidad de las operaciones frente a escenarios climáticos futuros.

**Palabras claves:** Cambio climático, Rompeolas flotante, Adaptación tecnológica, Resiliencia portuaria

## Abstract

The port of Manta, recognized for its fishing activity and local economic importance, faces increasing climate-related risks; therefore, the research problem focuses on assessing the vulnerability of its maritime infrastructure and operations and proposing appropriate adaptation measures. The objective was to identify relevant climatic effects, evaluate port vulnerability, and propose the implementation of floating breakwaters as a technological adaptation to reduce wave energy and protect berthing areas. A mixed methodology was applied, combining bibliographic review and field work, including hydrodynamic modelling, structural assessment, and data collection through surveys and stakeholder interviews. The main finding indicates that Manta port exhibits significant exposure and vulnerability to sea level rise and extreme events, and that floating breakwaters are technically viable and advantageous in specific locations due to their adaptability and lower environmental footprint. Consequently, it is concluded that implementing floating breakwaters—together with detailed design studies, oceanographic monitoring, and complementary operational measures—represents a technically sound and sustainable solution to strengthen port resilience and ensure operational continuity under future climate scenarios.

**Keywords:** Climate change, Floating breakwater, Technological adaptation, Port resilience

## Introducción

El cambio climático es uno de los mayores desafíos para las infraestructuras portuarias y costeras en el siglo XXI. El aumento del nivel del mar, el incremento de fenómenos meteorológicos extremos y la variabilidad climática han ampliado enormemente la exposición y vulnerabilidad de las actividades marítimas, especialmente en lugares como la costa ecuatoriana (Dascal y Vargas, 2014). Con esta situación en perspectiva, el puerto de Manta localizado en la provincia de Manabí se manifiesta como un ejemplo paradigmático debido a su interés estratégico y su susceptibilidad a los efectos climáticos.

Las instalaciones portuarias, diseñadas según patrones climáticos de épocas anteriores, ahora deben lidiar con amenazas que ponen a prueba su capacidad para resistir y adaptarse. Eventos como olas intensas, el aumento del nivel del mar y la erosión no solo amenazan la estructura física de estos puertos, sino que también interrumpen las operaciones diarias y comprometen la seguridad en las actividades navieras (IPCC, 2021). Ante esta situación, resulta imprescindible analizar el grado de vulnerabilidad actual y proponer soluciones tecnológicas que garanticen una adaptación eficaz y duradera.

Las estrategias de adaptación tecnológica, como sistemas de seguimiento climático, diseño resiliente de infraestructuras y simulaciones anticipatorias de riesgo, presentan oportunidades para reducir el impacto negativo del cambio climático. Sin embargo, su desarrollo requiere análisis contextualizados que tengan en cuenta la geografía, la socioeconomía y la operatividad del contexto portuario (Sunyer Martín, 2021). Este estudio se propone cuantificar la exposición y vulnerabilidad del puerto de Manta al cambio climático y examinar propuestas tecnológicas que mejoren su capacidad de adapta

## **Planteamiento del problema**

El cambio climático ha agravado los peligros que acechan a las infraestructuras costeras y portuarias, con consecuencias directas en la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de las actividades marítimas. En Ecuador, el puerto de Manta —uno de los más relevantes del país gracias a su posición estratégica en el Pacífico Sur— está particularmente vulnerable a eventos como el ascenso del nivel del mar, la erosión de las costas, las olas fuertes y las precipitaciones intensas, que ponen en jaque su operatividad y su capacidad para resistir (IPCC, 2021).

Aunque hay cada vez más pruebas científicas sobre cómo el cambio climático afecta las áreas costeras, las acciones de adaptación en los puertos suelen ser improvisadas, desconectadas o con un uso limitado de tecnología (Sunyer Martín, 2021). Esto reduce la habilidad para enfrentar fenómenos extremos, afecta la continuidad de las operaciones, pone en riesgo la seguridad del personal y compromete la protección de los recursos y servicios logísticos. En el puerto de Manta, específicamente, la carencia de un análisis exhaustivo de su vulnerabilidad y de planes tecnológicos para adaptarse representa un vacío importante en la planificación tanto territorial como marítima.

La falta de herramientas tecnológicas apropiadas —tales como sistemas para monitorear el clima en tiempo real, modelos para prever riesgos, construcciones más resistentes y protocolos automáticos de emergencia— complica la adopción de decisiones basadas en datos y la prevención de amenazas. A esto se suma la débil coordinación entre instituciones, expertos técnicos y comunidades locales, lo que intensifica la fragilidad estructural y funcional del puerto ante posibles escenarios climáticos venideros (Dascal y Vargas, 2014).

Por eso, surge la urgencia de realizar una evaluación completa de la vulnerabilidad del puerto de Manta frente al cambio climático, detectando los elementos clave que impactan sus operaciones e instalaciones, y sugiriendo enfoques tecnológicos que refuercen su resiliencia. Este estudio pretende aportar al desarrollo de políticas públicas y prácticas portuarias más sostenibles, en sintonía con los conceptos de adaptación al clima y el progreso territorial.

### **Problema de la investigación**

¿Cómo reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones marítimas de los puertos ante los efectos del cambio climático?

**Objeto de la investigación**

Estado de la infraestructura y operaciones marítimas de los puertos

**Campo de acción**

El campo de acción se centra efectos del cambio climático sobre la infraestructura y operaciones marítimas de los puertos

**Hipótesis**

Una propuesta de estrategias tecnológicas de adaptación al cambio climático puede reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones marítimas del puerto de Manta, Manabí, Ecuador.

**Objetivo general**

Proponer estrategias tecnológicas de adaptación al cambio climático para la reducción de la vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones marítimas del puerto de Manta, Manabí, Ecuador.

**Variables**

Variables Independientes: Implementación de estrategias tecnológicas de adaptación al cambio climático

Variable Dependiente: Vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones marítimas del puerto de Manta.

**Objetivos específicos**

1. Identificar los principales efectos del cambio climático que impactan la infraestructura y operaciones marítimas en puertos a partir del análisis de la literatura.
2. Evaluar la vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones actuales en el puerto de Manta ante los efectos del cambio climático
3. Modelar las estrategias tecnológicas de adaptación al cambio climático que reduzcan la vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones marítimas del puerto de Manta, Manabí, Ecuador.

La contribución práctica del trabajo radica en la propuesta de instalación de un rompeolas flotante modular la cual constituye una medida tecnológica avanzada para la protección de la infraestructura portuaria frente al impacto de marejadas extremas y al aumento progresivo del nivel del mar. Estas estructuras permiten disipar parcialmente la energía del oleaje antes de que alcance muelles, plataformas y equipos críticos, reduciendo las cargas hidrodinámicas sobre la infraestructura existente y mejorando la continuidad operativa del puerto.

## **Capítulo 1: Introducción y Contexto General**

### **1.1: Conceptos y Causas del Cambio Climático**

#### **1.1.1 Concepto de cambio climático**

El cambio climático se refiere a la variación significativa y sostenida de los patrones climáticos globales o regionales durante períodos prolongados, generalmente décadas o siglos. Estos cambios pueden manifestarse en la temperatura media del planeta, la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, los patrones de precipitación y la dinámica de los océanos (Masson-Delmotte y Zhai, 2021).

En términos científicos, el cambio climático se mide a través de indicadores como el aumento de la temperatura global promedio, la reducción de la extensión de los glaciares y casquetes polares, la elevación del nivel del mar, y la alteración en la distribución de especies vegetales y animales (Alvar-Beltrán, 2023).

#### **1.1.2 Diferencia entre cambio climático y calentamiento global**

Es importante diferenciar entre cambio climático y calentamiento global, términos que a menudo se utilizan de manera intercambiable. El calentamiento global hace referencia al aumento sostenido de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos debido a la acumulación de gases de efecto invernadero (Masson-Delmotte y Zhai, 2021).

El cambio climático, por su parte, es un concepto más amplio que incluye no solo el calentamiento, sino también otros cambios relacionados, como modificaciones en los patrones de precipitación, el incremento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (huracanes, tormentas, sequías) y la acidificación de los océanos (NASA, 2023).

#### **1.1.3 Causas naturales del cambio climático**

Históricamente, el clima de la Tierra ha experimentado variaciones debido a causas naturales, como los cambios en la órbita terrestre, la actividad solar y las erupciones volcánicas. Estos factores alteran la cantidad de energía solar que recibe la Tierra o afectan la composición de la atmósfera, influyendo en la temperatura global y los patrones climáticos (Shuai et al., 2016).

Variaciones orbitales: Los ciclos de Milankovitch, que incluyen cambios en la excentricidad, inclinación y precesión del eje terrestre, alteran la distribución de la radiación solar sobre la superficie del planeta, generando períodos de glaciaciones e interglaciaciones.

Actividad solar: Las variaciones en la intensidad de la radiación solar, a veces cíclicas, afectan el balance energético de la Tierra y pueden inducir cambios en la temperatura global.

Erupciones volcánicas: Las erupciones expulsan grandes cantidades de aerosoles y dióxido de azufre a la atmósfera, reduciendo temporalmente la radiación solar que llega a la superficie y causando enfriamientos transitorios.

Si bien estas causas naturales han modificado el clima a lo largo de la historia, el ritmo y la magnitud del cambio climático actual superan con creces los cambios ocurridos por causas naturales en los últimos miles de años (Masson-Delmotte y Zhai, 2021).

#### **1.1.4 Causas antropogénicas del cambio climático**

La principal diferencia del cambio climático contemporáneo es su origen antropogénico, es decir, generado por actividades humanas. La Revolución Industrial marcó el inicio de un aumento significativo en las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables de retener el calor en la atmósfera y alterar el balance energético terrestre. Entre las principales causas humanas se encuentran:

Emisión de gases de efecto invernadero:

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): Proveniente de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y la deforestación.

Metano (CH<sub>4</sub>): Liberado por la ganadería, la gestión de residuos orgánicos y la producción de combustibles fósiles.

Óxidos de nitrógeno (N<sub>2</sub>O): Asociados a la agricultura intensiva y el uso de fertilizantes sintéticos.

Deforestación y cambio de uso de la tierra: La tala de bosques reduce la capacidad de los ecosistemas de absorber CO<sub>2</sub> y altera el ciclo hidrológico, contribuyendo al aumento de la temperatura global.

Industrialización y urbanización: La expansión de áreas urbanas genera el efecto de isla de calor, incrementando la temperatura local y modificando patrones climáticos regionales.

Transporte y consumo energético: El uso intensivo de vehículos motorizados y la dependencia de combustibles fósiles generan grandes cantidades de GEI, acelerando el calentamiento global (Pierre et al., 2022) .

Delmotte y Panmao (2021) concluye que más del 95% del calentamiento observado desde mediados del siglo XX es atribuible a actividades humanas, evidenciando la magnitud del impacto antropogénico sobre el clima global.

### **1.1.5 Interacción entre causas naturales y antropogénicas**

Aunque el cambio climático actual tiene un origen humano predominante, los factores naturales siguen influyendo en la dinámica climática. Por ejemplo, las erupciones volcánicas pueden causar enfriamientos temporales, mientras que la actividad solar puede amplificar o atenuar los efectos del calentamiento antropogénico. La interacción entre causas naturales y humanas genera un sistema complejo donde la predicción de fenómenos extremos y la evaluación de riesgos requieren modelos climáticos sofisticados (Lily K et al., 2020).

### **1.1.6 Consecuencias de no atender las causas del cambio climático**

La inacción frente a las causas del cambio climático puede tener repercusiones graves, incluyendo:

Incremento del nivel del mar, con inundación de áreas costeras y afectación de infraestructura portuaria y marítima.

Mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, sequías e incendios forestales.

Alteraciones en los ecosistemas y pérdida de biodiversidad.

Riesgos para la salud humana debido a olas de calor, enfermedades transmitidas por vectores y contaminación del aire (Pachauri y Meyer, 2014).

## **1.2. Efectos del cambio climático en las actividades marítimas**

El cambio climático está teniendo un gran impacto en el transporte marítimo. Entre los mayores impactos se encuentran los riesgos físicos hacia la infraestructura portuaria, las alteraciones de las rutas y operaciones marítimas, el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el riesgo para la seguridad y deterioro de los ecosistemas marinos que tanto

afectan a la industria. La demanda de un puerto se ve fuertemente influida por las condiciones climáticas, y esto puede verse potenciado por la vulnerabilidad de sus instalaciones a causa de los fenómenos meteorológicos extremos. Esto podría comprometer la fiabilidad y operatividad del puerto, lo que puede desviar las operaciones a puertos alternativos (Ribeiro et al., 2023).

Ciertos eventos meteorológicos extremos tienen el potencial de cerrar los puertos, paralizando a las cadenas de suministro y, a su vez, al comercio mundial. Con daños económicos anuales que superan los 10 mil millones de dólares, tenemos ejemplos como cuando el huracán Katrina azotó en 2005 y el puerto de Nueva Orleans se mantuvo cerrado durante casi cuatro meses (Koks et al., 2020).

En la investigación llevada a cabo por Verschuur J et al., (2023) se calcularon los días de inactividad al año causados por el riesgo de paradas operativas, a partir de dos factores clave: los cortes de suministro por el clima y el tiempo necesario para reconstruir la infraestructura portuaria en caso de ser dañada por ciclones, mareas de temporal, crecidas o lluvias abundantes. Esta investigación proporciona un exhaustivo vistazo a los 1.320 puertos más grandes del mundo, se analiza la vulnerabilidad de cada uno de ellos a medida que el cambio climático se acelera.

El estudio identificó que el clima genera un coste global de cerca de 1,4 días de inactividad al año por puerto. Sin embargo, el 5% de los 1.320 puertos analizados registran más de 5 días de inactividad cada año, demostrando casi con toda certeza que aún hay un extenso territorio expuesto a riesgos climáticos agravados. Estos resultados subrayan las grandes diferencias de resiliencia de las distintas infraestructuras.

Se estima que las pérdidas atribuibles a las interrupciones ascienden a 122 000 millones de dólares al año, provocando así no solo el eslabón más débil de la cadena, sino también el riesgo extremo que supone el impacto de los riesgos cibernéticos. Pueden no solo dejar a las compañías sin operar, sino que, incluso, llegan a poner en peligro una economía a nivel nacional (Verschuur et al., 2023).

La demanda de un puerto se ve en gran parte limitada por las condiciones climáticas y esta puede encontrarse influenciada por qué tan vulnerable son sus instalaciones ante eventos meteorológicos de carácter extremo. Estos factores pueden disminuir la confiabilidad y operatividad del puerto, lo que podría provocar un cambio en la operaciones desviándose hacia otros puertos (Ribeiro et al., 2023).

### 1.1.3 Proyecciones futuras del cambio climático

Las proyecciones futuras del cambio climático muestran que, si no se adoptan medidas efectivas de mitigación y adaptación, los impactos observados en las últimas décadas se intensificarán de manera significativa. Según Masson-Delmotte y Panmao (2021), las tendencias actuales de emisiones de gases de efecto invernadero podrían elevar la temperatura global promedio entre 1,5 °C y 4,5 °C para finales de este siglo, dependiendo del escenario de emisiones considerado.

#### Aumento del nivel del mar

Se espera que el nivel del mar continúe aumentando de manera acelerada, afectando directamente a las zonas costeras bajas, islas y puertos marítimos. Las proyecciones indican que, para 2100, el nivel del mar podría incrementarse entre 0,43 y 0,84 m en escenarios de emisiones altas, y entre 0,29 y 0,59 m si se logran reducciones significativas de emisiones (Masson-Delmotte y Zhai, 2021). Este aumento elevará la frecuencia de inundaciones costeras, la erosión y la pérdida de hábitats críticos, amenazando tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas marinos.

#### Intensificación de fenómenos meteorológicos extremos

La frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos también se proyecta que aumente en las próximas décadas. Los huracanes, tormentas tropicales, olas de calor y lluvias intensas podrían volverse más comunes y severos, debido al incremento de la temperatura de los océanos y la atmósfera (Kossin et al., 2020). Se espera que los huracanes más intensos (categoría 4 y 5) aumenten en número y que las precipitaciones extremas se intensifiquen, provocando inundaciones y deslizamientos con mayor frecuencia y magnitud.

#### Impactos socioambientales esperados

Las proyecciones también indican que los impactos sociales y ambientales se volverán más severos. Se estima que millones de personas podrían verse desplazadas por inundaciones costeras y eventos extremos, especialmente en regiones vulnerables como el sudeste asiático, el Caribe y América Latina (Masson-Delmotte y Zhai, 2021). La agricultura y la pesca podrían sufrir pérdidas significativas debido a sequías más frecuentes, olas de calor y cambios en los patrones de precipitación, afectando la seguridad alimentaria global.

#### Importancia de la mitigación y adaptación

Frente a este panorama, la acción inmediata es crucial. Las estrategias de mitigación, como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, el uso de energías renovables y la reforestación, son fundamentales para limitar el calentamiento global. Simultáneamente, las medidas de adaptación, que incluyen planificación urbana resiliente, infraestructura costera protegida y sistemas de alerta temprana, permitirán reducir la vulnerabilidad de las poblaciones y ecosistemas ante los impactos inevitables (Alvar-Beltrán, 2023).

En conclusión, las proyecciones futuras subrayan la urgencia de implementar políticas globales y locales que combinen mitigación y adaptación, con el fin de limitar los efectos adversos del cambio climático y garantizar la sostenibilidad ambiental y social del planeta.

### **1.2.2 Erosión costera y aumento del nivel del mar: Amenazas para infraestructuras**

La erosión costera junto con el aumento del nivel del mar son dos de los efectos negativos que puede acarrear consigo o llegar a acelerar el cambio climático y que pueden llegar a ser un riesgo importante para las infraestructuras que se ubican en las zonas costeras como muelles, terminales de contenedores o astilleros.

La erosión costera es un fenómeno que existe desde tiempos inmemoriales. Se define como la pérdida de material debido al avance progresivo del mar a lo largo de la costa. Varios son los fenómenos causantes de esta pérdida de terreno costero, pero en general se destaca el aumento en la altura del océano y una aceleración en el transporte de arena desde las playas hacia los océanos por olas cada vez de mayor potencia (Gor Ngom et al., 2023).

Casi todos los estados costeros tienen que enfrentar el problema de la erosión costera. La erosión y la acumulación costeras siempre han existido y han contribuido a la formación de las costas actuales. Sin embargo, hoy en día, la erosión costera se ha intensificado en gran medida debido a las actividades humanas. Actualmente, se estima que el área costera total perdida en Europa (incluyendo viviendas y edificios) debido a la erosión marina es de aproximadamente 15 km<sup>2</sup> por año. El costo anual de las medidas de mitigación se calcula en alrededor de 3 mil millones de euros al año según el Estudio EUROSION, Comisión Europea, (2004), una cifra que no es aceptable.

La amenaza de erosión en Libertador Bolívar, Ecuador, es alta (45%), media (46%) y baja (9%), números que representan un riesgo para las comunidades costeras y hacen ver como

necesario la toma de medidas preventivas ante posibles inconvenientes de mayor envergadura a futuro (Nativí-Merchán et al., 2021).

Un daño directo de la erosión en las costas ecuatorianas lo podemos evidenciar en La Base Naval de Jaramijó (BASJAR) muestra graves daños por la erosión costera, donde se observan estructuras como muelles colapsados y muros de concreto desprendidos de sus bases debido al socavamiento causado por el aumento del nivel del mar. En esta zona costera exceptuando el muelle artesanal no se han implementado obras de protección como espigones u otras estructuras que mitiguen el impacto de la dinámica marina, situación que ha acelerado en gran medida el deterioro del litoral e incrementado la vulnerabilidad de las instalaciones ante la implacable fuerza erosiva de las olas (Quiñonez-Macías et al., 2017).

Estudios realizados sobre los acantilados costeros de Ecuador señalan que estos están experimentando una rápida erosión, con tasas de retroceso de los acantilados que se llegan a medir entre los 1,1 y 2,4 metros por año en áreas como Jaramijó. Esta alta tasa de erosión es alarmante e indica una amenaza de altas magnitudes para la estabilidad y la seguridad costera (Quiñonez-Macías et al., 2017).

En la zona de Esmeraldas a partir de unos estudios realizados entre 1989 y 1999 se indicó que el borde del acantilado se está retirando a un ritmo de aproximadamente 1 metro por año. Esto se evaluó mediante mapas topográficos nacionales y fotografías aéreas, lo que demuestra una clara tendencia de erosión a lo largo del tiempo (Federici y Rodolfi, 2001).

Un segundo peligro también relacionado con la erosión a las infraestructuras costeras, es el elevado del nivel del mar, ya que causa una aceleración del proceso de erosión de la costa, principalmente debido al aumento del desplazamiento de la línea en el interior de la tierra, poniendo en peligro las infraestructuras y ecosistemas de las comunidades costeras. Además, la erosión y la redistribución de los sedimentos pueden afectar a niveles locales.

Atendiendo a estudios realizados en la costa este de EE. UU estos sugieren que los cambios en el litoral provocados por la dinámica de canales marinos y proyectos de ingeniería costera suelen ser más significativos que los efectos del ascenso marino, llegando a enmascarar su impacto incluso durante períodos prolongados. Esto sugiere que, aunque el aumento del nivel del mar actúa como un factor secundario en la erosión playera, su efecto es uno constante que se acumula como una gran marea cuando las fuerzas atrás y adelante son desequilibradas. Si bien la relación exacta entre ambos fenómenos requiere más estudios, es probable que el

agua más alta haya permitido que las olas de energía penetren más en la playa, redistribuyendo la arena hacia zonas marinas más profundas (Leatherman et al., 2000).

Por otro lado, las anomalías del nivel del mar, que se definen como aumentos temporales del nivel del agua debido a factores meteorológicos y oceanográficos, puede agravar la erosión costera en gran escala. Las anomalías del nivel del mar pueden causar tasas de erosión comparables o incluso mayores que los huracanes no anómalos (Theuerkauf et al., 2014).

El aumento en el nivel del mar, que es una consecuencia inevitable del calentamiento global, también representa una amenaza para las instalaciones portuarias tradicionales. Con el tiempo, las infraestructuras portuarias convencionales pueden verse continuamente inundadas debido a este fenómeno, lo que puede prevenir su uso a largo plazo. Si bien la elevación del océano funciona como un indicador de presión para una serie de otros elementos intemperizados, su carácter inevitable y de ritmo lento, lo que lo hace irresistible, señala la necesidad inminente de volver a evaluar los diseños portuarios y las estrategias de adaptación costera (Kurt, 2024).

Según Savonis et al., (2008) el aumento del nivel del mar es un riesgo significativo para las infraestructuras portuarias, ya que dentro de las consecuencias que este puede provocar tenemos las inundaciones que pueden llegar a dañar no solo los muelles y terminales, sino también las zonas de almacenamiento, los sistemas de transporte vinculados a los puertos e incluso la mercancía almacenada. La magnitud de estos daños podría inutilizar las instalaciones críticas, cortando así las cadenas de suministro y el transporte marítimo, con consecuencias económicas y logísticas.

Los estudios proyectan que Ecuador podría sufrir un incremento en el nivel medio del mar y una reducción en el pH oceánico tanto a corto como a largo plazo, fenómenos que tendrán un impacto significativo en la biodiversidad marina y a su vez en los sistemas socioeconómicos del país (Winckler et al., 2024).

### **1.2.3 Alteraciones en los patrones de navegación y comercio marítimo**

Es inevitable percatarse del efecto de carácter negativo que representa el cambio climático en los patrones de navegación y comercio marítimo dado que este trae consigo una periodicidad mayor en las tormentas o situaciones climáticas adversas, eventos que provocan cambios en las rutas marítimas con la finalidad de evitar accidentes que puedan resultar tanto

pérdidas económicas como humanas, estas tormentas y eventos climáticos no solo tiene un impacto en las rutas marítimas sino que también afectan al funcionamiento de puertos los cuales se enfrentan a largos periodos de inactividad al verse asediados por estos escenarios.

Datos recientes muestran un aumento en el número de eventos extremos y la variabilidad en el Ártico – estos factores pueden afectar la estabilidad y maniobrabilidad de los barcos, suponiendo un riesgo para la seguridad en el mar. Estas anomalías son consideradas como ocurrencias de condiciones climáticas o meteorológicas inusualmente severas, que los científicos no siempre son capaces de pronosticar con precisión (Ekaterina, 2021).

El número de eventos meteorológicos extremos está aumentando en el Norte. Estos cambios están afectando al transporte marítimo en el Ártico en distintos aspectos, dentro de estos aspectos tenemos el aumento del riesgo para la navegación. Las bajas presiones centrales de las tormentas que avanzan en dirección a los polos, que están aumentando en número, pueden repercutir en mayores velocidades del viento y alturas extremas de olas en las regiones polares, con un aumento asociado en la formación de hielo por rocío marino en los buques (PIANC, 2023). Por ejemplo, esta fue la razón por la cual el buque pesquero Onega volcó en el Mar de Barents en diciembre de 2020, después de un período de condiciones extremas de formación de hielo por rocío marino (Müller et al., 2023).

A su vez los patrones de los buques pesqueros están cambiando a medida que se adaptan a las nuevas condiciones. Por ejemplo, la actividad pesquera se concentra cada vez más en zonas donde la capa de hielo marino está por debajo del 20%. Este cambio está influenciado por la migración hacia el norte de especies de peces como el bacalao, que está vinculada a los cambios en la temperatura del océano (Stocker et al., 2020).

### **1.3. Justificación de la necesidad de adaptación tecnológica en puertos**

Luego de analizar el sin número de posibles complicaciones en el sector marítimo que surgen de la problemática del cambio climático, se hace más que evidente la necesidad de ir planteados planes tecnológicos con tal de mitigar o anticipar estos problemas.

La alta complejidad de los riesgos climáticos genera grandes dificultades para desarrollar una solución universal que sirva para adaptar la infraestructura portuaria. Aunque parece haber datos científicos y técnicos suficientes disponibles en la industria para que los ingenieros de diseño evalúen los riesgos climáticos en la infraestructura portuaria, actualmente no existe en el sector marítimo un enfoque o metodología integral para evaluar e incorporar

estos riesgos en la adaptación portuaria. Estas decisiones críticas suelen dejarse al criterio individual, lo que da lugar a iniciativas que, en la mayoría de los casos, están fragmentadas, son incoherentes y están mal coordinadas, con resultados no deseados (Mutombo y Ölçer, 2016). Analizando la reflexión de Mutombo y Ölçer podemos observar que existen las intenciones de contrarrestar las problemáticas que pueden aparecer en el sector marítimo como consecuencia del cambio climático, solo que estas intenciones no se llegan a concretar de manera efectiva debido a la falta de enfoque a nivel mundial sobre esta situación.

Generalmente hay un enfoque más orientado hacia los agentes responsables del cambio climático como pueden ser las acciones para reducir los gases de efecto invernadero, en vez de plantear medidas de protección sobre la industria marítima con un efecto más inmediato, situación remarcada por Becker et al. (2012) al comentar que los puertos cambian su enfoque hacia la mitigación ambiental en lugar de buscar alternativas para la adaptación climática. Esta situación es en parte respaldada en que para los puertos es más fácil lograr y promocionar la mitigación porque pueden medirla y rastrearla. Por ejemplo, los puertos pueden rastrear las emisiones de gases de efecto invernadero por categorías como el uso de energía, equipos de transporte y uso de agua para los sectores de operaciones portuarias, arrendatarios marítimos y arrendatarios no marítimos (Hooven C et al., 2011), por lo cual existe un descuido y una falta de enfoque en medidas preventivas, dejando en un punto altamente vulnerable frente a las adversidades climáticas a las instalaciones portuarias.

Tomando la iniciativa en la ejecución de medidas para la mitigación y adaptación climática encontramos el Puerto de San Diego, mismo que inició el desarrollo de un Plan de Mitigación y Adaptación Climática, pese a la nula existencia de directrices estatales o federales para que los puertos acojan estas estrategias en los Estados Unidos. La planificación estuvo centrada en la evaluación de las áreas en estado vulnerable dentro de la jurisdicción de terrenos ganados al mar en el puerto que podrían exigir tácticas de adaptación para mantenerse operativas ante futuros escenarios de elevación del nivel del mar. El puerto de San Diego encabezó una iniciativa de planificación conjunta con partes interesadas dentro del puerto y con partes interesadas externas al puerto como pueden ser agencias locales o estatales, funcionarios de la ciudad e investigadores académicos con la intención de con la finalidad de formular una metodología de evaluación para estudiar la vulnerabilidad y darle prioridad a las áreas de riesgo en la propiedad del puerto (Becker et al., 2013). El equipo del proyecto llevó a cabo una evaluación de vulnerabilidad para exponer áreas inundadas de la propiedad del puerto bajo dos escenarios futuros de aumento del nivel del mar (por ejemplo, 0.5 m para 2059 y 1.5 m para

2100) y los impactos potenciales en los recursos contenidos en estas áreas (Hooven C et al., 2011). El paso posterior consistió en desarrollar una métrica de riesgo para diferentes categorías y así alcanzar un consenso sobre los insumos de la métrica para completar el análisis. Debido a las complicaciones en lograr mediadas adaptativas entre los diversos agentes vinculados al puerto, redirigió su enfoque de la adaptación hacia la conservación de recursos, reducción de residuos y prevención de la contaminación ( (Messner et al., 2013); (Ng et al., 2018)). El Puerto de San Diego adoptó un Plan de Acción Climática en 2013, con una perspectiva de futuro de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ([www.portofsandiego.org](http://www.portofsandiego.org)). Si bien las acciones de reducción de residuos no se pueden considerar como acciones directas de la adaptación climática, las acciones reflejan una creciente orientación hacia la sostenibilidad energética, lo que podría contribuir a la reducción de los impactos del cambio climático a largo plazo, siempre que los puertos de todo el mundo participen. Pese a los grandes esfuerzos de un amplio número de puertos en la reducción de residuos y la prevención de la contaminación no son una totalidad los que acogen estas medidas y por ende las consecuencias adversas ocasionadas por el cambio climático siguen en aumento. Analizando lo acontecido con el plan de adaptación climática del puerto de San Diego podemos evidenciar la falta de contundencia a la hora de la realización de este, situación que desembocó que el plan no se llegara a consolidar y terminara transformándose en un plan de acción climática, manteniéndose las instalaciones del puerto en el mismo estado de vulnerabilidad frente a la persistente inacción. Este ejemplo demuestra la falta de contundencia en la toma de medidas que minimicen la vulnerabilidad de las instalaciones portuarias y a su vez la trivialización del tema.

### **1.3.1. Limitaciones de las infraestructuras portuarias tradicionales frente al cambio climático**

Las infraestructuras portuarias tradicionales, creadas bajo condiciones climáticas históricas, en la actualidad abordan una serie de desafíos relacionados directamente con el cambio climático. Muchas de estas estructuras fueron construidas hace décadas, por lo que su concepción no tomó en cuenta condiciones como el aumento sostenido del nivel del mar, la intensificación de fenómenos meteorológicos ni las variaciones de los patrones de oleaje y mareas. En consecuencia, los daños estructurales, interrupciones operativas y pérdidas económicas son cada vez un problema más cotidiano.

De acuerdo al estudio de (Ribeiro et al., 2023), los puertos que se encuentran ubicados en zonas costeras bajas se ven susceptibles a inundaciones por marejadas ciclónicas, agravadas

debido al aumento del nivel medio del mar. Esto no solo implica daños directos a la infraestructura sino también a la fiabilidad y eficiencia de las operaciones portuarias, las cuales son fundamentales tanto para el comercio como para la economía regional.

Un desafío para la adaptación al cambio climático en los puertos se encuentra en la disponibilidad limitada de información sobre el cambio climático específica a nivel local. En la mayor parte de las regiones costeras, los administradores y operadores portuarios se encuentran con complicaciones con las proyecciones globales del aumento del nivel del mar y con la reducción de escala de la magnitud a nivel local del cambio climático global (Becker et al., 2012). Los profesionales portuarios presentan una necesidad de información científica y técnica de mayor alcance relacionada con los impactos locales que se prevén del aumento proyectado del nivel del mar y de los eventos de marejadas ciclónicas

Para proyectos de inversión de capital en puertos, ingenieros y administradores suelen utilizar plazos relativamente cortos (Becker et al., 2012); (Morris, 2017), por lo que estos proyectos no tendrán en cuenta los posibles impactos del cambio climático que repercutirán en el futuro. Los proyectos de desarrollo portuario generalmente implican la construcción de nuevos muelles y terminales o la adquisición de nuevos terrenos. Aunque la infraestructura portuaria tiene una vida útil de diseño de treinta a cincuenta años, los proyectos de mejora de capital o los ciclos de planificación son de cinco a diez años (Becker et al., 2012). En una encuesta realizada a veintiún puertos canadienses, quince reportaron un horizonte de planificación de menos de diez años (Ng et al., 2018). Dejando así una planificación nula ante eventualidades a muy largo plazo donde entran las consecuencias del cambio climático.

### **1.3.2. Beneficios de la implementación de medidas adaptativas y resilientes**

La implementación de medidas adaptativas y resilientes en el ámbito portuario y marítimo ofrece múltiples beneficios que abarcan dimensiones operativas, económicas, sociales y ambientales. Estas acciones, que incluyen desde la construcción de infraestructuras más resistentes hasta la incorporación de tecnologías inteligentes de monitoreo, constituyen una herramienta clave para garantizar la sostenibilidad y competitividad de los puertos frente a los crecientes desafíos climáticos.

#### **Reducción de riesgos e interrupciones operativas**

Uno de los principales beneficios es la disminución de las interrupciones en la cadena logística ocasionadas por fenómenos meteorológicos extremos. La construcción de diques,

rompeolas y barreras móviles, junto con la elevación de muelles y plataformas, reduce la vulnerabilidad frente a inundaciones costeras y marejadas. Estas medidas permiten asegurar la continuidad de las operaciones portuarias, evitando pérdidas económicas derivadas de retrasos en la carga y descarga, así como en el transporte marítimo internacional (Becker et al., 2018).

La resiliencia operacional también se ve reforzada mediante sistemas de alerta temprana y monitoreo climático, que permiten a las autoridades portuarias anticipar tormentas o eventos extremos, ajustando itinerarios y protocolos de seguridad. Esto se traduce en menores daños materiales y en la reducción de accidentes que afectan tanto a la infraestructura como a la tripulación y mercancías.

#### Beneficios económicos y competitividad

Las medidas adaptativas generan beneficios económicos al proteger inversiones a largo plazo en infraestructura portuaria. Los puertos representan activos estratégicos de alto costo, y su exposición al cambio climático implica riesgos financieros significativos. Invertir en infraestructuras resilientes reduce la probabilidad de daños catastróficos y disminuye los gastos de reparación y reconstrucción posteriores a desastres naturales.

Adicionalmente, la implementación de prácticas sostenibles y resilientes mejora la competitividad internacional de los puertos. En un mercado globalizado, donde las cadenas logísticas demandan eficiencia y confiabilidad, aquellos puertos capaces de operar bajo condiciones climáticas adversas tienen una ventaja estratégica. Las empresas navieras y logísticas tenderán a priorizar puertos seguros y confiables, consolidando su posición como nodos clave del comercio global (UNCTAD, 2020).

#### Beneficios sociales y de seguridad

La resiliencia portuaria no solo beneficia a las operaciones marítimas, sino que también tiene un impacto positivo en las comunidades costeras. La implementación de infraestructuras que actúan como barreras frente al aumento del nivel del mar y tormentas protege viviendas, comercios y medios de vida cercanos a los puertos. Esto contribuye a la reducción de riesgos para la población local, garantizando seguridad física y estabilidad socioeconómica.

Asimismo, los planes de adaptación promueven la creación de empleo local en actividades vinculadas a la construcción, mantenimiento y modernización de infraestructuras portuarias. De igual forma, la capacitación en gestión de riesgos climáticos fortalece el capital humano y mejora la preparación de las comunidades y trabajadores frente a emergencias.

## Beneficios ambientales y sostenibilidad

El diseño e implementación de medidas resilientes generan beneficios ambientales significativos. Por ejemplo, el uso de soluciones basadas en la naturaleza, como la restauración de manglares, dunas o arrecifes artificiales, no solo actúa como defensa costera natural, sino que también mejora la biodiversidad local, reduce la erosión y contribuye a la captura de carbono (Becker et al., 2018).

De igual manera, la transición hacia sistemas energéticos sostenibles en puertos —como el uso de energías renovables para el suministro eléctrico y la electrificación de muelles— disminuye la huella de carbono del sector marítimo. Estas prácticas alinean a los puertos con las metas globales de mitigación del cambio climático, a la vez que refuerzan su imagen de responsabilidad ambiental ante socios comerciales e inversionistas internacionales.

### Fortalecimiento de la gobernanza y cooperación internacional

Otro beneficio relevante es el fortalecimiento de la gobernanza portuaria y la cooperación internacional. La necesidad de enfrentar los desafíos climáticos impulsa a las autoridades portuarias a desarrollar marcos normativos más robustos, estrategias integradas de adaptación y planes de emergencia coordinados. Esto fomenta la colaboración entre puertos de diferentes países, así como con organismos internacionales, generando redes de conocimiento y transferencia tecnológica (OECD, 2022).

La cooperación también permite acceder a financiamiento internacional destinado a proyectos de adaptación climática, reduciendo la carga económica para los gobiernos y garantizando la implementación de medidas innovadoras y de gran escala.

## **Capítulo 2: Estudio de campo, análisis e interpretación de resultados.**

### **2.1. Método de investigación**

#### **2.1.1. Método descriptivo**

El método descriptivo se orienta a la caracterización detallada del objeto de estudio, permitiendo identificar sus principales rasgos, variables y comportamientos relevantes. De acuerdo con (Velásquez, 2018), este tipo de estudios se centra en la descripción sistemática de los elementos que conforman un fenómeno determinado, sin alterar su naturaleza.

En la presente investigación, este método facilitará la descripción de las condiciones actuales de la infraestructura y las operaciones marítimas frente a los efectos del cambio climático. A través de este enfoque, se podrán identificar los factores que inciden en la vulnerabilidad del sistema marítimo–portuario, así como sus posibles consecuencias, apoyándose en el análisis comparativo de distintos enfoques teóricos y estudios previos relacionados con la temática.

#### **2.1.2. Método analítico**

El método analítico permite examinar un fenómeno de manera fragmentada, con el fin de comprender cada uno de sus componentes y establecer relaciones entre ellos para una interpretación integral. Rodríguez y Pérez (2017) sostienen que este método parte de la descomposición del todo en partes, lo que facilita un análisis profundo antes de realizar una integración explicativa.

En este estudio, el método analítico será aplicado para evaluar de forma crítica la información recopilada en fuentes bibliográficas y documentales, lo que permitirá comprender las causas que originan la vulnerabilidad de las infraestructuras y operaciones marítimas ante el cambio climático. Este proceso de análisis, que avanza de lo general a lo específico, contribuirá a la formulación de conclusiones fundamentadas y al planteamiento de estrategias de adaptación tecnológica.

## **2.2. Tipo de investigación**

### **2.2.1. Investigación bibliográfica**

La investigación bibliográfica se basa en la recopilación y análisis de información proveniente de fuentes secundarias, tales como libros, artículos científicos, informes técnicos y documentos especializados. Según Serrano (2015), este tipo de investigación implica una revisión crítica y sistemática del material disponible en centros de información, con el objetivo de sustentar teóricamente un estudio.

En el marco de esta investigación, la revisión bibliográfica permitirá construir el sustento teórico relacionado con el cambio climático, la resiliencia de las infraestructuras marítimas y las estrategias de adaptación aplicables al sector portuario. Asimismo, facilitará la comparación de diferentes enfoques y experiencias documentadas, fortaleciendo el desarrollo conceptual y metodológico del trabajo de titulación.

### **2.2.2. Investigación de campo**

La investigación de campo se orienta a la obtención de información directa en el contexto donde se desarrolla el fenómeno analizado, lo que permite contrastar los planteamientos teóricos con la realidad observada. Padawer y Campanini (2016) señalan que este enfoque implica un proceso sistemático de registro, análisis y reformulación de supuestos iniciales a partir de la evidencia recopilada. De manera complementaria, Campos (2017) indica que la investigación de campo requiere la interacción directa del investigador con su objeto de estudio, ya sea en entornos sociales o naturales, con el fin de acceder a información primaria y pertinente.

En la presente investigación, este tipo de estudio permitirá comprender la problemática desde el escenario real en el que se manifiesta, favoreciendo la identificación de las causas y efectos asociados a la vulnerabilidad de la infraestructura y las operaciones marítimas frente al cambio climático. El área de estudio se localiza en la ciudad de Manta, y la población estará conformada por trabajadores del puerto y actores vinculados a actividades afines al sector marítimo-portuario. La recopilación de datos en campo contribuirá a obtener resultados con mayor nivel de confiabilidad, permitiendo analizar la percepción, experiencia y conocimiento de los participantes respecto a los riesgos climáticos y la necesidad de implementar estrategias de adaptación y resiliencia en el entorno portuario.

### 2.3. Población y muestra

La presente investigación tiene como propósito analizar la vulnerabilidad de la infraestructura y las operaciones marítimas frente al cambio climático, así como la necesidad de implementar estrategias de adaptación tecnológica en el entorno portuario. Para ello, la población de estudio estará conformada por trabajadores del puerto de la ciudad de Manta y por personas vinculadas a actividades afines al sector marítimo–portuario, tales como operadores, técnicos, personal administrativo y colaboradores de empresas relacionadas con la actividad portuaria.

La selección de esta población responde a su relación directa con las operaciones marítimas y su experiencia cotidiana frente a los efectos y riesgos asociados al cambio climático, lo que permite obtener información relevante, objetiva y contextualizada para el desarrollo de la investigación.

Con el fin de garantizar la representatividad de los datos obtenidos, se aplicó el método de muestreo probabilístico, utilizando la fórmula para poblaciones finitas, la cual permite determinar un tamaño de muestra adecuado en función del total de la población, el nivel de confianza, el margen de error y la probabilidad de ocurrencia del evento estudiado.

La fórmula aplicada para el cálculo del tamaño de la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2(N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

- **n**: tamaño de la muestra
- **N**: tamaño de la población
- **Z**: valor correspondiente al nivel de confianza
- **e**: margen de error máximo permitido
- **p**: probabilidad de ocurrencia del evento
- **q**: probabilidad de no ocurrencia del evento (1 – p)

**Parámetros utilizados:**

- $N = 163$  (trabajadores del puerto y asociados afines) (EMIS, 2025)
- $Z = 1,96$  (nivel de confianza del 95 %)
- $p = 0,50$
- $q = 0,50$
- $e = 0,08$  (8 % de error permitido)

**Sustitución de valores:**

$$n = \frac{163 \cdot (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{(0,08)^2(163 - 1) + (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}$$

$$n = \frac{156,57}{2,00}$$

$$n = 78,28 \approx 78$$

**2.4. Técnicas de investigación****2.4.1. Encuesta**

La encuesta es una técnica de recolección de información que permite obtener datos detallados y sistemáticos directamente de los participantes, posibilitando el análisis de las variables de estudio de forma cuantitativa. Esta técnica es especialmente útil para recabar percepciones, experiencias y juicios sobre fenómenos que no pueden ser observados directamente, como es el caso de la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura y las operaciones marítimas frente al cambio climático.

Para el presente estudio, se empleará un cuestionario estructurado basado en el instrumento utilizado en la encuesta de la industria portuaria desarrollada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) (Asariotis et al., 2017), la cual fue diseñada en colaboración con expertos y actores del sector portuario internacional para evaluar los impactos climáticos en puertos, la disponibilidad de información climática y las prácticas de adaptación.

Este cuestionario original comprendía 41 preguntas divididas en varias secciones: identificación del perfil del puerto, experiencias históricas con eventos climáticos,

disponibilidad de información relevante para evaluar vulnerabilidades y enfoques adoptados para la preparación y planificación de adaptación.

La versión adaptada para esta investigación incluirá preguntas cerradas dirigidas a los trabajadores del puerto de Manta y actores afines, con el objetivo de medir aspectos como:

- la percepción de los riesgos climáticos asociados a las operaciones portuarias;
- la frecuencia y tipo de impactos observados en la infraestructura;
- el nivel de preparación organizacional ante eventos atípicos de clima;
- y la valoración de la necesidad de estrategias de adaptación tecnológica.

La aplicación de este instrumento permitirá obtener datos cuantificables que contribuyan a analizar, de manera objetiva y sistemática, el grado de vulnerabilidad del sector portuario local frente al cambio climático, sustentando las conclusiones de la investigación con base en evidencia empírica.

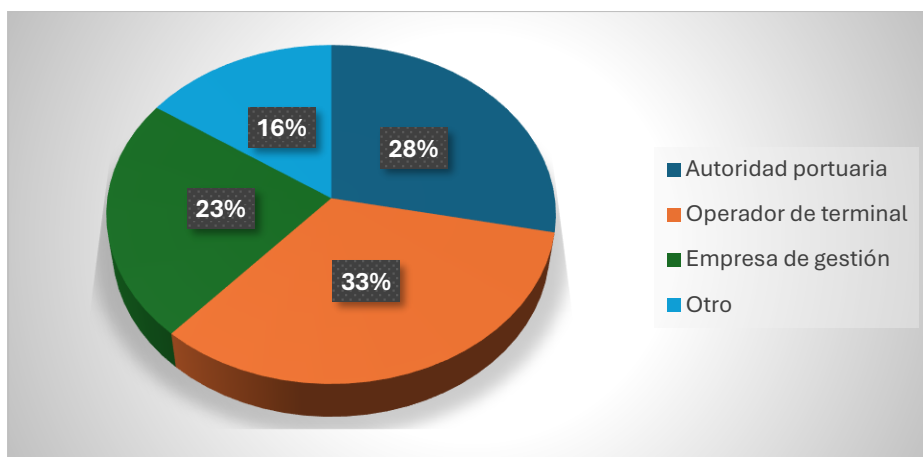
## 2.5. Resultados de instrumentos de investigación

Pregunta 1: ¿A que categoría pertenece usted?

**Tabla 1.** Cargo ejercido

<b>Alternativa</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Autoridad portuaria	22	28,21 %
Operador de terminal	26	33,33 %
Empresa de gestión	18	23,08 %
Otro	12	15,38 %
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* Autor



**Ilustración 1.** Cargo Ejercido

*Fuente:* Autor

### **Análisis e interpretación**

Los resultados muestran que el 33,33 % de los encuestados corresponde a operadores de terminal, constituyéndose en el grupo con mayor participación dentro del estudio, lo cual evidencia su rol clave en el funcionamiento de las operaciones portuarias. En segundo lugar, la autoridad portuaria representa el 28,21 % de la muestra, reflejando una participación significativa en la gestión y toma de decisiones relacionadas con la infraestructura portuaria.

Asimismo, el 23,08 % de los participantes pertenece a empresas de gestión, mientras que el 15,38 % se agrupa en la categoría de otros actores, lo que evidencia la diversidad de perfiles involucrados en el entorno marítimo–portuario. Esta distribución permite obtener una visión integral de los diferentes actores del sector, fortaleciendo el análisis de la vulnerabilidad y capacidad de adaptación de las operaciones portuarias frente al cambio climático.

Pregunta 2: ¿Su puerto o terminal ha sido afectado alguna vez por eventos meteorológicos o climáticos, incluidos eventos extremos?

**Tabla 2.** Afectación del puerto por eventos meteorológicos o climáticos extremos.

<b>Alternativa</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí	78	100 %

<b>Alternativa</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
No	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: Autor*

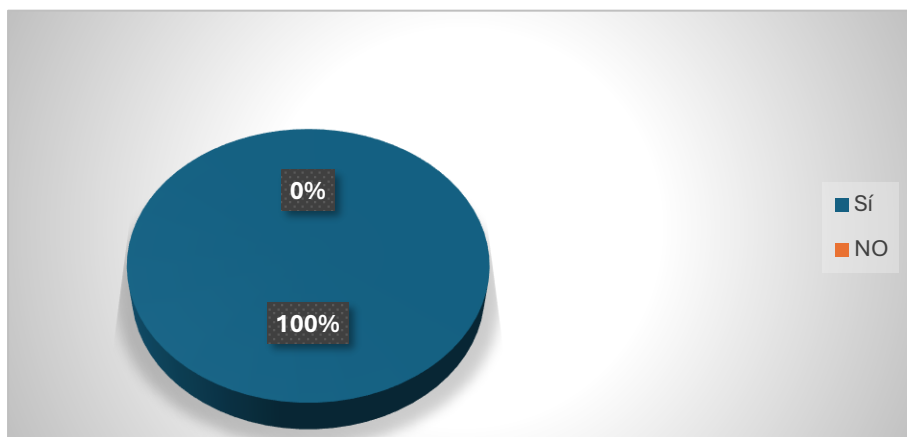


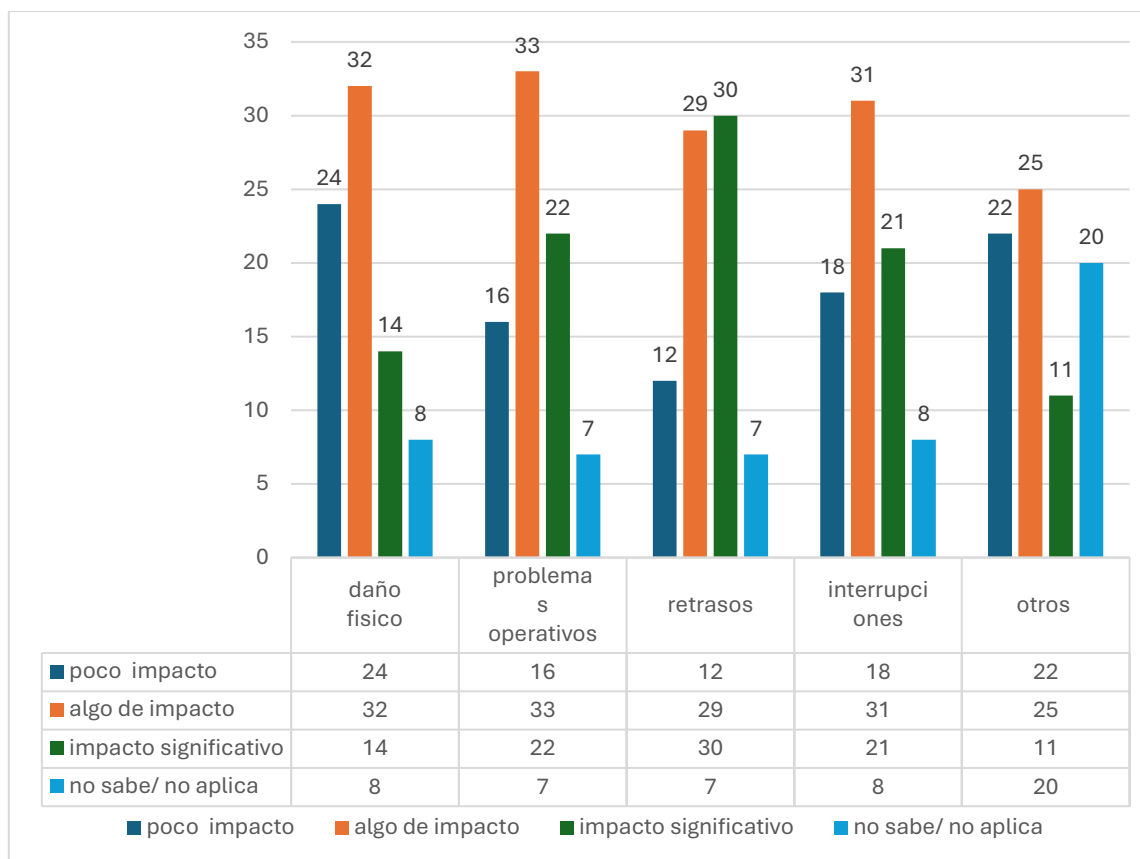
Ilustración 2. Afectación del puerto por eventos meteorológicos o climáticos extremos

*Fuente: Autor*

### **Análisis e interpretación**

Los resultados reflejan que el 100 % de los encuestados reconoce que el puerto ha sido afectado por eventos meteorológicos o climáticos, incluidos fenómenos extremos. Este resultado confirma que la infraestructura y las operaciones portuarias se desarrollan en un entorno expuesto a condiciones climáticas adversas, lo cual constituye un factor determinante en el análisis de la vulnerabilidad del sistema portuario.

Pregunta 3: Si respondió que sí, indique el tipo y la magnitud del impacto ocasionado por eventos meteorológicos o climáticos en el puerto



**Ilustración 3.** Caracterización del impacto de eventos climáticos en la infraestructura y operaciones portuarias

*Fuente:* Autor

Pregunta 4: Con el tiempo, la magnitud del daño y/o interrupción causada por eventos meteorológicos o relacionados con el clima:

**Tabla 3.** Evolución de la magnitud de los daños e interrupciones por eventos climáticos

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Ha aumentado	40	51,3 %
Se ha mantenido sin cambios	22	28,2 %
Ha disminuido	10	12,8 %
Ha disminuido como resultado de medidas específicas adoptadas por el puerto/terminal	0	0 %

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
No sabe / No aplica	6	7,7 %
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: Autor*

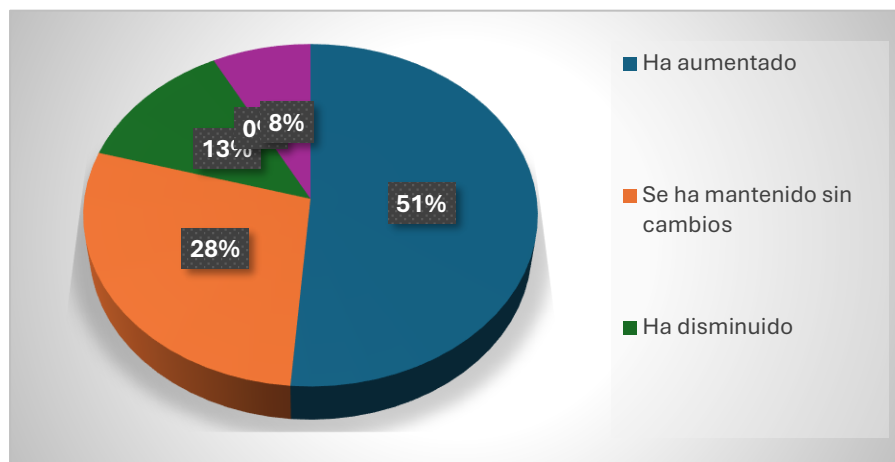


Ilustración 4. Evolución de la magnitud de los daños e interrupciones por eventos climáticos

*Fuente: Autor*

### **Análisis e interpretación**

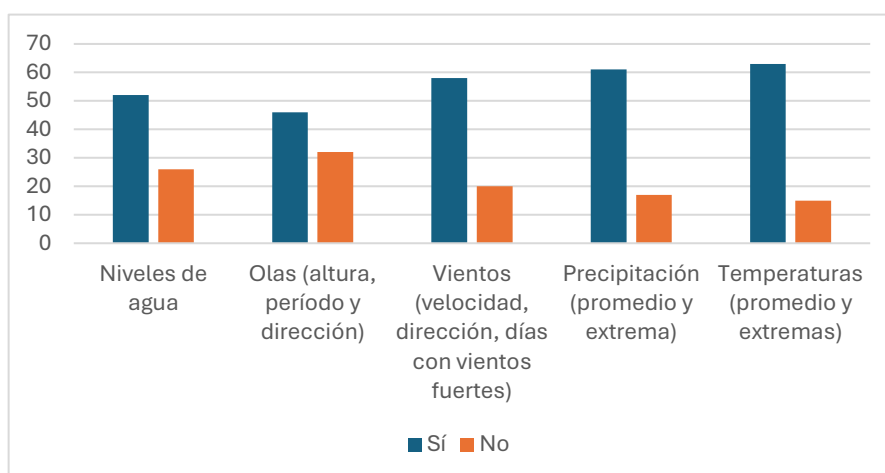
Los resultados muestran que más de la mitad de los encuestados (51,3 %) percibe un aumento en la magnitud de los daños y/o interrupciones ocasionadas por eventos meteorológicos o relacionados con el clima, lo que evidencia una creciente vulnerabilidad del puerto frente a estos fenómenos. Este resultado refuerza la percepción de que los impactos climáticos se han intensificado con el paso del tiempo.

Pregunta 5: ¿Su puerto/terminal cuenta con información pasada y presente sobre lo siguiente?

**Tabla 4.** Disponibilidad de información climática y oceanográfica en el puerto

<b>Alternativas</b>	<b>Sí</b>	<b>%</b>	<b>No</b>	<b>%</b>
Niveles de agua	52	66,7	26	33,3
Olas (altura, período y dirección)	46	59,0	32	41,0
Vientos (velocidad, dirección, días con vientos fuertes)	58	74,4	20	25,6
Precipitación (promedio y extrema)	61	78,2	17	21,8
Temperaturas (promedio y extremas)	63	80,8	15	19,2

*Fuente:* Autor



**Ilustración 5.** Disponibilidad de información climática y oceanográfica en el puerto

*Fuente:* Autor

### **Análisis e interpretación**

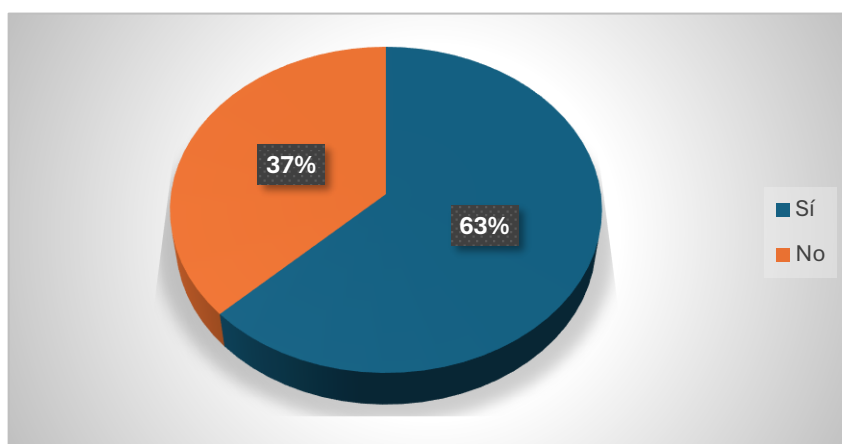
Los resultados evidencian que el puerto dispone, en mayor medida, de información histórica y actual relacionada con variables meteorológicas, especialmente temperatura (80,8 %), precipitación (78,2 %) y vientos (74,4 %). Esto indica la existencia de registros básicos que apoyan el monitoreo de las condiciones climáticas que influyen en las operaciones portuarias.

Pregunta 6: ¿Los datos relevantes muestran cambios a lo largo del tiempo que podrían considerarse una tendencia?

**Tabla 5.** Identificación de tendencias en los datos climáticos y oceanográficos

<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí	49	62,8 %
No	29	37,2 %
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* Autor



*Ilustración 6.* Identificación de tendencias en los datos climáticos y oceanográficos

*Fuente:* Autor

### **Análisis e interpretación**

Los resultados indican que el 62,8 % de los encuestados identifica cambios en los datos climáticos a lo largo del tiempo que pueden considerarse una tendencia, lo que sugiere la presencia de variaciones sostenidas en las condiciones meteorológicas y oceanográficas del puerto. Esta percepción evidencia una creciente conciencia sobre los efectos del cambio climático en el entorno portuario.

No obstante, el 37,2 % manifestó no reconocer dichas tendencias, lo que puede estar asociado a limitaciones en el acceso, análisis o difusión de la información disponible. En

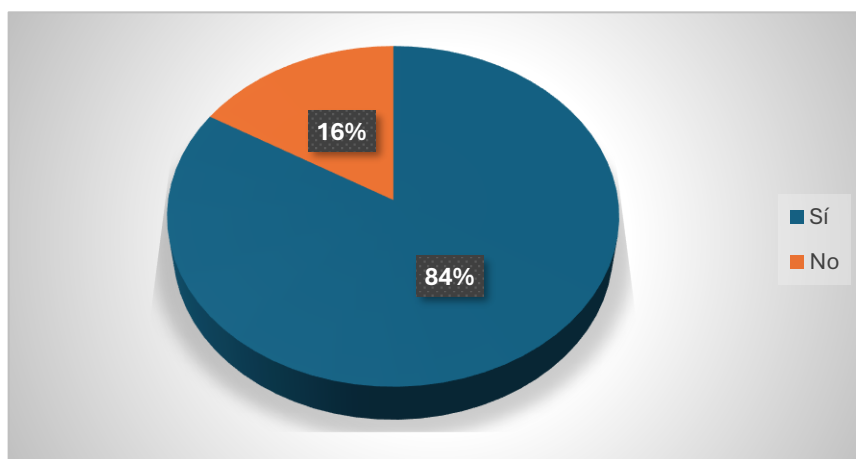
conjunto, los resultados resaltan la importancia de fortalecer los sistemas de monitoreo y análisis de datos para una mejor identificación de tendencias climáticas relevantes.

Pregunta 7: ¿Las tendencias observadas han requerido o requerirán respuestas de adaptación?

**Tabla 6.** Necesidad de respuestas de adaptación frente a tendencias climáticas

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	41	83,7 %
No	8	16,3 %
<b>Total</b>	<b>49</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* Autor



**Ilustración 7.** Necesidad de respuestas de adaptación frente a tendencias climáticas

*Fuente:* Autor

### **Análisis e interpretación**

Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados (83,7 %) considera que las tendencias observadas en las variables climáticas han requerido o requerirán la implementación de respuestas de adaptación en el puerto. Este hallazgo pone de manifiesto el reconocimiento

de que los cambios climáticos identificados tienen implicaciones directas sobre la infraestructura y las operaciones portuarias.

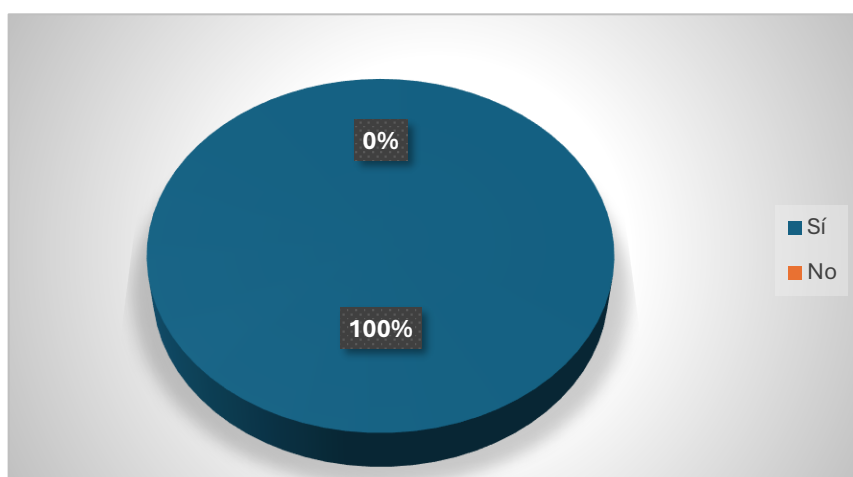
Por otro lado, el 16,3 % indicó que dichas tendencias no demandan acciones de adaptación, lo que sugiere percepciones divergentes respecto a la magnitud del impacto. No obstante, el predominio de respuestas afirmativas refuerza la necesidad de incorporar medidas adaptativas como parte de una planificación estratégica orientada a la reducción de riesgos climáticos.

Pregunta 8: ¿Existen medidas de respuesta ante emergencias por amenazas climáticas en su puerto/terminal?

**Tabla 7.** Existencia de medidas de respuesta ante emergencias climáticas en el puerto

<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí	78	100 %
No	0	0 %
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* Autor



**Ilustración 8.** Existencia de medidas de respuesta ante emergencias climáticas en el puerto

*Fuente: Autor*

### **Análisis e interpretación**

La totalidad de los encuestados (100 %) afirmó que el puerto cuenta con medidas de respuesta ante emergencias asociadas a amenazas climáticas. Este resultado evidencia la existencia de protocolos operativos orientados a la atención inmediata de eventos extremos, tales como procedimientos de alerta, suspensión de actividades y acciones de contingencia.

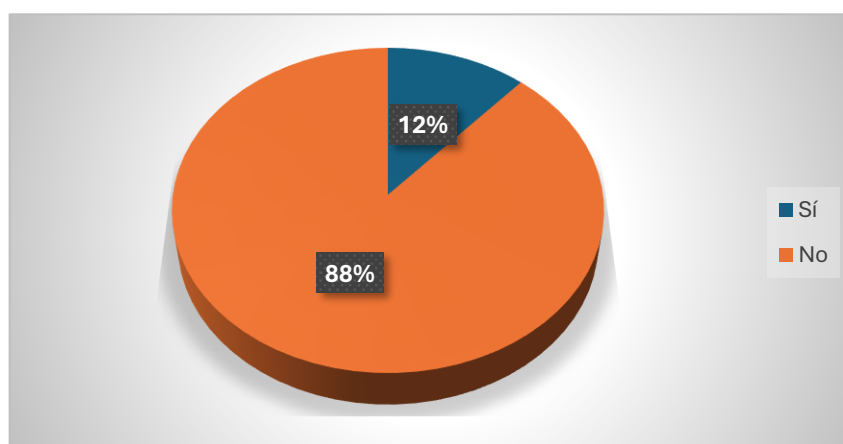
Sin embargo, la presencia de estas medidas refleja un enfoque predominantemente reactivo, centrado en la gestión de emergencias, más que en la prevención y planificación a largo plazo. En este sentido, aunque las acciones de respuesta contribuyen a reducir impactos inmediatos, no sustituyen la necesidad de evaluaciones sistemáticas de vulnerabilidad ni de estrategias integrales de adaptación frente al cambio climático.

Pregunta 9: ¿Su puerto/terminal ha evaluado o planea evaluar su vulnerabilidad frente a eventos meteorológicos o relacionados con el clima?

**Tabla 8.** Análisis de la vulnerabilidad portuaria ante eventos meteorológicos

<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí	<b>9</b>	<b>11,5 %</b>
No	<b>69</b>	<b>88,5 %</b>
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: Autor*



### **Ilustración 9.** Análisis de la vulnerabilidad portuaria ante eventos meteorológicos

*Fuente:* Autor

#### **Análisis e interpretación**

Los resultados evidencian que una amplia mayoría de los encuestados (88,5 %) manifestó que el puerto no ha evaluado ni tiene previsto evaluar su vulnerabilidad frente a eventos meteorológicos o relacionados con el clima. Este resultado refleja una limitada planificación preventiva y una ausencia de diagnósticos técnicos formales orientados a la gestión del riesgo climático.

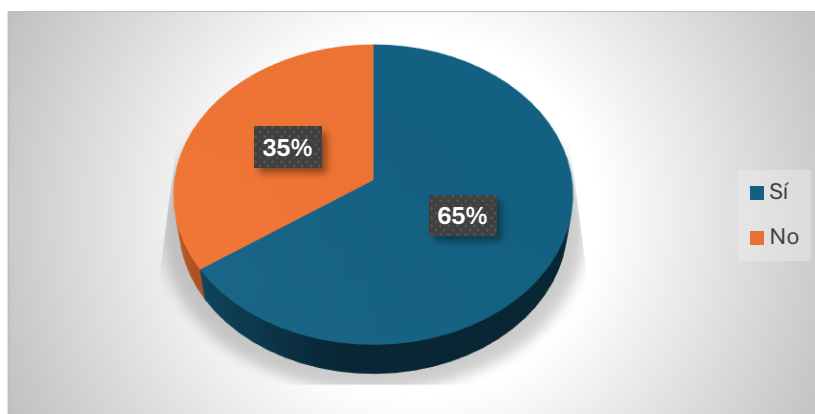
Por el contrario, solo el 11,5 % indicó la existencia o proyección de evaluaciones de vulnerabilidad, lo que sugiere que estas iniciativas son aún incipientes y no se encuentran institucionalizadas. En consecuencia, se reafirma la necesidad de fortalecer los procesos de análisis y evaluación de la vulnerabilidad climática como base para la toma de decisiones y la implementación de estrategias de adaptación en el ámbito portuario.

Pregunta 10: ¿Su puerto/terminal ha realizado algún trabajo, incluyendo investigaciones, para identificar y evaluar posibles medidas de adaptación?

**Tabla 9.** Realización de estudios o trabajos para identificar medidas de adaptación climática

<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí	51	65,4 %
No	27	34,6 %
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* Autor



**Ilustración 10.** Realización de estudios o trabajos para identificar medidas de adaptación climática

*Fuente:* Autor

### **Análisis e interpretación**

Los resultados obtenidos evidencian que una proporción mayoritaria de los encuestados (65,4 %) reconoce que el puerto ha desarrollado algún tipo de trabajo o investigación orientada a identificar y evaluar posibles medidas de adaptación frente a eventos meteorológicos o relacionados con el clima. Este hallazgo sugiere la existencia de iniciativas preliminares que reflejan una creciente preocupación institucional por los impactos del cambio climático en la infraestructura y operaciones portuarias.

No obstante, el 34,6 % de los participantes señaló la ausencia de este tipo de acciones, lo que pone de manifiesto que dichos esfuerzos no se encuentran plenamente consolidados ni generalizados. En este sentido, aunque se observan avances incipientes, estos aún carecen de un enfoque integral y sistemático que permita una adecuada planificación adaptativa, lo cual refuerza la necesidad de fortalecer los procesos de evaluación y gestión de la vulnerabilidad climática del puerto.

### **2.6 Análisis e interpretación general de los resultados**

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la encuesta a los trabajadores del puerto y actores afines permiten identificar una situación caracterizada por una creciente exposición y vulnerabilidad frente a los efectos de los eventos meteorológicos y del cambio climático. En primer lugar, se evidencia que el puerto dispone de información histórica y actual principalmente sobre variables meteorológicas, tales como temperatura, precipitación y

vientos, lo que constituye una base importante para el seguimiento de las condiciones climáticas que influyen en las operaciones portuarias. No obstante, la disponibilidad de datos oceanográficos, como niveles de agua y características del oleaje, resulta más limitada, lo cual restringe la capacidad de análisis integral del entorno físico-marítimo y la anticipación de riesgos asociados a fenómenos extremos.

En relación con el comportamiento de estas variables en el tiempo, una proporción significativa de los encuestados reconoce la existencia de cambios que pueden considerarse tendencias, lo que refleja una percepción generalizada de alteraciones sostenidas en las condiciones climáticas del área portuaria. Esta identificación de tendencias se ve reforzada por el hecho de que la mayoría de quienes reconocen dichos cambios considera que estos han requerido o requerirán la implementación de respuestas de adaptación. Lo anterior pone de manifiesto una creciente conciencia sobre los impactos potenciales del cambio climático en la infraestructura, la seguridad y la continuidad operativa del puerto.

Asimismo, la percepción de los trabajadores respecto a la magnitud de los daños e interrupciones causadas por eventos meteorológicos confirma esta problemática, dado que más de la mitad de los encuestados señala que dichos impactos han aumentado con el tiempo. Aunque un grupo menor considera que los efectos se han mantenido estables o incluso han disminuido, resulta relevante que ninguno de los participantes atribuya esta reducción a la aplicación de medidas específicas de adaptación. Este resultado evidencia una ausencia de estrategias estructuradas y sistemáticas orientadas a mitigar los efectos del cambio climático, lo que incrementa el nivel de vulnerabilidad del puerto a mediano y largo plazo.

Por otro lado, los resultados muestran una marcada diferencia entre las acciones reactivas y la planificación preventiva. La totalidad de los encuestados afirmó que el puerto cuenta con medidas de respuesta ante emergencias por amenazas climáticas, lo que demuestra la existencia de protocolos operativos para la atención inmediata de eventos extremos. Sin embargo, estas acciones se enfocan principalmente en la gestión de emergencias y no en la prevención. Esto se ve reflejado en el hecho de que una amplia mayoría indicó que el puerto no ha evaluado ni planea evaluar su vulnerabilidad frente a eventos climáticos, lo cual limita la capacidad institucional para anticiparse a los impactos y tomar decisiones basadas en análisis técnicos.

A pesar de esta limitación, los resultados también evidencian la existencia de esfuerzos incipientes orientados a la adaptación, ya que una proporción mayoritaria de los encuestados

reconoce que el puerto ha realizado algún tipo de trabajo o investigación para identificar y evaluar posibles medidas de adaptación. No obstante, la coexistencia de estas iniciativas con la ausencia de evaluaciones formales de vulnerabilidad sugiere que dichas acciones se desarrollan de manera aislada, sin una articulación clara dentro de una estrategia integral de adaptación climática.

En conjunto, los resultados permiten concluir que el puerto presenta un enfoque predominantemente reactivo frente a los impactos climáticos, sustentado en medidas de respuesta ante emergencias, pero con importantes debilidades en términos de planificación, evaluación de vulnerabilidad y adaptación estructural. Esta situación refuerza la necesidad de implementar estudios técnicos integrales que permitan identificar riesgos, priorizar acciones y fortalecer la resiliencia de la infraestructura y las operaciones portuarias frente a los efectos del cambio climático.

### **Capítulo 3: Propuesta de instalación de un rompeolas flotante modular**

Atendiendo a los datos obtenidos y la información analizada, se planteó una propuesta tecnológica orientada a mitigar, en la mayor medida posible, los daños asociados a la problemática tratada. En este contexto, se propone la instalación de un rompeolas flotante modular como medida de protección de la infraestructura portuaria frente al impacto de marejadas extremas y al aumento progresivo del nivel del mar. Este tipo de estructura permite disipar parcialmente la energía del oleaje antes de que alcance muelles, plataformas y equipos críticos, reduciendo cargas hidrodinámicas sobre la infraestructura existente y favoreciendo la continuidad operativa (PIANC, 2014).

#### **3.1 Concepto general del sistema y componentes principales**

Los rompeolas flotantes modulares están conformados por unidades prefabricadas interconectadas, diseñadas para operar como una barrera superficial capaz de reducir la energía del oleaje que se transmite hacia el área protegida. Los módulos se fabrican comúnmente en hormigón armado de alta durabilidad, incorporando núcleos de flotación (p. ej., poliestireno expandido o cámaras estancas), lo que asegura estabilidad y flotabilidad permanente en ambientes marinos agresivos (British Standards Institution., 2015).

Las dimensiones típicas de módulos reportadas en la literatura se sitúan alrededor de 15–20 m de longitud y 3–6 m de ancho, permitiendo adaptar el sistema a las condiciones del sitio y al nivel de energía del oleaje incidente (McCartney, 1985). La condición modular facilita el transporte, el montaje por etapas y la sustitución localizada de unidades durante operación, lo cual resulta especialmente pertinente en puertos en funcionamiento continuo como Manta.

#### **3.2 Criterios de diseño hidráulico y estructural**

Una vez definida la tipología del sistema, se establecen criterios de diseño que permitan garantizar desempeño hidráulico, integridad estructural y compatibilidad con las condiciones oceanográficas del Puerto de Manta.

##### **3.2.1 Régimen de oleaje y condiciones ambientales de diseño**

El diseño hidráulico debe fundamentarse en el análisis del régimen de oleaje, considerando parámetros como altura significativa ( $H_s$ ), período pico ( $T_p$ ) y dirección predominante, además de escenarios extremos asociados a la variabilidad climática regional. En la costa ecuatoriana, el oleaje de fondo del Pacífico puede intensificar marejadas, fenómeno

que puede verse reforzado por condiciones asociadas al cambio climático (IPCC, 2021) . Para el Puerto de Manta, esto obliga a dimensionar el sistema con base en escenarios extremos y no únicamente en estados medios (PIANC, 2014).

### **3.2.2 Principios de disipación de energía y coeficiente de transmisión (Kt)**

A diferencia de rompeolas fijos, los rompeolas flotantes no eliminan completamente el oleaje, sino que lo atenúan mediante reflexión, fricción y radiación. La eficiencia se expresa comúnmente a través del coeficiente de transmisión (Kt), que representa la fracción de energía/oleaje que atraviesa la estructura (McCartney, 1985) (PIANC, 2014). Diversos estudios reportan reducciones aproximadas del orden de 40%–70%, dependiendo del ancho efectivo, francobordo, configuración, presencia de elementos sumergidos y sistema de anclaje . En términos de mejora del desempeño, se recomienda: (a) incrementar el ancho efectivo, (b) incorporar elementos disipadores sumergidos cuando corresponda y (c) optimizar la configuración del tramo según la geometría local (PIANC, 2014).

### **3.2.3 Cargas hidrodinámicas y fuerzas actuantes**

Los módulos están sometidos a cargas variables por oleaje, corrientes y viento (arrastre, inercia y presiones), las cuales deben considerarse tanto para el cuerpo del módulo como para el dimensionamiento del sistema de amarre (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017). El cálculo puede apoyarse en formulaciones tipo Morison y análisis numéricos para estimar el comportamiento bajo condiciones extremas. Un diseño conservador del sistema de anclaje resulta clave para evitar desplazamientos excesivos que comprometan la eficiencia del sistema (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017).

### **3.2.4 Diseño estructural y durabilidad**

Los módulos se diseñan como estructuras rígidas de hormigón armado, considerando resistencia a flexión, corte y fatiga, además de la protección ante corrosión marina (British Standards Institution., 2015). El uso de hormigón de alta durabilidad, baja permeabilidad y medidas de protección del acero incrementa la vida útil y reduce costos de mantenimiento correctivo (British Standards Institution., 2015).

### **3.2.5 Comportamiento dinámico y estabilidad**

El comportamiento dinámico del sistema puede inducir movimientos (surge, roll, pitch) que elevan tensiones en amarres y reducen el rendimiento hidráulico. Por ello, el diseño del

fondeo y la configuración del amarre son determinantes para controlar movimientos y mantener la operatividad durante marejadas severas (PIANC, 2014).

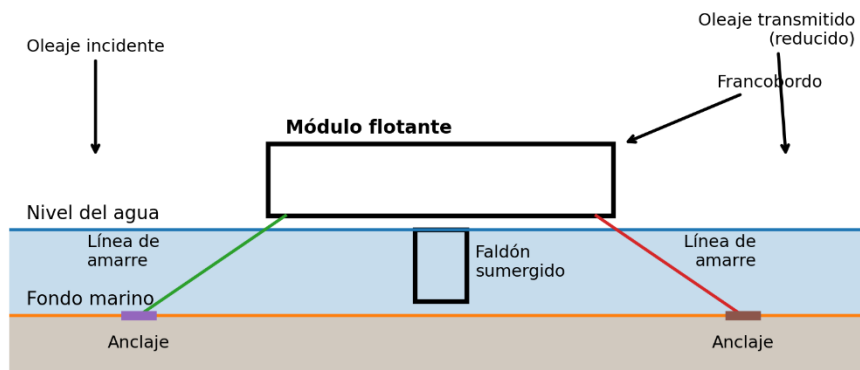
### 3.3 Esquema de ubicación propuesto en el Puerto de Manta: Tramo 1 (protección de dársena/atraque pesquero)

Para atender la necesidad de un esquema que evidencie dónde se ubicaría la tecnología, se propone la instalación de un Tramo 1 de rompeolas flotante modular orientado a reducir la agitación en el área de fondeo/atraque pesquero. La ilustración 12 (planta) presenta el esquema conceptual de implantación: el tramo se ubica de forma estratégica entre la entrada de energía del oleaje y la zona operativa sensible, actuando como una “pantalla” de atenuación del oleaje que se difracta hacia el interior.

Un criterio central del esquema es asegurar compatibilidad con la operación portuaria; por ello, en la ilustración 12 se mantiene explícitamente un canal operativo sin obstrucción para maniobras y tránsito de embarcaciones. Este enfoque permite proteger un sector crítico sin modificar de forma permanente la infraestructura existente ni interferir con el tráfico portuario (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017) (PIANC, 2014).



Ilustración 12 esquema de colocación de rompeolas



*Ilustración 13 Figura Y (sección): módulos + fondeo. Basado en PIANC (2014), ASCE (2017) y BSI (2015).*

### 3.4 Implementación definitiva del Tramo 1: procedimiento paso a paso

Con el fin de explicar de manera operativa cómo se ejecutaría la instalación, se describe a continuación la secuencia de implementación definitiva del Tramo 1, integrando criterios técnicos, constructivos y de seguridad.

#### 3.4.1 Estudios previos y preparación del sitio

Previo a la instalación, se requiere una caracterización del área de emplazamiento que incluya: (a) levantamiento batimétrico, (b) caracterización del fondo marino (arena/mixto/roca) y (c) consolidación de parámetros meteoceánicos (oleaje, corrientes, viento y niveles de agua) para estados representativos y extremos (PIANC, 2014). Con estos insumos se define la alineación final del Tramo 1, se replantea en campo mediante herramientas de posicionamiento (p. ej., GPS/RTK) y se delimita la zona de exclusión y la señalización asociada, minimizando interferencias con rutas de navegación (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017).

#### 3.4.2 Ingeniería de detalle del sistema (módulos, conexiones y fondeo)

En la etapa de ingeniería se selecciona la tipología modular (p. ej., hormigón armado o soluciones equivalentes), definiendo dimensiones, flotabilidad y parámetros hidráulicos (francobordo, calado y, si aplica, elementos disipadores). Paralelamente se diseña el sistema de fondeo: tipo de líneas (cadenas/cables), configuración geométrica, redundancia, accesorios y tipo de anclaje, en función del fondo y la profundidad (PIANC, 2014). La Figura Y resume los componentes del sistema en sección y su lógica de funcionamiento.

### **3.4.3 Fabricación y control de calidad**

Los módulos se prefabrican en instalaciones en tierra o diques secos, donde se ejecuta armado, vaciado/ensamble y curado bajo control, cumpliendo especificaciones de resistencia y durabilidad para ambiente marino (British Standards Institution., 2015). Se incorporan inserts, puntos de izaje y unión, y se verifica el correcto funcionamiento de conectores y tolerancias antes del traslado. Esta etapa reduce riesgos durante el montaje en el sitio de instalación.

### **3.4.4 Transporte y posicionamiento en el área de instalación**

Una vez fabricados, los módulos se trasladan mediante barcasas o remolcadores. El posicionamiento se realiza con apoyo de grúas marinas, amarres provisionales y boyas de referencia para asegurar la alineación y orientación del tramo (McCartney, 1985). La precisión geométrica en esta fase es crítica, ya que influye en el desempeño hidráulico del sistema y en el comportamiento del fondeo.

### **3.4.5 Instalación del sistema de anclaje y tendido de líneas**

Con el trazado replanteado, se instala el sistema de anclaje y amarre, cuyo rol es mantener la estabilidad del tramo frente a cargas dinámicas. En términos generales, las soluciones aplicables incluyen: bloques de hormigón sumergidos con cadenas, anclajes tipo deadman, y configuraciones con amarres flexibles, seleccionadas según el fondo y el nivel de sollicitación (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017). El diseño debe considerar fuerzas máximas por oleaje extremo, viento y corrientes, garantizando desplazamientos controlados sin comprometer la integridad del conjunto (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017). Se recomienda inspección subacuática (buzo o ROV) para verificar ubicación, asentamiento y holguras antes de la conexión final de módulos.

### **3.4.6 Conexión e integración de los módulos (cierre del tramo)**

Los módulos se interconectan mediante uniones mecánicas flexibles (p. ej., pernos articulados, anillas y elementos elastoméricos), que permiten movimientos relativos controlados y reducen concentraciones de esfuerzo (McCartney, 1985). Posteriormente, el tramo se conecta al sistema de fondeo y se realiza el tensado final por etapas, verificando rectitud, holguras y estabilidad del conjunto.

### **3.4.7 Puesta en servicio, operación y mantenimiento**

Finalizada la instalación, se valida la condición de canal operativo libre y la señalización correspondiente (zona de exclusión, boyado y medidas de seguridad). Se establece una línea base del estado del sistema (posición, tensiones, condición de conectores y flotabilidad) y se implementa un plan de mantenimiento preventivo orientado a controlar corrosión, fatiga, bioincrustación y desgaste. Adicionalmente, se define un protocolo post-evento extremo para inspección, ajuste de tensiones y reemplazo modular en caso de daño localizado, aprovechando la naturaleza modular del sistema para mantener continuidad operativa (PIANC, 2023) (British Standards Institution., 2015).

## **3.5 Evaluación de viabilidad técnica y adaptación al Puerto de Manta**

La implementación del Tramo 1 requiere una evaluación de viabilidad considerando condiciones oceanográficas, morfológicas y operativas del entorno portuario. Esta evaluación permite confirmar compatibilidad con infraestructura existente y capacidad real de mitigación frente a marejadas y aumento del nivel del mar (PIANC, 2014).

### **3.5.1 Condiciones oceanográficas y morfodinámicas**

El Puerto de Manta se ubica en un sector influenciado por oleajes de fondo del Pacífico, que pueden incrementar su energía durante eventos extremos. La variabilidad asociada a El Niño puede elevar temporalmente el nivel del mar y modificar el régimen de oleaje, incrementando exposición a cargas hidrodinámicas severas (IPCC, 2021). En este marco, el sistema flotante resulta aplicable como solución de atenuación parcial de energía y reducción de agitación interna, siempre que el diseño del módulo y el fondeo se dimensionen con criterios de desempeño y estabilidad (PIANC, 2014).

### **3.5.2 Compatibilidad con batimetría y fondo marino**

Una ventaja técnica relevante es que los sistemas flotantes no requieren cimentaciones rígidas, lo que facilita su instalación en profundidades variables (McCartney, 1985). La selección del anclaje se adapta al tipo de sustrato: para fondos arenosos o mixtos, anclajes tipo bloque o deadman pueden ser viables, reduciendo intervenciones invasivas sobre el lecho marino (British Standards Institution., 2015).

### **3.5.3 Compatibilidad operativa**

La configuración del Tramo 1 se plantea para proteger un área específica sin interferir permanentemente con maniobras portuarias, manteniendo un canal operativo libre y un esquema de señalización (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017). Este criterio resulta clave en un puerto multipropósito como Manta.

### **3.5.4 Desempeño estructural y durabilidad**

La durabilidad depende del control de corrosión, la resistencia a fatiga y el mantenimiento del sistema de amarre. El empleo de materiales y criterios de protección adecuados incrementa vida útil y reduce costos de mantenimiento a largo plazo (British Standards Institution., 2015). La incorporación de monitoreo e inspecciones programadas contribuye a la gestión del activo y detección temprana de fallas (PIANC, 2014).

### **3.5.5 Viabilidad frente a alternativas tradicionales**

Frente a rompeolas fijos, los rompeolas flotantes pueden presentar menores tiempos de ejecución y menor interferencia durante instalación. Aunque su capacidad de disipación puede ser inferior bajo oleajes extremadamente severos, su desempeño resulta adecuado como medida de reducción de agitación y protección complementaria en puertos consolidados donde se prioriza compatibilidad operativa (PIANC, 2014). En consecuencia, el Tramo 1 se presenta como una alternativa técnicamente viable para mejorar resiliencia y continuidad operativa del área de atraque pesquero.

## Conclusiones

- A partir del análisis de la literatura científica y técnica, se concluye que el cambio climático constituye una amenaza significativa para la infraestructura y las operaciones marítimas en los puertos. Entre los principales efectos identificados se destacan el aumento del nivel del mar, la intensificación de eventos meteorológicos extremos, la variabilidad en los patrones de oleaje y viento, así como el incremento de la temperatura del agua y la frecuencia de inundaciones costeras.
- La evaluación realizada permite concluir que el puerto de Manta presenta un nivel de vulnerabilidad considerable frente a los efectos del cambio climático, debido a la exposición de sus infraestructuras a fenómenos climáticos extremos y a la limitada incorporación de criterios de adaptación en el diseño y gestión de sus sistemas operativos.
- Finalmente, se concluye que los rompeolas flotantes constituyen una medida tecnológica de adaptación viable y eficiente para reducir la vulnerabilidad del puerto de Manta frente a los efectos del cambio climático. Esta solución permite mitigar la energía del oleaje, disminuir la agitación en las áreas operativas y proteger las infraestructuras portuarias ante el incremento de eventos extremos asociados al cambio climático, como tormentas más intensas y variaciones en los patrones de oleaje.

## Recomendaciones

- Se recomienda que la Autoridad Portuaria de Manta incorpore de manera sistemática el análisis del cambio climático en la planificación y diseño de infraestructuras portuarias, considerando escenarios futuros de oleaje, nivel del mar y eventos extremos, con el fin de fortalecer la toma de decisiones técnicas y estratégicas.
- Se sugiere realizar estudios técnicos detallados para el diseño e implementación de rompeolas flotantes, incluyendo análisis hidrodinámicos, modelación numérica y evaluación estructural, con el propósito de garantizar su eficiencia, seguridad y adaptación a las condiciones oceanográficas locales del puerto de Manta.
- Se recomienda integrar tecnologías de monitoreo oceanográfico y meteorológico en tiempo real, que permitan evaluar continuamente las condiciones ambientales y optimizar la operación portuaria, contribuyendo a una gestión preventiva del riesgo asociado al cambio climático.
- Se propone fomentar la articulación entre instituciones académicas, autoridades portuarias y organismos técnicos, con el fin de impulsar investigaciones aplicadas y estrategias de adaptación innovadoras, orientadas al fortalecimiento de la resiliencia y sostenibilidad del sistema portuario frente al cambio climático.

### Bibliografía

- Alvar-Beltrán, J. &. (2023). State of the Global Climate in 2022. [https://www.researchgate.net/publication/370158873\\_State\\_of\\_the\\_Global\\_Climate\\_in\\_2022](https://www.researchgate.net/publication/370158873_State_of_the_Global_Climate_in_2022)
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2017). *Coastal engineering manual (EM 1110-2-1100)*. U.S. Army Corps of Engineers. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>
- Asariotis, R., Hassiba, B., & Mohos-Naray, V. (2017). *Port Industry Survey on Climate Impacts and Adaptation*. UNCTAD. [https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2017d18\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2017d18_en.pdf)
- Becker, A. H., Acciaro, M., Asariotis, R., Cabrera, E., Cretegy, L., & Crist, P. (2013). *A note on climate change adaptation for seaports: A challenge for global ports, a challenge for global society*. <https://doi.org/10.1007/S10584-013-0843-Z>
- Becker, A., Inoue, S., Fischer, M., & Schwegler, B. (2012). *Climate change impacts on international seaports: Knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators*. Climatic Change. <https://doi.org/10.1007/S10584-011-0043-7/METRICS>
- Becker, A., Ng, A. K., McEvoy, D., & Mullett, J. (2018). *Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. <https://doi.org/10.1002/WCC.508>
- British Standards Institution. (2015). *BS 6349-1: Maritime works – Part 1: General criteria*. BSI Standards Limited. <https://doi.org/https://doi.org/10.3403/BS6349>
- Campos, M. (2017). *Metodos de investogacion academica, Fundamento de investigacion bibliografica*. Universidad de Costa Rica.
- Dascal, G., & Vargas, R. (2014). *Cambio climático y gestión del riesgo : vulnerabilidad de la infraestructura marino-costera en América Latina : guía metodológica*. European Commission. [https://catalogue.unccd.int/370\\_ET1\\_Web.pdf](https://catalogue.unccd.int/370_ET1_Web.pdf)
- Ekaterina, U. (2021). *Climate Change and Challenges of Navigation in the Arctic: How Safe are We? | The Arctic Institute – Center for Circumpolar Security Studies*.

<https://www.thearcticinstitute.org/climate-change-challenges-navigation-arctic-how-safe-are-we/>

- EMIS. (2025, 02 07). *www.emis.com*. [https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Terminal\\_Portuario\\_de\\_Manta\\_Tpm\\_SA\\_en\\_5468894.html?](https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Terminal_Portuario_de_Manta_Tpm_SA_en_5468894.html?)
- European Comision. (2004). *Living with coastal erosion in Europe*. <http://www.euroasion.org/reports-online/part4.pdf>
- Federici, P., & Rodolfi, G. (2001). *Rapid shoreline retreat along the Esmeraldas coast, Ecuador: natural and man-induced processes*. *Journal of Coastal Conservation*, <https://databases.eucc-d.de/plugins/documents/index.php?show=558&listid=1018656&up=L3BsdWdpbnMvZG9jdW1lbnRzL2luZGV4LnBocD9zaG93PTc0MSZMaXN0T2ZEB2N1bWVudHNfcGFnZT0xJnJvd3NwZXJwYWdlX0xpc3RPZkRvY3VtZW50cz0xOTAmTGldE9mRG9jdW1lbnRzX3NvcnQ9YXNjX2VudHJ5dHlwZQ%3>
- Gor Ngom, M., Ibrahima Faye, F. S., & Seck, D. (2023). *Topological Derivative for Shallow Water Equations*. <https://arxiv.org/pdf/2310.14931>
- Hooven C, J., Hirsch, M., White, D., Daugherty, L. M., & Messner, D. K. (2011). “*Port of San Diego Climate Mitigation and Adaptation Plan*.” In *Ad Hoc Expert Meeting on Climate Change Impacts and Adaptation: A Challenge for Global Ports*. Reproduced by United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, Switzerland. [https://unctad.org/sections/wcmu/docs/AHM2011\\_2\\_22\\_Hooven\\_en.pdf](https://unctad.org/sections/wcmu/docs/AHM2011_2_22_Hooven_en.pdf)
- IPCC. (2021). *PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO*. <https://annualreport.undp.org/2021/assets/UNDP-Annual-Report-2021-es.pdf>
- Koks, J., Hall, E. E., Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2020). *VU Research Portal Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience*. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102393>
- Kossin, J. P., Knapp, K. R., Olander, T. L., & Velden, C. S. (2020). *Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117>
- Kurt, İ. (2024). *Floating ports as support for port relocation measures on sea level rise* *A R T I C L E I N F O*. <https://doi.org/10.33714/masteb.1386721>

- Leatherman, S. P., Zhang, K., & Douglas, B. C. (2000). *Sea level rise shown to drive coastal erosion*.  
<https://doi.org/10.1029/00EO00034>;WEBSITE:WEBSITE:AGUPUBS;JOURNAL:JOURNAL:23249250A;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Lily K, H., Claire, F., & Jason M, T. (2020). *Do perceived norms of social media users' eating habits and preferences predict our own food consumption and BMI?*  
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104611>
- Masson-Delmotte, V., & Zhai, P. (2021). *Cambio Climatico 20221 Bases Fisicas Resumen para responsables de politica*.  
[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf)
- McCartney, B. L. (1985). *Floating breakwater design*. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, *111*(2), 304–318.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1985\)111:2\(304\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1985)111:2(304))
- Messner, S., Moran, L., Reub, G., & Campbell, J. (2013). *Climate Change And Sea Level Rise Impacts At Ports And A Consistent Methodology To Evaluate Vulnerability And Risk*.  
<https://doi.org/10.2495/CP130131>
- Morris, L. L. (2017). *Ports Resilience Index: Participatory Methods to Assess Resilience*. LSU Doctoral Dissertations. [https://doi.org/10.31390/gradschool\\_dissertations.4474](https://doi.org/10.31390/gradschool_dissertations.4474)
- Müller, M., Knol-Kauffman, M., Jeurig, J., & Palerme, C. (2023). *Arctic shipping trends during hazardous weather and sea-ice conditions and the Polar Code's effectiveness*.  
<https://doi.org/10.1038/S44183-023-00021-X>;SUBJMETA=172,4081,4111,704;KWRD=ENVIRONMENTAL+IMPACT,NATURAL+HAZARDS
- Mutombo, K., & Ölçer, A. (2016). *A Three-Tier Framework for Port Infrastructure Adaptation to Climate Change: Balancing Breadth and Depth of Knowledge*.  
<https://doi.org/10.1163/22116001-03001021>
- Nativí-Merchán, S., Caiza-Quinga, R., Saltos-Andrade, I., Martillo-Bustamante, C., Andrade-García, G., Quiñonez, M., . . . Cedeño, J. (2021). *Coastal erosion assessment using remote sensing and computational numerical model. Case of study: Libertador Bolivar, Ecuador*. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105894>

- Ng, A. K., Wang, T., Yang, Z., Li, K. X., & Jiang, C. (2018). *How is Business Adapting to Climate Change Impacts Appropriately? Insight from the Commercial Port Sector*. *Journal of Business Ethics*. <https://doi.org/10.1007/S10551-016-3179-6/METRICS>
- Pachauri, R. K., & Meyer, L. (2014). *Climate change 2014 : synthesis report / edited by the Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer*. <https://digitallibrary.un.org/record/3893122?v=pdf>
- Padawer, A. &. (2016). *Metodologia y tencnicas de la investigacion de campo*.
- PIANC. (2014). *Floating breakwaters: A practical guide for design and construction (Report No. 40)*. PIANC. PIANC.
- PIANC. (2023). *Waterborne Transport, Ports and Waterways: A 2023 Update of Climate Change Drivers and Impacts - PIANC*. <https://www.pianc.org/publication/waterborne-transport-ports-and-waterways-a-2023-update-of-climate-change-drivers-and-impacts/>
- Pierre, F., Michael, O., Matthew, W. J., Robbie, M. A., & Luke, G. H. (2022). *Global Carbon Budget 2022*. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>
- Quiñonez-Macías, M., Chunga, K., González, J. T., & Mata, W. M. (2017). *Evaluación de riesgo costero y registros climáticos MIS 1 a MIS 3 en la costa central del Ecuador*. <https://doi.org/10.26423/RCTU.V4I3.283>
- Ribeiro, A. S., Lopes, C. L., Sousa, M. C., Gómez-Gesteira, M., & Vaz, N. (2023). *Reporting Climate Change Impacts on Coastal Ports (NW Iberian Peninsula): A Review of Flooding Extent*. <https://doi.org/10.3390/JMSE11030477>
- Rodríguez, A. &. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción* . Revista EAN(82),.
- Savonis, M. J., Burkett, V., & Potter, J. R. (2008). *Impacts of climate change and variability on transportation systems and infrastructure: Gulf Coast study, phase I*. <https://pubs.usgs.gov/publication/70203012>
- Serrano, C. M. (2015). *El control del proceso contable y la información financiera del Gremio de Sastres y Modistas Union y Progreso de la ciudad de Latacunga Ambato*. Universidad Tecnica de Ambato.
- Shuai, L., Amiri, M., Questell-Santiago, Y., Héroguel, F., Li, Y., Kim, H., . . . Luterbacher, J. (2016). *Formaldehyde stabilization facilitates lignin monomer production during biomass depolymerization*. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7810>

- Stocker, A. N., Renner, A. H., & Knol-Kauffman, M. (2020). *Sea ice variability and maritime activity around Svalbard in the period 2012–2019*. <https://doi.org/10.1038/S41598-020-74064-2>;SUBJMETA=106,125,172,4081,685,704,844;KWRD=CRYOSPHERIC+SCIENCE,ENVIRONMENTAL+IMPACT,SUSTAINABILITY
- Sunyer Martín, P. (2021). *Claval, P. (2020). El mundo por descifrar. La perspectiva geográfica. (Colección Geografías para el siglo XXI. Serie: Textos Universitarios, núm. 29), México: Instituto de Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental / Universidad Nacional*. <https://doi.org/10.14350/rig.60370>
- Theuerkauf, E. J., Rodriguez, A. B., Fegley, S. R., & Luettich, R. A. (2014). *Sea level anomalies exacerbate beach erosion*. <https://doi.org/10.1002/2014GL060544>
- Velásquez, D. A. (2018). *Sistema de control interno contable para mejorar las operaciones financieras del Restaurante El Arrecife Ma y Tierra d ela ciudad de manta* . Universidad Laica ELoy ALfaro de Manabi.
- Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2023). *Systemic risks from climate-related disruptions at ports*. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01754-w>
- Verschuur, J., Koks, E. E., Li, S., & Hall, J. W. (2023). *Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses*. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00656-7>
- Winckler, P., Farías, L., Vicuña, S., Esparza, C., Mora, J., Chubretovic, R., & Cabrera, F. (2024). *Climate projections of oceanographic variables in the Exclusive Economic Zone of Ecuador: A 21st century perspective to inform impact and adaptation assessment*. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2024.103612>

## Anexos

### Anexo # 1 Encuesta

#### Vulnerabilidad del Puerto de Manta ante el cambio climático

\* Este formulario registrará su nombre, escriba su nombre.

⋮

1. ¿A que categoría pertenece usted?

- Autoridad portuaria
- Operador de terminal
- Empresa de gestión
- Otro

2. ¿Su puerto o terminal ha sido afectado alguna vez por eventos meteorológicos o climáticos, incluidos eventos extremos?

- Sí
- No

3. : Si respondió que sí, indique el tipo y la magnitud del impacto ocasionado por eventos meteorológicos o climáticos en el puerto

	daño físico	problemas operativos	retrasos	interrupciones	otros
poco impacto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
algo de impacto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
impacto significativo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
no sabe/no aplica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Con el tiempo, la magnitud del daño y/o interrupción causada por eventos meteorológicos o relacionados con el clima:

- Se ha mantenido sin cambios
- Ha disminuido
- Ha disminuido como resultado de medidas específicas adoptadas por el puerto/terminal
- No sabe / No aplica
- Ha aumentado

5. ¿Su puerto/terminal cuenta con información pasada y presente sobre lo siguiente?

	Sí	No
Niveles de agua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Olas (altura, período y dirección)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precipitación (promedio y <input type="radio"/> extrema)	<input type="radio"/>	
Vientos (velocidad, dirección, días <input type="radio"/> con vientos fuertes)	<input type="radio"/>	
Temperaturas (promedio y <input type="radio"/> extremas)	<input type="radio"/>	

6. ¿Los datos relevantes muestran cambios a lo largo del tiempo que podrían considerarse una tendencia?

- Sí
- No

7. ¿Las tendencias observadas han requerido o requerirán respuestas de adaptación?

- Sí
- No

8. ¿Existen medidas de respuesta ante emergencias por amenazas climáticas en su puerto/terminal?

- Sí
- No

9. ¿Su puerto/terminal ha evaluado o planea evaluar su vulnerabilidad frente a eventos meteorológicos o relacionados con el clima?

Sí

No

10. ¿Su puerto/terminal ha realizado algún trabajo, incluyendo investigaciones, para identificar y evaluar posibles medidas de adaptación?

Sí

No

---

Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.

 Microsoft Forms